

Zukunftsorientierte Arbeitsplatzgestaltung unter Anwendung der  
Mensch-Roboter-Kooperation –  
Eine qualitative Analyse zur Auswahl von MRK-Arbeitsplätzen unter  
Berücksichtigung der Mitarbeitersicht

**Dissertation**

**zur Erlangung des akademischen Grades**

**Doktor der Philosophie (Dr. phil.),**

**genehmigt durch die**

**Fakultät für Humanwissenschaften  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg**

von M. Sc. Jenny Dachwitz, geb. Gerecke

Geb. am 14.07.1989 in Neindorf

Gutachterin / Gutachter: Prof. Dr. habil. Michael Dick

Gutachterin / Gutachter: Prof. Dr. Klaus Jenewein

Eingereicht am: 07.11.2018

Verteidigung der Dissertation am: 10.04.2019

# Kurzfassung zur Dissertation

**Kurzfassung zur Dissertation mit dem Thema *Zukunftsorientierte Arbeitsplatzgestaltung unter Anwendung der Mensch-Roboter-Kooperation – Eine qualitative Analyse zur Auswahl von MRK-Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung der Mitarbeitersicht*, vorgelegt von Jenny Dachwitz**

Die zunehmende Alterung der erwerbstätigen Bevölkerung hat eine individuelle Einschränkung der physischen Leistungsfähigkeit zur Folge. Insgesamt stellen Belastungen vorwiegend körperlicher Arbeit und ihre Auswirkungen weiterhin ein großes Problemfeld für produzierende Betriebe sowie für die Mitarbeiter selbst dar (Lawaczeck 2001). Dies verdeutlicht den Handlungsbedarf einer zukunftsorientierten Arbeitsplatzgestaltung. Einen Lösungsansatz dafür bietet die Mensch-Roboter-Kooperation (MRK), in der die spezifischen Stärken von Mensch und Maschine bei der Aufgabenausführung kombiniert werden, um vorhandene Leistungseinschränkungen zu kompensieren. Im Hinblick auf die beschriebene Problematik spielt die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung eine entscheidende Rolle, um den Erhalt der Arbeitsfähigkeit der Mitarbeiter bis zum Rentenalter zu fördern. Aufgrund der Fokussierung auf die „humane und wirtschaftliche Gestaltung menschlicher Arbeit in der Fertigung und Montage“ ist bezogen auf die Automobilproduktion die Produktionsergonomie für die Mitarbeiter von besonderer Relevanz (Schlick et al. 2010, S. 1132). Vor dem Hintergrund eines steigenden Kostendrucks, hervorgerufen insbesondere durch den globalen Wettbewerb und den demografischen Wandel, lässt sich eine wirtschaftliche Produktion lediglich durch eine effektive und effiziente Nutzung der „Ressourcen“ des Menschen realisieren (ebd.).

Ein Handlungsansatz zum Erhalt der Erwerbstätigkeit älterer bzw. leistungseingeschränkter Mitarbeiter besteht darin, das Arbeitssystem so umzugestalten, dass durch den Einsatz robotergestützter Assistenzsysteme die Leistungseinschränkungen der Mitarbeiter kompensiert und ergonomisch kritische Arbeitstätigkeiten durch den assistierenden Roboter übernommen werden können.

Neueste Entwicklungen innovativer Technologien und Komponenten aus den Bereichen Mechanik, Sensorik und Software ermöglichen den Einsatz assistierender Handhabungssysteme, mit denen der Mensch in physischer Kooperation arbeitet (Helm & Meyer 2005). Diese Innovation birgt zum einen geringen Kostenaufwand sowie eine Ergonomieverbesserung des Arbeitsplatzes durch die Kombination der spezifischen Stärken von Mensch und Maschine bei der Aufgabenausführung. Weiterhin wird die Effizienz durch die parallele und interaktive Aufgabenausführung bei der MRK gesteigert. Zum anderen ist die Flexibilität und Adaption bzgl. des Einsatzortes der Handhabungstechnik, Kapazität und der Art und des Umfangs der Aufgabenstellung gegeben (ebd.). Dennoch sind Roboter im Bereich

der Automobilmontage noch sehr wenig verbreitet. Hauptgrund bildet die bislang erforderliche Trennung der Arbeitsräume von Mensch und Roboter, die einen Robotereinsatz als unwirtschaftlich einstufen (MRK-Systeme GmbH 2012). Infolge neuartiger Sicherheitstechnologien entstehen neue Gestaltungsansätze, wie Roboter und Mensch ohne trennende Schutzeinrichtungen im gleichen Arbeitsraum kooperieren können. Der Abstand von Mensch und Roboter wird dabei immer kleiner und kann je nach Sicherheitskonzept bis auf null reduziert werden. Im Zuge dessen sind eine erhebliche Platzersparnis sowie die Entstehung innovativer Kombinationen manueller und automatisierter Arbeitsplätze zu verzeichnen (Spingler & Thiemermann 2002).

Bevor jedoch der kooperierende Roboter in den Arbeitsprozess des Mitarbeiters integriert wird, spielt zunächst das Auswahlverfahren von potenziellen MRK-Arbeitsplätzen eine entscheidende Rolle. Bisher fehlen jedoch Auswahlkriterien für einen Ergonomie optimierenden Einsatz von MRK-Anwendungen. Um solche validen Kriterien zur Auswahl von MRK-Anwendungen zu definieren, wurden Experteninterviews sowie eine Nutzwertanalyse im Rahmen einer Gruppendiskussion durchgeführt. Im Ergebnis werden Entscheidungskriterien definiert, welche die potenziellen Einsatzgebiete für die kooperierende Robotertechnik aufdecken, die insbesondere ergonomische Vorteile mit sich bringen würden.

Die Auswahl eines Arbeitsplatzes für den potenziellen Einsatz einer MRK unterliegt einer ausführlichen Analyse des Ist-Zustandes der Fertigungs- sowie Prozessschritte des Arbeitsplatzes. Unterschiedliche Faktoren wie bspw. Wirtschaftlichkeit oder Ergonomie spielen dabei eine wichtige Rolle (Dietz et al. 2015). Insbesondere im Bereich der Produktionsergonomie liegen definierte Arbeitsplatzkriterien jedoch nicht vor, die für einen MRK-Einsatz sprechen. Demnach ist es erforderlich diese Kriterien zunächst zu identifizieren und unter Berücksichtigung der MRK-Relevanz zu bewerten. Die Festlegung, welche Kriterien den MRK-Einsatz aufzeigen und welche von geringerer Relevanz für diese Thematik sind, führt zu einem Entscheidungsproblem. Das Instrument der Nutzwertanalyse stellt eine systematische Entscheidungshilfe der Alternativenauswahl anhand der Quantifizierung qualitativer und quantitativer Kriterien dar. Diese Methode ermöglicht die Zuordnung von Zahlenwerten (Nutzwerten) zu nicht monetären Kriterien und damit die Vergleichbarkeit dieser Kriterien (Koppelman 2004). Der Ablauf einer Nutzwertanalyse lässt sich in drei Phasen unterteilen: Konzeptions-, Bewertungs- und Ergebnisphase (Kühnapfel 2014). Im Rahmen der ersten Phase werden die zu bewertenden Entscheidungsalternativen, d. h. kritischen Tätigkeiten, sowie die Bewertungskriterien festgelegt.

In der ersten Phase der Nutzwertanalyse (Konzeptionsphase) wurden die zu bewertenden Tätigkeiten sowie die dafür benötigten Bewertungskriterien festgelegt und definiert. Die Auswahl der Tätigkeiten bzw. Arbeitsplätze wurde dabei durch die vorliegende Ergonomiebewertung mittels der Methode EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet) sowie durch die Ergebnisse der zuvor geführten Experteninterviews gesteuert. Hierbei diente das

Endergebnis der EAWS-Bewertung als erste Orientierung, um in einem zweiten Auswahlschritt die Tätigkeiten zu identifizieren, bei denen der Großteil der EAWS-Punkte in einer bestimmten Belastungskategorie zu verorten ist. Demnach lag der Schwerpunkt der Auswahl der Tätigkeiten für die Nutzwertanalyse nicht auf dem EAWS-Endergebnis (z. B. min. 50 Punkte = „roter“ Arbeitsplatz), sondern auf den Teilergebnissen der Sektionen und demzufolge auf den Belastungsspitzen in den Kategorien Körperhaltung, Lasten, Aktionskräfte und Repetition. Aus dieser Analyse gingen die folgenden fünf Arbeitsplätze aus der Automobilmontage hervor, die in der Fokusgruppendifkussion hinsichtlich der ergonomischen Verbesserung durch eine MRK thematisiert wurden:

- Frontklappe öffnen,
- Leitungsstrang im Motorraum verlegen,
- Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum anbringen,
- Frontscheibe in Klebeanlage legen und
- Warenkorb auf das Montageband ziehen.

Mit dem Ziel Kriterien zur MRK-Bewertung der ergonomisch kritischen Tätigkeiten für die erste Phase zu generieren, wurden leitfadengestützte Expertenbefragungen durchgeführt. Die Experten sind dabei in unterschiedlichen Fachbereichen (z. B. Gesundheitswesen, Personalwesen, Industrial Engineering, Planung) zu verorten, die zum einen den ergonomischen Kontext in ihrem Aufgabenbereich bearbeiten sowie zum anderen die Anwendung der MRK im Unternehmen mitgestalten. Unter Anwendung eines Leitfadens wurden die Experten hinsichtlich der Einsatzgebiete der MRK, der unergonomischen Tätigkeiten in der Montage sowie zum Entwicklungsstand der MRK und Maßnahmen zur Implementierung befragt. Die Kriterien, die aus den Expertenbefragungen resultierten und bei der Bewertungsphase herangezogen wurden, lassen sich wie folgt einteilen:

- Kriterien humaner Arbeitsgestaltung (z. B. Zumutbarkeit der Tätigkeit),
- persönlichkeitsförderliche Kriterien (z. B. Ganzheitlichkeit der Aufgabe),
- personalbezogene Kriterien (z. B. Rotationsmöglichkeiten) und
- planungsbezogene Kriterien (z. B. technische Machbarkeit).

In der zweiten Phase (Bewertungsphase) erfolgt die Gewichtung der Kriterien, die folglich zur Bewertung der kritischen Tätigkeiten hinsichtlich ihres Erfüllungsgrades für den MRK-Einsatz herangezogen werden. Einen Kritikpunkt der Nutzwertanalyse stellt jedoch die Subjektivität bei der Vergabe der Punktwerte zu den einzelnen Kriterien dar (Wolke 2008). Kühnapfel (2014) empfiehlt daher die zweite Phase im Rahmen von Gruppendiskussionen mit Experten durchzuführen, um die Subjektivität in der Bewertung zu verringern. Die Gewichtung der Bewertungskriterien durch die Teilnehmer der Gruppendiskussion hat ergeben, dass die größte Priorität bei der Punktbewertung auf den Kriterien humaner Arbeitsgestaltung liegt. Den planerischen Kriterien wurde dabei ein vergleichsweise geringer Stellenwert zugeordnet. Die

oben aufgeführten Tätigkeiten in der Automobilmontage wurden folglich unter Berücksichtigung der zuvor gewichteten Bewertungskriterien bewertet.

Die abschließende Ergebnisphase sieht die Nutzwertberechnung, Sensibilitätsprüfung der Nutzwerte sowie die Dokumentation vor. Unter Berücksichtigung der generierten Nutzwerte lässt sich eine Rangfolge der kritischen Tätigkeiten hinsichtlich der ergonomischen Verbesserung durch die MRK ableiten und dient letztlich als Entscheidungshilfe beim Einsatz der MRK. Die errechneten Gesamtnutzwerte der ergonomisch kritischen Tätigkeiten ermöglichen dabei die folgende Rangfolge, wobei mit absteigendem Rang das Optimierungspotenzial durch die MRK abnimmt:

1. Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum anbringen
2. Leitungsstrang im Motorraum verlegen
3. Frontklappe öffnen
4. Frontscheibe in Klebeanlage legen
5. Warenkorb aufziehen

Im Ergebnis zeigt sich, dass bei dem *Anbringen der Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum* die MRK das größte Verbesserungspotenzial hinsichtlich der ergonomischen Arbeitsgestaltung auslösen würde. Grund dafür liegt in der sehr hohen Ganzkörperkraft sowie der ungünstigen Körperhaltung während der Ausführung der Tätigkeit. Dennoch heben die Experten diesbezüglich hervor, dass die technische Machbarkeit der MRK im Fahrzeuginnenraum nach heutigem Entwicklungsstand als sehr aufwendig und die damit einhergehenden Investitionskosten als besonders hoch eingeschätzt werden. Den letzten Rang belegt die Tätigkeit *Warenkorb aufziehen*, begründet durch die Last (400 kg) des Warenkorbes, den der Mitarbeiter auf das Montageband ziehen muss. Eine MRK-Lösung wird in diesem Zusammenhang als nicht sinnvoll erachtet. In diesem Fall sollte die grundsätzliche Konstruktion des Warenkorbes überdacht sowie die Ausstattung mit einer Vollautomatisierung untersucht werden.

Um dem mitarbeiterorientierten Ansatz zu entsprechen ist es notwendig, die Entscheidung für einen MRK-Einsatz an einem bestimmten Arbeitsplatz frühzeitig an das Team zu kommunizieren und die Mitarbeiter an dem Planungsprozess zu beteiligen. Demnach sollte ein produktionsnaher Mitarbeiter, z. B. Teamsprecher, bei den anschließenden Ausplanungen für den zukünftigen MRK-Arbeitsplatz beteiligt werden.

Insgesamt geht aus den Expertenbefragungen und Gruppendiskussionen hervor, dass die Automobilmontage ein häufig genanntes Einsatzgebiet für kooperierende Robotertechnik darstellt. Besonders die Unterstützung der Mitarbeiter bei der Handhabung schwerer Lasten sowie beim Arbeiten in einer ungünstigen Körperhaltung wird vermehrt genannt. Ergänzend wird durch die Experten darauf verwiesen, dass besonders im Fahrzeuginnenraum ergonomisch kritische Tätigkeiten anfallen, die technische Umsetzung der neuen

Robotertechnik im Fahrzeuginnenraum jedoch aktuell sehr schwierig ist. Zusätzlich wird die Umsetzung der MRK in der Fließfertigung und die damit einhergehende Takteinbindung des Roboters ebenfalls aus technischen und sicherheitsrelevanten Gründen als problematisch bewertet.

Zudem bringen die Experten an, dass sich der Einsatz einer MRK aus ergonomischer Sicht überall dort eignet, wo Belastungen auftreten, die nicht mit den herkömmlichen Hilfsmitteln der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung, z. B. mit klassischen Handhabungsgeräten, zu beseitigen sind. Bezüglich der als ergonomisch kritisch eingeschätzten Tätigkeiten spielen Finger- und Handkräfte, das Anbringen von Clipsen, repetitive Tätigkeiten sowie Verschraubungen und die damit einhergehenden Rückschlagkräfte für den Hand- und Armbereich eine wichtige Rolle. Als ergonomisch kritisch wird die Überkopfarbeit, bspw. beim Montieren der Heckklappeninnenverkleidung, eingeordnet. Im Hinblick auf die Implementierung der MRK ist die Akzeptanz des Roboters für eine erfolgreiche Umsetzung der MRK von besonderer Relevanz. Zur Steigerung der Akzeptanz wird empfohlen, die Mitarbeiter beim Gestaltungsprozess der MRK zu beteiligen. Zudem sollten die Mitarbeiter durch umfassende Informationen und Schulungen auf die Zusammenarbeit mit dem Roboter vorbereitet werden.

Schließlich wird die MRK als bisher wenig erforschtes Themenfeld eingestuft. Daher ist es nicht überraschend, dass die Experten zum heutigen Zeitpunkt die Auswirkungen der Zusammenarbeit mit dem Roboter für den Mitarbeiter als schwer abschätzbar bezeichnen. Abschließend sind die Experten der Meinung, dass die MRK im Idealfall die Tätigkeiten des Mitarbeiters anreichert, indem er zukünftig mehr kontrollierende und weniger monotone Aufgaben übernimmt. Allerdings halten sie neue psychische Beanspruchungen durch MRK-Anwendungen für nicht ausgeschlossen. Mit dieser Vorgehensweise zur kriterienbasierten MRK-Auswahl unter Berücksichtigung der Mitarbeitersicht ist es möglich, aus einer Vielzahl an ergonomisch kritischen Arbeitsplätzen, die zu identifizieren, bei welchen der MRK-Einsatz das größte ergonomische Verbesserungspotenzial aufweist. Hinzu kommt, dass dieses Vorgehen lediglich von Erfolg gekennzeichnet ist, wenn die Bewertung durch eine interdisziplinäre Personengruppe unter Einbeziehung der Produktionsmitarbeiter durchgeführt wird.

Neben der Expertensicht spielt ebenfalls die Mitarbeitersicht auf den MRK-Einsatz eine wichtige Rolle. Aus diesem Grund kommen problemzentrierte Interviews mit Mitarbeitern zum Einsatz, die bereits Erfahrung in der Zusammenarbeit mit einem Leichtbauroboter aufweisen. Hierbei soll durch die Mitarbeiter der ergonomische Nutzen und der Einführungsprozess der MRK bewertet werden.

In der vorliegenden Arbeit wird bestätigt, dass die MRK als ein Handlungsansatz zur Verbesserung von ergonomisch kritischen Arbeitsplätzen durch robotergestützte

kooperierende Assistenzsysteme geeignet ist. Hierbei wird die ergonomische Entlastung insbesondere die Reduzierung des Stressempfindens von den Mitarbeitern hervorgehoben.

Gerade vor dem Hintergrund des verringerten Verantwortungsgefühls der Mitarbeiter im Falle einer Störung durch den Roboter, tritt diese Stressreduzierung ein. Bei der Kombination der Stärken und Schwächen von Mensch und Roboter ist jedoch darauf zu achten, dass die Gestaltung der MRK nicht zu Über- oder Unterforderungszuständen bei den Mitarbeitern führt. Denn trotz der Stressreduzierung hat der Störfall auch negative Konsequenzen für die Mitarbeiter. Einerseits sind die Mitarbeiter aufgrund der fehlenden Qualifikation nicht in der Lage eigenständig die Störung zu beheben. Dementsprechend sind sie abhängig von der Erreichbarkeit und Reaktionsgeschwindigkeit der Anlagenbediener, die dafür die notwendige Fachkompetenz aufweisen. Andererseits kommt es aufgrund der Störung und des daraus resultierenden Ausfalls des Roboters zu einer Überforderungssituation bei Ausführung der eigenen Tätigkeit und der Aufgabe des Roboters im Rahmen der vorgegebenen Taktzeit.

Zudem wirkt sich diesbezüglich der fehlende Übungsgrad der Tätigkeit, die der Roboter übernommen hat, ebenfalls negativ auf die Belastungssituation aus. Demzufolge bietet der störungsfreie Roboter eine Möglichkeit zur Belastungsreduzierung bei den Mitarbeitern im Rahmen ihrer Tätigkeit. Im Störfall erzeugt die MRK jedoch mehr negative als positive Aspekte für die Belastungssituation der Mitarbeiter. Aus diesem Grund ist der störungsfreie Ablauf der MRK eine entscheidende Voraussetzung, um sowohl die Belastungssituation der Mitarbeiter nicht zu verschlechtern, als auch die Akzeptanz der Mitarbeiter für diese neue Technologie zu gewinnen. Gelingt die Erfüllung dieser Voraussetzung, findet die Integration des Roboters durch Humanisierung in Form der Namengebung in das Team statt und die Zusammenarbeit mit dem Roboter wird, trotz des Bewusstseins der Mitarbeiter bezüglich des möglichen Arbeitsplatzverlustes durch den Robotereinsatz, als positiv bewertet. In Anbetracht der existierenden Verlustangst des Arbeitsplatzes bei den Mitarbeitern, wenn vermehrt Roboter zum Einsatz kommen, ist die Partizipation und offene Kommunikation unabdingbar, um diesen Ängsten entgegenzuwirken.

In diesem Zusammenhang sollte die Partizipation der Mitarbeiter, die letztendlich mit dem Roboter kooperieren, bereits bei der kriterienbasierten Auswahl des MRK-Einsatzes erfolgen. Hierfür geht aus der vorliegenden Untersuchung eine Vorgehensweise hervor, die aus den drei Schritten: Analyse, Bewertung und Rangfolgenbildung besteht. Hierbei wird empfohlen, risikobehaftete Arbeitsplätze in die Analyse aufzunehmen, welche einen Belastungsschwerpunkt in einer Belastungskategorie aufweisen. Der Herausforderung der Identifikation von validen Kriterien konnte zudem durch die induktive Generierung von 15 Entscheidungskriterien gelingen, die mit einem Punktwert im Rahmen der Bewertung durch eine interdisziplinäre Gruppe eingeschätzt werden. Dabei ist von besonderer Relevanz, dass diese Gruppe bereits einen produktionsnahen Vertreter, idealerweise ein Mitarbeiter aus der

betreffenden Linie, aufweist. Die in Anlehnung an die Nutzwertanalyse erzeugte Rangfolge der zu bewertenden Arbeitsplätze bietet somit eine geeignete Grundlage für die Entscheidungsfindung bzgl. des Roboter-Einsatzes. Schließlich wird mit dieser Vorgehensweise zur kriterienbasierten Auswahl des MRK-Einsatzes der Anspruch der Vergleichbarkeit von risikobehafteten Arbeitsplätzen erfüllt.

Zusammenfassend liefert die vorliegende Forschungsarbeit eine Vorgehensweise zur Auswahl von MRK-Arbeitsplätzen unter Anwendung einer kriterienbasierten Bewertung durch eine interdisziplinäre Gruppe von themenbezogenen Experten und produktionsnahen Mitarbeitern. Kommt der Roboter letztendlich in den kooperierenden Einsatz, ist eine Belastungsreduzierung für die Mitarbeiter aufgrund der Übernahme der risikobehafteten Tätigkeit zu erwarten.

Insgesamt stellt die MRK eine geeignete Maßnahme zur Verbesserung der risikobehafteten Arbeitsplätze dar. Dennoch ist hervorzuheben, dass die MRK lediglich eine von einer Vielzahl an Verbesserungsmaßnahmen darstellt, die abhängig von den Rahmenbedingungen des Arbeitsplatzes mehr oder weniger geeignet ist. Dabei entspricht die MRK keiner Universallösung für ergonomisch kritische Arbeitsplätze. Der MRK-Einsatz sollte vielmehr individuell und im Vergleich mit anderen Maßnahmen, wie z. B. Manipulatoren, betrachtet werden.



## Disclaimer

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen Aktiengesellschaft.

## Ehrenerklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Verwendete fremde und eigene Quellen sind als solche kenntlich gemacht. Ich habe nicht die Hilfe eines kommerziellen Promotionsberaters in Anspruch genommen.

Ich habe insbesondere nicht wissentlich:

- Ergebnisse erfunden oder widersprüchliche Ergebnisse verschwiegen
- statistische Verfahren absichtlich missbraucht, um Daten in wissenschaftlich ungerechtfertigter Weise zu interpretieren
- fremde Ergebnisse oder Veröffentlichungen plagiiert
- fremde Forschungsergebnisse verzerrt wiedergegeben.

Mit ist bekannt, dass Verstöße gegen das Urheberrecht Unterlassungs- und Schadensersatzansprüche des Urhebers sowie eine strafrechtliche Ahndung durch die Strafverfolgungsbehörden begründen können.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form als Dissertation eingereicht und ist als Ganzes auch noch nicht veröffentlicht.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Dissertation ggf. mit Mitteln der elektronischen Datenverarbeitung auf Plagiate überprüft werden kann.

Magdeburg, 06.05.2019

Jenny Dachwitz



---

Vorname, Name, Unterschrift

# Gliederung

<b>Kurzfassung zur Dissertation .....</b>	<b>I</b>
<b>Disclaimer .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Ehrenerklärung .....</b>	<b>IX</b>
<b>Gliederung.....</b>	<b>X</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>XII</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>XIV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>XV</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung und Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit .....	7
<b>2 Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>9</b>
2.1 Automatisierung und Robotik .....	9
2.1.1 Begriffliche Klärung.....	9
2.1.2 Einsatzgebiete von Robotern .....	14
2.1.3 Arten der Mensch-Roboter-Kooperation.....	16
2.1.4 Gesetzliche Normen und Sicherheitskonzepte .....	18
2.2 Mensch-Maschine-Systeme.....	22
2.2.1 Begriffliche Klärung.....	23
2.2.2 Roboterprogrammierung .....	24
2.2.3 Usability .....	25
2.2.4 Automatisierungsstrategien.....	26
2.2.5 Probleme bei der Nutzung automatisierter Systeme .....	30
2.3 Arbeitswissenschaft .....	33
2.3.1 Begriffliche Klärung.....	34
2.3.2 Theoretische Konzepte der Arbeitsgestaltung.....	38
2.3.3 Wirkungsmodell der Arbeit .....	45
2.3.4 Verfahren der Belastungsanalyse und -bewertung .....	49
2.4 Zwischenfazit und Ableitung der Forschungsfragen .....	53
<b>3 Entwicklung des Forschungsdesigns.....</b>	<b>56</b>
3.1 Forschungsdesign der Studie 1.....	58
3.2 Forschungsdesign der Studie 2.....	61
<b>4 Empirie der Studie 1 zur Identifikation von Entscheidungskriterien für einen MRK-Einsatz zur ergonomischen Verbesserung.....</b>	<b>63</b>
4.1 Teilstrukturierte Expertenbefragung .....	63
4.1.1 Stichprobenauswahl der Experten .....	63
4.1.2 Leitfadenkonzeption.....	65

4.1.3 Durchführung und Auswertung der Expertenbefragung.....	68
4.1.4 Ergebnisdarstellung der Expertenbefragung .....	71
4.2 Teilstrukturierte Gruppenbefragungen mit Experten.....	90
4.2.1 Durchführung der teilstrukturierten Gruppenbefragung mittels Nutzwertanalyse und Auswertung .....	90
4.2.2 Ergebnisdarstellung der Gruppenbefragung.....	95
<b>5 Empirie der Studie 2 zur Untersuchung der Mitarbeitersicht auf den Auswahl- und Einführungsprozess der MRK.....</b>	<b>104</b>
5.1 Durchführung und Auswertung der problemzentrierten Interviews .....	104
5.2 Ergebnisdarstellung der Interviews .....	107
<b>6 Ableitung einer Vorgehensweise zur kriterienbasierten MRK-Auswahl unter Berücksichtigung der Mitarbeitersicht.....</b>	<b>120</b>
<b>7 Diskussion .....</b>	<b>124</b>
7.1 Beurteilung aus wissenschaftlicher Sicht .....	124
7.1.1 Bewertung der Entscheidungskriterien für den MRK-Einsatz .....	124
7.1.2 Bewertung der Mitarbeitersicht auf den ergonomischen Nutzen durch MRK.....	129
7.1.3 Würdigung der gewählten Verfahren.....	131
7.2 Beurteilung unternehmerischer Gesichtspunkte.....	135
7.2.1 Potenziale der MRK in der Automobilindustrie .....	135
7.2.2 Bewertung des ergonomischen Verbesserungspotenzials durch MRK.....	137
7.2.3 Einschätzung der Veränderungstiefe der Arbeit der Zukunft durch MRK.....	138
<b>8 Fazit und Ausblick.....</b>	<b>140</b>
8.1 Fazit zur zukunftsorientierten Arbeitsplatzgestaltung unter Anwendung der Mensch-Roboter-Kooperation.....	140
8.2 Ausblick in weitere Forschungsbereiche .....	142
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>144</b>
<b>Anhang A EAWS-Bewertungsbogen .....</b>	<b>159</b>
<b>Anhang B Anschreiben an die Experten .....</b>	<b>163</b>
<b>Anhang C Leitfaden der teilstrukturierten Expertenbefragungen .....</b>	<b>164</b>
<b>Anhang D Anschreiben an die Mitarbeiter .....</b>	<b>166</b>
<b>Anhang E Leitfaden der problemzentrierten Interviews.....</b>	<b>167</b>
<b>Anhang F EAWS-Bewertung der Arbeitsplätze für die Nutzwertanalyse.....</b>	<b>168</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Einteilung der Handhabungsgeräte (nach VDI-Richtlinie 2861 1988) .....	12
Abb. 2: Unterstützungssysteme (nach Weidner et al. 2015) .....	13
Abb. 3: Einsatzpotenzial der Mensch-Roboter-Kooperation (nach Reinhart & Rösel 2010, Hägele & Schäfer 2006) .....	17
Abb. 4: Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (Laurig 1992) .....	46
Abb. 5: Bereiche von Belastungsfaktoren bei der Arbeit (nach McGrath 1981).....	48
Abb. 6: Vergleich quantitativer vs. qualitativer Forschungsprozess (nach Bortz & Döring 2006) .....	57
Abb. 7: Studienformat der Studie 1 (eigene Darstellung) .....	60
Abb. 8: Studienformat der Studie 2 (eigene Darstellung) .....	62
Abb. 9: Oberstufen-Punktwertskala (eigene Darstellung in Anlehnung an KMK 1972).....	94
Abb. 10: "Ist-wichtiger-als"-Stimmen (eigene Darstellung).....	97
Abb. 11: Punktbewertung für Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ (eigene Darstellung).....	99
Abb. 12: Punktbewertung für Arbeitsplatz „Leitungsstrang in Motorraum verlegen“ (eigene Darstellung) .....	99
Abb. 13: Punktbewertung für Arbeitsplatz „Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum anbringen“ (eigene Darstellung).....	100
Abb. 14: Punktbewertung für Arbeitsplatz „Frontscheibe in Klebeanlage einlegen“ (eigene Darstellung) .....	100
Abb. 15: Punktbewertung für Arbeitsplatz „Warenkorb aufziehen“ (eigene Darstellung) .....	101
Abb. 16: Teilnutzwertberechnung für Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ (eigene Darstellung).....	101
Abb. 17: Ergebnisübersicht der Nutzwertberechnung (eigene Darstellung) .....	103
Abb. 18: Ergebnis der Skala-Frage zum Belastungsempfinden (eigene Darstellung) .....	111
Abb. 19: Arbeitsplatzauswahl für MRK-Einsatz (eigene Darstellung).....	120
Abb. 20: Bewertungstabelle für Schritt 2 der Arbeitsplatzauswahl für MRK-Einsatz (eigene Darstellung) .....	121
Abb. 21: EAWS-Bewertungsbogen, Seite 1 (IAD & AMI 2012) .....	159
Abb. 22: EAWS-Bewertungsbogen, Seite 2 (IAD & AMI 2012) .....	160
Abb. 23: EAWS-Bewertungsbogen, Seite 3 (IAD & AMI 2012) .....	161
Abb. 24: EAWS-Bewertungsbogen, Seite 4 (IAD & AMI 2012) .....	162
Abb. 25: Standard Ergo-Report für Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ (Volkswagen 2016) .....	168
Abb. 26: Standard Ergo-Report für Arbeitsplatz „Leitungsstrang im Motorraum verlegen“ (Volkswagen 2016) .....	169

---

Abb. 27: Standard Ergo-Report für Arbeitsplatz „Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum  
anbringen“ (Volkswagen 2016) .....170

Abb. 28: Standard Ergo-Report für Arbeitsplatz „Frontscheibe in Klebeanlage einlegen“  
(Volkswagen 2016) .....171

Abb. 29: Standard Ergo-Report für Arbeitsplatz für „Warenkorb aufziehen“ (Volkswagen  
2016) .....172

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Schutzprinzipien der MRK (eigene Darstellung in Anlehnung an Fraunhofer Austria Research GmbH 2016, ISO/TS 15066).....	20
Tab. 2: Die originale Fitts lists (nach Fitts 1951) .....	27
Tab. 3: Merkmale motivations-, persönlichkeits- und lernförderlicher Aufgabengestaltung (nach Ulich 2011) .....	40
Tab. 4: Ziele bei der Nutzung von Gruppenarbeit (nach Wegge 2004) .....	42
Tab. 5: Sechs Dimensionen der Belastung (nach Schönplug 1987) .....	47
Tab. 6: Belastungsbereiche (nach McGrath 1981).....	49
Tab. 7: Überblick von Verfahren zur Bewertung physischer Belastung (nach Kugler et al. 2010) .....	51
Tab. 8: Transkriptionsregelsystem (nach Dresing & Pehl 2013) .....	70
Tab. 9: Kategorie 1 – Hauptbelastungsarten in der Produktion (eigene Darstellung) .....	73
Tab. 10: Kategorie 2 – Ergonomische Verbesserungsmaßnahmen (eigene Darstellung) .....	75
Tab. 11: Kategorie 3 – Motive für MRK (eigene Darstellung) .....	76
Tab. 12: Kategorie 4 – Vergleich zwischen Mensch und Roboter (eigene Darstellung) .....	77
Tab. 13: Kategorie 5 – Einsatzgebiete der MRK (eigene Darstellung) .....	78
Tab. 14: Kategorie 6 – Technischer Stand der MRK (eigene Darstellung).....	80
Tab. 15: Kategorie 7 – MRK im Vergleich zum Manipulator (eigene Darstellung).....	80
Tab. 16: Kategorie 8 – Umsetzungsvoraussetzungen für MRK (eigene Darstellung).....	84
Tab. 17: Kategorie 9 – Entscheidungskriterien für MRK (eigene Darstellung).....	85
Tab. 18: Kategorie 10 – Gestaltungsaspekte der MRK (eigene Darstellung) .....	87
Tab. 19: Kategorie 11 – Auswirkungen der MRK (eigene Darstellung) .....	89
Tab. 20: Vorgehen bei der Nutzwertanalyse (in Anlehnung an Kühnapfel 2014) .....	91
Tab. 21: Übersicht der Entscheidungskriterien (eigene Darstellung) .....	92
Tab. 22: Definitionen der Entscheidungskriterien (eigene Darstellung).....	96
Tab. 23: Rangfolge der Gesamtnutzwerte (eigene Darstellung) .....	102
Tab. 24: Kategorie 1 – Arbeitsbedingungen vor MRK-Einführung (eigene Darstellung) .....	109
Tab. 25: Kategorie 2 – Veränderungen nach MRK-Einführung (eigene Darstellung) .....	112
Tab. 26: Kategorie 3 – Einführungsprozess der MRK (eigene Darstellung) .....	114
Tab. 27: Kategorie 4 – Zusammenarbeit mit dem Roboter (eigene Darstellung).....	117
Tab. 28: Kategorie 5 – Einsatzmöglichkeiten weiterer MRK (eigene Darstellung).....	118
Tab. 29: Leitfragen für die Bewertung mittels Bewertungstabelle (eigene Darstellung).....	122

## Abkürzungsverzeichnis

3P	Produktions-Planungs-Prozess
AMI	Associazione MTM Italia
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BetrVG	Betriebsverfassungsgesetz
BG	Berufsgenossenschaft
BGIA	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz
BIB	Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung
BildscharbV	Bildschirmarbeitsverordnung
BMI	Bundesministerium des Inneren
DGUV	Deutsche gesetzliche Unfallversicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung
EAWS	Ergonomic Assessment Worksheet
EN	Europäische Norm
F-Zeit	Fertigungszeit
GfA	Gesellschaft für Arbeitswissenschaft
i. O.	in Ordnung (sachgemäß verbaute Bauteile)
IAD	Institut für Arbeitswissenschaft Darmstadt
ifaa	Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V.
IFR	International federation of Robotics
ISO	International Organization for Standardization
KMK	Kultusministerkonferenz
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MA	Mitarbeiter
MRK	Mensch-Roboter-Kooperation
MSM	Mensch-Maschine-System
MTM	Method Time Measurement
n. i. O.	nicht in Ordnung (nicht sachgemäß verbaute Bauteile)
OOTLUF	Out of the loop unfamiliarity
ProdSV	Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz
TS	Technical Specification
VDI	Verein Deutscher Ingenieure



# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung und Motivation

Der globale Wettbewerb setzt produzierende Unternehmen in Deutschland einem zunehmenden Termin- und Kostendruck aus. Zudem stellt die steigende Variantenvielfalt, hervorgerufen durch Zunahmen an kundenindividuellen Produkten und Dienstleistungen, die Unternehmen vor eine besondere Herausforderung hinsichtlich der Zunahme an Komplexität. Nicht zuletzt spielen dabei der ressourceneffiziente Einsatz sowie die Zunahme an Leistungsfähigkeit, Flexibilität und Geschwindigkeit der Prozesse eine entscheidende Rolle, die sich letztendlich in komplexen Produktionssystemen äußert (Steinhilper et al. 2012).

Des Weiteren sind die Auswirkungen des demografischen Wandels für die deutschen Industriestandorte mit erheblichen Herausforderungen verbunden (Plorin et al. 2013). Dies verdeutlicht die Reduzierung der Bevölkerungszahl bei gleichzeitig steigendem Durchschnittsalter, das ein verändertes Mitarbeiterprofil zur Folge hat (BMI 2011). Denn das steigende Durchschnittsalter sowie die gleichzeitige Abnahme der Geburtenquoten sind die zentralen Treiber des demografischen Wandels, der die heutigen Produktionssysteme zunehmend vor große Herausforderungen stellt (Martinez-Fernandez et al. 2012). Folglich werden im Jahr 2030 in Deutschland 36 % der Erwerbstätigen zwischen 50 und 65 Jahre alt sein und 35 % der Bevölkerung der Altersgruppe über 60 Jahre angehören (Statistisches Bundesamt 2015). Angesichts dessen nimmt der Anteil an Muskel-Skelett-Erkrankungen mit steigendem Alter zu. Aufgrund dessen ist die ergonomische und altersgerechte Arbeitsplatzgestaltung in den produzierenden Unternehmen wichtiger denn je. Gerade in der Automobilbranche wird dieses Problem deutlich, da vier von zehn Mitarbeitern<sup>1</sup> in maximal zehn Jahren über 50 Jahre sein werden. Die Zahl der Rentner wird sich infolge der demografischen Entwicklung sukzessiv bis zum Jahr 2050 verdoppeln. Der daraus resultierende Bedarf an Mitarbeitern steht jedoch den geburtenschwachen Jahrgängen gegenüber, die in den kommenden Jahren in das Berufsleben einsteigen werden (BIB 2015).

Zudem sind Muskel-Skelett-Erkrankungen mit 24,7 % aller Fehltage die häufigste Ursache für Arbeitsunfähigkeiten und gehen gleichzeitig mit längeren Arbeitsunfähigkeiten im Vergleich zu anderen Erkrankungen einher (Knieps & Pfaff 2016). Diese Zahlen werden ebenfalls durch die Erwerbstätigenbefragung des BIBB und der BAuA (Wittig et al. 2012) bestätigt. Diese ergab, dass von der Gesamtzahl der Erwerbstätigen in Deutschland 11,7 % der Männer sowie 13,5 %

---

<sup>1</sup> In der folgenden Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Sie bezieht sich auf Personen beiderlei Geschlechts.

der Frauen bei Ausführung ihrer Tätigkeit schwere Lasten heben oder tragen müssen, und dies als belastend einstufen (ebd.).

Mit dieser Entwicklung geht gleichzeitig eine Veränderung des Krankheitsgeschehens im Unternehmen einher. Die damit verbundenen Tätigkeitseinschränkungen der älteren Belegschaft im Produktionsprozess werden aufgrund dessen in den kommenden Jahren stark zunehmen (Börsch-Supan & Wilke 2009). Im Ergebnis wird diese Entwicklung eine große Herausforderung für die deutsche Wirtschaft sein (Martinez-Fernandez et al. 2012). Deutschland gehört im weltweiten Vergleich zu den am stärksten betroffenen Ländern des demografischen Wandels (Birg 2004). Dies verdeutlicht den Bedarf nach einer ergonomisch ausgerichteten und zugleich zukunftsorientierten Arbeitsplatzgestaltung, um den Mitarbeiter vor langfristigen Einschränkungen zu bewahren. Als Handlungsansatz dafür ist das Zukunftsprojekt *Industrie 4.0* der Bundesregierung zu nennen. Im Rahmen dessen wird die Robotik sowie insbesondere kooperierende Roboter als wichtiger Aspekt bezogen auf die Arbeitsgestaltung benannt (Promotorengruppe 2013).

Um aufgrund der eingangs beschriebenen Herausforderungen bestehen zu können, sind Unternehmen bestrebt, den Mitarbeiterinsatz gesundheitsförderlich und im Hinblick auf die Produktivität und Flexibilität kontinuierlich zu verbessern. Eine Möglichkeit dafür stellt die MRK dar, die das Profil eines Mitarbeiters berücksichtigt und diesen während seiner Tätigkeit entlastet. Demnach wirkt sich die MRK bei steigender Produktivität positiv auf die Gestaltung des Arbeitsplatzes aus (Deuse et al. 2009).

Deuse et al. (2009) heben in diesem Zusammenhang hervor, dass durch die neue Form der Zusammenarbeit von Mensch und Maschine das Prozess- und Systemverständnis auf Seiten des Mitarbeiters nicht überproportional abnehmen sollte. Denn nur so kann die Handlungsfähigkeit des Mitarbeiters im Produktionssystem erhalten bleiben. Vor diesem Hintergrund spielt das Zusammenspiel der Faktoren Mensch, Technik und Organisation bei der Planung und Implementierung von Produktionssystemen eine wichtige Rolle. Nicht zuletzt um die Arbeitsplatzbedingungen sowie die Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen nachhaltig zu verbessern (Ulich 2011).

Dennoch steht für Unternehmen neben den ergonomischen Gestaltungszielen ebenfalls der wirtschaftliche Einsatz von Unterstützungssystemen, wie die der MRK, im Vordergrund. Hierzu zeigen Forschungsergebnisse, dass innovative Technologien und Komponenten aus den Bereichen Mechanik, Sensorik und Software den wirtschaftlichen Einsatz assistierender Handhabungssysteme ermöglichen. Der Mensch kann dabei in unterschiedlichen kooperierenden Formen mit den Assistenzsystemen arbeiten (Helm & Meyer 2005). Diese Kooperationsform birgt zum einen geringe Investitionskosten im Vergleich zu konventionellen Maßnahmen zur Arbeitsplatzgestaltung. Zudem werden durch den Einsatz der spezifischen Stärken von Mensch und Maschine bei der Aufgabenausführung die ergonomischen

Arbeitsbedingungen verbessert. Weiterhin ist eine Effizienzsteigerung durch parallele und interaktive Aufgabenausführung von Mensch und Maschine zu verzeichnen. Zum anderen kann das Assistenzsystem flexibel je nach Aufgabenstellung eingesetzt und an die entsprechenden Umgebungsbedingungen adaptiert werden (ebd.).

Der Einsatz von robotischen Assistenzsystemen beschränkte sich bisher in der Automobilindustrie auf Industrieroboter, die in den letzten Jahrzehnten den fortschreitenden Automatisierungsgrad in der Produktion und Fertigung förderten. In der Automobilindustrie führt das zu einer Reduzierung der manuellen Tätigkeit auf 5 % im Karosseriebau. In der Montage sind die manuellen Tätigkeiten mit 95 % jedoch noch vorherrschend (Brauer et al. 2014). Deutschland stellt im Hinblick auf den Einsatz und Verkauf von Industrierobotern den größten Markt in Europa dar. Weltweit weisen lediglich die USA und Japan eine höhere Industrieroboterichte pro Mitarbeiter auf (IFR 2013).

Bei der Gestaltung eines Arbeitsplatzes mit einem Industrieroboter kommen bis heute weitestgehend sichere Trennzäune zum Einsatz, um den menschlichen vom robotischen Arbeitsplatz zu trennen. Die direkte Interaktion zwischen Mensch und Roboter soll bewusst vermieden werden und kennzeichnet das Paradigma der industriellen Automatisierung (Wischmann 2015). Dabei werden gesamte Arbeitsschritte vollständig automatisiert und die manuellen Tätigkeiten entfallen zugleich. Folglich ersetzt der Mitarbeiter lediglich die Automatisierungslücken, die aufgrund der hohen Varianz in den Bauteilen oder der Komplexität des Montierens wirtschaftlich nicht zu automatisieren sind (ebd.).

Dieses Dilemma veranschaulicht Toyota 2014 mit dem Ziel zehn Millionen Autos zu produzieren. Zur Zielerreichung wurde die Produktion um eine halbe Million jährlich erhöht, wodurch verstärkt Industrieroboter in den Fertigungsbereichen eingesetzt wurden. Infolge dessen konzentrierte sich die menschliche Tätigkeit auf das Befüllen der Maschinen mit den benötigten Werkstücken (Wischmann 2015). Die Problemlösekompetenz im Falle einer Störung ebenso wie das Prozesswissen wurde den Mitarbeitern nicht vermittelt. In der Folge konnte der Mitarbeiter trotz seiner den Maschinen überlegenen kognitiven Fähigkeit die Optimierungspotenziale im Produktionsprozess nicht aufdecken. Als Resultat verzeichnete Toyota Fahrzeugmängel, die mit typischen Produktionsfehlern der Maschinen zu begründen sind. Daraufhin entschied Toyota im Rahmen einer neuen Produktionsstrategie manuelle Arbeitsplätze wiedereinzuführen, jedoch ohne den Rückgang zur Fertigung im Sinne einer Manufaktur. Denn der Automatisierungsgrad in den Fertigungsbereichen soll weiterhin bestehen bleiben. Dieser wird lediglich um sogenannte Lernfabriken erweitert, die den Mitarbeitern das notwendige Prozesswissen der Maschine vermitteln, um im Störfall eingreifen zu können. Damit versucht Toyota, das verloren gegangene Wissen über alle Fertigungsprozesse wieder zu erlangen (ebd.). Diese Erfahrung bei Toyota zeigt, wie wichtig

es ist, die Mitarbeiter nicht einer Dequalifizierung auszusetzen, sondern vielmehr die neuen Tätigkeiten als eine Chance der Anreicherung zu sehen.

Rückblickend auf die unterschiedlichen Ansätze zur Gestaltung von Produktionssystemen, ist vor der Vollautomatisierung bei Toyota der rein technikzentrierte Ansatz des Taylorismus zu nennen. Der Taylorismus lässt dabei jegliche mitarbeiterorientierten Gestaltungsaspekte außer Acht und nimmt dabei eine gesteigerte Unzufriedenheit bei den Mitarbeitern in Kauf. Als Reaktion darauf entstand im Jahr 1974 das staatliche Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Humanisierung des Arbeitslebens“. Dessen Zielsetzung bestand darin, die Gesundheit der Mitarbeiter nicht nur durch den Abbau von Belastungen zu verbessern. Ebenfalls stand die menschengerechte Anwendung neuer Technologien sowie die mitarbeiterorientierte Gestaltung von Arbeitsbedingungen im Vordergrund. Umsetzungsbeispiele sind hierfür u. a. die Einführung flexibler und selbstbestimmter Arbeitszeiten, die Arbeitsbereicherung, die Enthierarchisierung und teilautonome Gruppenarbeiten (Deuse et al. 2009). Damit verbunden sollte diese Form der Arbeitsgestaltung das Verantwortungsgefühl bei den Mitarbeitern erhöhen, das sich in einer gesteigerten Arbeitszufriedenheit widerspiegelt (Kirchner 1972). Neben den Zielen zur menschengerechten Gestaltung von Arbeitsplätzen konnten jedoch keine wirtschaftlichen Ziele durchgängig erreicht werden (Ulich 2011).

Um dennoch die wirtschaftlichen Ziele zu verfolgen, erreichte das Konzept Computer Integrated Manufacturing (CIM) in den 1980er Jahren eine hohe Beachtung in Deutschland. Mit diesem neuen Ansatz wurden Ziele, wie die vollständige Vernetzung und die ganzheitliche Betrachtung des Prozesses von der Produktentwicklung bis zur Qualitätskontrolle, verfolgt (Scheer 1994). Die damit verbundenen Vorteile waren insbesondere die Steigerung der Produktionsflexibilität bei gleichzeitiger Verringerung der Durchlaufzeiten und die Zusammenführung der Unternehmensbereiche. Mit dieser Entwicklung ging jedoch ein rationalisierungsbedingter Arbeitsplatzverlust einher, der das Konzept CIM schnell mit der Vision einer menschenleeren Fabrik in Verbindung brachte (Bauernhansl 2013). Hauptgrund für das Scheitern des CIM-Konzeptes stellt, ähnlich wie beim Taylorismus, die mangelnde Berücksichtigung des Menschen, sowohl als Mitarbeiter als auch als Kunde, dar (Deuse et al. 2015).

Schließlich vereinte der Gestaltungsansatz des Lean Managements die unternehmensbezogenen und mitarbeiterorientierten Ziele. Dessen Ursprung im Toyota-Produktionssystem liegt und eine schlanke, verschwendungsarme sowie kundenorientierte Organisation vorsieht. Die Vermeidung jeglicher Form von Verschwendung, ungeplanter Variabilität und Überlastung von Mitarbeitern und Betriebsmitteln zählen zu den zentralen Zielen des Lean Management (Ohno 2009). In den vergangenen Jahren konnte dieser Ansatz

in produzierenden Unternehmen den Kundennutzen von Produktionssystemen erhöhen und gleichzeitig die Herstellkosten senken (Schuh 2007).

Bisherige Erfahrungen mit technik- als auch humanzentrierten Ansätzen zur Gestaltung von Produktionssystemen zeigen, dass die reine Fokussierung auf lediglich einen der genannten Aspekte mehr Nachteile als Vorteile für produzierende Unternehmen birgt. Organisationszentrierte Ansätze konnten wiederum deutliche Fortschritte in der Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit aufzeigen. Deuse et al. (2015) weisen darauf hin, dass humane und technische Aspekte an die Strukturen und Prozesse der Organisation anzupassen sind und die damit einhergehende technische Unterstützung auf die Arbeit des Menschen ausgerichtet wird. Hierbei stellt der Mensch einen wesentlichen Faktor bei der Arbeitsplatzgestaltung dar und ist zukünftig aufgrund der Flexibilität und Kreativität nicht durch autonome Systeme ersetzbar. Mehr noch geht es darum, die Fähigkeiten des Menschen durch intelligente Systeme zu unterstützen und zu erweitern. Vor diesem Hintergrund sind neue kollaborative Formen der Arbeitsorganisation denkbar, innerhalb derer der Mensch als aktiver Entscheidungsträger und Hüter von Optimierungsprozessen zusammen mit einem Roboter agieren kann (ebd.).

Damit der Mitarbeiter diese Rolle ausführen kann und keiner Dequalifizierung aufgrund der Übernahme von Resttätigkeiten unterliegt, sollten die Kompetenzprofile der Mitarbeiter überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Denn aus dem zunehmenden Einsatz komplexer Technologien und dem Arbeiten in einem sich ständig verändernden Arbeitsumfeld resultieren steigende Anforderungen an die Fähigkeiten und Fertigkeiten der Mitarbeiter. Die hierfür erforderliche Systemkompetenz der Mitarbeiter ist wiederum notwendig, um die angestrebte Prozessorientierung zu verfolgen. Fähigkeiten, wie Funktionselemente eines Produktionssystems zu erkennen, Systemgrenzen zu identifizieren, Funktionsweisen und Zusammenhänge zu verstehen und die Vorhersehbarkeit des Systems, werden der Systemkompetenz zugeschrieben. Um als Entscheidungsträger im Prozess zu agieren, stellt diese Kompetenz eine entscheidende Voraussetzung für den Mitarbeiter dar (Deuse et al. 2015).

Im Hinblick darauf gewinnt die Entwicklung von Qualifizierungsprozessen von Mitarbeitern weiter an Bedeutung. Gerade aufgrund einer derartigen Anpassung des Menschen an die Arbeit sind ebenfalls Maßnahmen zur Anpassung der Arbeit an den Menschen erforderlich. Einen Ansatz hierfür bieten innovative Automatisierungslösungen zur Vereinfachung der Handhabungs-, Transport- und Bearbeitungsaufgaben, die eine körperliche und geistige Entlastung des Mitarbeiters bewirken kann. Die damit verbundene Übernahme von monotonen Tätigkeiten durch die entsprechenden Assistenzsysteme ermöglichen den Mitarbeiter flexibel in Steuerungs- und Regelungsprozesse einzubinden. In diesem Zusammenhang spielen geeignete Rahmenbedingungen für eine Kooperation von Mensch und Technik eine

besondere Rolle, indem zum Beispiel der Mitarbeiter in letzter Instanz die Entscheidungen im Prozess treffen sollte und in die Steuerungs- und Koordinationsaufgaben miteinbezogen wird (ebd.).

Diese Einbeziehung geht jedoch mit einem Problem einher, welches bis heute nicht gelöst ist (Bainbridge 1983). Das Automatisierungsdilemma, oder auch bekannt unter „Ironies of Automation“, beschreibt die mit der Automatisierung von Prozessen einhergehende reine Überwachungstätigkeit durch den Menschen. Wenn jedoch das System ausfällt, muss der Mensch wieder eingreifen und die Aufgaben des Systems übernehmen. Diese Aufgabe gestaltet sich als sehr anspruchsvoll, denn die Maschine wird lediglich ausfallen, wenn diese selbst mit der Situation überfordert ist. Zudem sind die Problemanalysefähigkeiten des Menschen zur Beherrschung der Störsituation eingeschränkt, da er diese Situation nicht selbst herbeigeführt hat. Aus diesem Grund fällt es ihm schwer Handlungsoptionen abzuleiten. Folglich ergibt sich eine ironische Problemlage, da der Mensch als Überwacher zunehmend weniger in der Lage ist, seiner Überwachungstätigkeit gegenüber dem automatisierten System nachzugehen (Hartmann 2015). Schlussfolgernd sollte bei der Gestaltung von kooperativen Zusammenarbeitsformen zwischen Mensch und Maschine diese Problematik nicht außer Acht gelassen werden.

Schließlich ist mit der Integration innovativer Automatisierungslösungen und der Unterstützung der Mitarbeiter durch innovative Assistenzsysteme ein Lösungsansatz gegeben, um die Verschiebung der Altersstruktur im Betrieb zu kompensieren. Gleichzeitig bietet diese Entwicklung eine Chance, um die ergonomischen Bedingungen am Arbeitsplatz für die Mitarbeiter zu verbessern und somit langfristige Tätigkeitseinschränkungen zu vermeiden (Hartmann 2015). Denn eine ergonomische und damit altersgerechte Arbeitsgestaltung ist wichtig, um in Deutschland in Zukunft auch mit älteren Beschäftigten gesundheitsfördernd und produktiv zu arbeiten. Somit kann die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens darstellen.

Dieser Aspekt wird mit der MRK verstärkt, indem der Roboter zum einen den Mitarbeiter bei schwierigen Montagearbeiten unterstützt und insbesondere die ergonomisch ungünstigen Tätigkeiten übernimmt. Im Resultat können die Produktionsmitarbeiter körperlich entlastet und die ergonomisch kritischen Arbeitsplätze mit Robotern besetzt werden. Letztendlich wird die flexible Arbeitsteilung zwischen Mensch und Roboter, die folglich durch die optimale Nutzung der jeweiligen Stärken kennzeichnend ist, Realität. Die leicht zu automatisierenden Tätigkeiten werden somit vom Roboter ausgeführt. Manuelle Arbeitsplätze, die für eine vollumfängliche Automatisierung nicht geeignet sind, können bezüglich der Produktivität und Qualität durch die Kooperation von Mensch und Roboter erhöht werden. Weiterhin kann die MRK effektivere Arbeitsabläufe bei geringerem Platzbedarf im Vergleich zu isolierten Mensch- und Roboterarbeitsplätzen ermöglichen (ifaa 2017).

Im Gegenzug sind ebenfalls Risiken mit dieser neuen Technologie verbunden. So ist nach aktuellem technischen Stand die Anwendung von MRK auf biegeschlaffe<sup>2</sup> Bauteile nur schwer und auf Bauteile mit scharfen Kanten oder heißen Oberflächen aus Sicherheitsgründen nicht möglich. Zudem ist bisher die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen an eine MRK mit einem hohen Aufwand verbunden, der im Kapitel 2.1.4 verdeutlicht wird (ebd.).

Dennoch überwiegen die Chancen der MRK und somit betonen Spingler und Thiernemann (2001a), dass mit der MRK „ein System entstanden ist, das den vorhandenen Randbedingungen in der Produktion optimal angepasst werden kann“ (Spingler & Thiernemann 2001a, S. 620).

Angesichts der hohen Erwartungen an die MRK bleibt zu untersuchen, anhand welcher Kriterien der Roboter optimal eingesetzt werden kann. Denn wie die Folgen der Vollautomatisierung bei Toyota zeigen, ist ein flächendeckender Einsatz in der Produktion nicht zielführend. Vielmehr sollten die Arbeitsplätze identifiziert werden, die durch MRK das größte Verbesserungspotenzial für den Mitarbeiter aufweisen. Zudem bleibt offen, wie die Mitarbeiter in einer MRK den ergonomischen Nutzen bewerten sowie die persönlichen Folgen dieser Kooperation einschätzen.

Einleitend soll verdeutlicht werden, welchen hohen Stellenwert die Automatisierung bzw. Robotik im produzierenden Gewerbe hat. Dennoch spielt die mitarbeiterorientierte Gestaltung eines innovativen Assistenzsystems, wie die der MRK eine entscheidende Rolle, um den Erfolg dieser Technik zu messen. Gerade vor dem Hintergrund der potenziellen Dequalifizierung der Mitarbeiter durch den Robotereinsatz sollte eine mitarbeiterorientierte Gestaltung der MRK und die Belastungsreduzierung während der Arbeit im Vordergrund stehen.

## 1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit wird somit das Ziel verfolgt, die eingangs beschriebene Problematik theoretisch fundiert aufzuarbeiten sowie den aktuellen Stand der Technik bzgl. der Automatisierung und Robotik (Kap. 2.1) unter Berücksichtigung der vorhandenen Mensch-Maschine-Schnittstellen (Kap. 2.2) zu beleuchten. Zudem werden im Rahmen der theoretischen Grundlagen die arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse zur Wirkung der Arbeit auf den Menschen (Kap. 2.3) beschrieben. Schließlich resultiert aus der theoriefundierten Recherche der benannten Gebiete ein Handlungsansatz zur ergonomischen Gestaltung von

---

<sup>2</sup> Biegeschlaffe Bauteile sind durch die Eigenschaften niedriger Elastizitätsmodul, geringe Dehnsteifigkeit und große Verformungen infolge geringer Kraft- und Momentbeanspruchung gekennzeichnet (Milberg & Hoßmann 1989).

risikobehafteten Arbeitsplätzen unter Anwendung robotergestützter kooperativer Assistenzsysteme.

Welche Arbeitsplätze letztendlich das größte ergonomische Verbesserungspotenzial durch den Einsatz einer Mensch-Roboter-Kooperation aufweisen, bildet einen Schwerpunkt dieser Untersuchung (Studie 1). Weiterhin spielt die Mitarbeiterperspektive auf den Auswahl- und Einführungsprozess der neuen Technologie eine wichtige Rolle und stellt demzufolge den zweiten Schwerpunkt dieser Arbeit dar (Studie 2). Die Methoden zur Bearbeitung der aufgezählten Schwerpunkte und das Studiendesign der beiden Studien, werden folglich in Kapitel 3 erörtert.

Dem anschließend stellt das vierte Kapitel die gesamte Studie 1 zur Identifikation von Entscheidungskriterien für einen MRK-Einsatz zur ergonomischen Verbesserung dar und beinhaltet sowohl die empirischen Details als auch die Ergebnisse der Studie 1. Die Studie 2 wiederum untersucht die Mitarbeitersicht auf den Auswahl- und Einführungsprozess der MRK und ist im darauffolgenden Kapitel 5 zu verorten.

Resultierend aus der Darstellung der Studienergebnisse wird die Vorgehensweise zur kriterienbasierten MRK-Auswahl unter Berücksichtigung der Mitarbeitersicht im Kapitel 6 dargestellt, welche als Handlungsempfehlung für die betriebliche Praxis zu bewerten ist.

Im Rahmen des siebten Kapitels findet einerseits die kritische Diskussion der wichtigsten Aspekte aus den durchgeführten Studien statt. Hierbei wird der Bezug zur Wissenschaft unter Berücksichtigung der Entscheidungskriterien für den MRK-Einsatz und des ergonomischen Verbesserungspotenzials durch MRK hergestellt. Zudem findet die kritische Würdigung der gewählten Studiendesigns im 7. Kapitel statt.

Andererseits spiegelt das siebte Kapitel die Beurteilung unternehmerischer Gesichtspunkte beziehungsweise auf die Potenziale der MRK in der Automobilbranche, den ergonomischen Nutzen sowie die Einschätzung der Veränderungstiefe der Arbeit der Zukunft wieder.

Kapitel 8 bildet mit einem Fazit zur zukunftsorientierten Arbeitsplatzgestaltung unter Anwendung der MRK und einem Ausblick in weitere Forschungsbereiche den Abschluss der vorliegenden Arbeit.



## 2 Theoretische Grundlagen

Im Rahmen der theoretischen Grundlagen der vorliegenden Arbeit wird zunächst der technische Stand zur Automatisierung und Robotik aufgezeigt. Dabei spielen die Interaktionsformen sowie gesetzlichen Anforderungen bei der Mensch-Roboter-Kooperation eine wichtige Rolle.

Im weiteren Verlauf erfolgt die Darstellung relevanter Aspekte bei der Mensch-Maschine-Interaktion im Fokus der Automatisierungsstrategien. Unter Einordnung dieser Thematik in den arbeitswissenschaftlichen Kontext zeigt der dritte Schwerpunkt der theoretischen Grundlagen auf, welchen Einfluss die Mensch-Roboter-Kooperation auf die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung ausübt, um schließlich den Bedarf einer kriteriengestützten Arbeitsplatzauswahl für den MRK-Einsatz zu begründen.

### 2.1 Automatisierung und Robotik

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Automatisierung von modernen Arbeitssystemen nimmt die Bedeutung der Gestaltung derartiger Arbeitssysteme zu. Dabei handelt es sich in der Regel um komplexe Mensch-Maschine-Systeme, deren Aufgabenverteilung ein Gestaltungsproblem darstellt. Hierbei werden zwei Gestaltungsaspekte unterschieden. Zum einen kann die Aufgabenverteilung zwischen Menschen erfolgen, die in einem Arbeitssystem arbeiten. Zum anderen besteht die Möglichkeit die Aufgaben zwischen Mensch und Maschine aufzuteilen. Diese Form der Aufgabenverteilung erlangte bezüglich der neuen Möglichkeiten in der Automatisierung zunehmend an Relevanz (Manzey 2012).

Insbesondere in modernen Arbeitssystemen werden Aufgaben vermehrt automatisiert, um den Menschen bei der Erfüllung seiner Aufgaben zu unterstützen. Das Hauptmotiv der Automatisierung bezieht sich dabei einerseits auf die ökonomischen Vorteile sowie andererseits auf die Erhöhung der Zuverlässigkeit und Sicherheit. Hingegen sind damit auch Risiken verbunden, indem die Automation nicht wie erwartet arbeitet, Fehler erzeugt oder ausfällt. In diesen Fällen übernimmt häufig der Mensch wieder die Aufgaben der Automation (ebd.).

Dieses Kapitel beschäftigt sich zunächst mit der Begriffsklärung von Automatisierung, Automation und Robotik, um folglich die unterschiedlichen Betriebsmodifikationen bzw. Interaktionsformen der MRK unter Berücksichtigung der gesetzlichen Normen und vorhandenen Sicherheitsaspekte aufzuzeigen.

#### 2.1.1 Begriffliche Klärung

Getrieben durch den demografischen Wandel, die zunehmende Arbeitsdichte, das verlängerte Erwerbsleben und die gestiegenen Anforderungen wird der Unterstützungsbedarf von

Mitarbeitern im Berufsleben immer größer. Zur Kompensation dieser Unterstützungsbedarfe wurden in der Vergangenheit bereits eine Vielzahl an technischen Systemen entwickelt. Somit nehmen Interaktionen von Mensch und Maschine stetig zu. Zum Großteil kommt die Maschine dort zum Einsatz, wo diese gegenüber dem Menschen überlegene Eigenschaften aufweist, wie bspw. durch Ausdauer, Wiederholgenauigkeit und Präzision (Weidner et al. 2015). Demzufolge findet hierbei ein Übertragungsprozess von einzelnen Funktion oder ganzen Tätigkeiten vom Menschen auf eine Maschine statt. Dieser Prozess wird mit dem Begriff Automatisierung definiert. Die *Automation* beschreibt dabei das Ergebnis des Übertragungsprozesses (Hauß & Timpe 2000). Hauß und Timpe (2000) zählen demnach die folgenden Beispiele zur Automatisierung:

- Verlagerung manueller Steuerungs- und Regelungstätigkeiten auf technische Systeme in der Luftfahrt,
- Verlagerung der manuellen Tätigkeit auf den Roboter in der Automobilindustrie und
- Verlagerung der kognitiven Funktionen der Urteils- und Entscheidungsfindung an wissensbasierte Assistenzsysteme.

In diesem Zusammenhang entwickelten Parasuraman et al. (2000) eine Systematik zur Klassifizierung von Automatisierungen, die zwei Aspekte unterscheidet: die Stufen menschlicher Informationsverarbeitung und das Ausmaß der Automatisierung. Zunächst wird die Frage erörtert, welche Stufe menschlicher Informationsverarbeitung genau automatisiert werden soll. Diese Stufen setzen sich aus Informationsaufnahme, -analyse, Entscheidungsfindung und Handlungsausführung zusammen. Bezugnehmend auf die *Informationsaufnahme* werden alle sensorischen Funktionen angesprochen, mit denen Daten aus der Umwelt vom Menschen generiert werden. In diesem Fall könnte die Automatisierung durch technische Sensoren, Kamerasysteme oder spezieller Messsysteme umgesetzt werden. Die zweite Stufe beschreibt die Datenverarbeitung und die *Informationsanalyse*, mit der eine Situationsbewertung erfolgen soll. Automationen treten hierbei häufig in Form von Alarmsystemen auf, die auf der Grundlage der Datenanalyse vor einer Störung warnen. Bei der *Entscheidungsfindung* erfolgt aus den zuvor analysierten Daten eine Entscheidung über die weiteren Handlungsschritte, z. B. durch intelligente Assistenzsysteme. Die vierte Stufe umfasst alle Arten automatisierter Unterstützung bei der *Handlungsausführung*, z. B. eine Werkzeugmaschine, die bestimmte Bohrungen autonom ausführt (ebd.).

Der zweite Aspekt bei der Klassifizierung von Automation bezieht sich auf das Ausmaß der Automation, wie stark Mensch und Maschine in die Ausführung bestimmter Funktionen eingebunden sind. Parasuraman et al. (2000) lassen dabei das Kontinuum von rein manueller bis hin zur vollautomatisierten Ausführung offen.

Im Zuge der Automatisierung von Aufgaben, die der Mensch ursprünglich selbst ausgeführt hat, verändert sich die Rolle des Menschen zum Bediener und Nutzer. Sheridan (1997) hebt

dabei die leitende Rolle des Menschen in automatisierten Systemen hervor, dessen Aufgaben darin bestehen,

- zu planen, was die Automation machen soll,
- dies der Automation mitzuteilen,
- anschließend die Ausführung zu überwachen und
- immer dann einzugreifen, wenn ein Störungs- oder Ausfall der Automation eintritt sowie
- aus den daraus resultierenden Erfahrungen zu lernen und ein angemessenes mentales Modell der Automation abzuleiten.

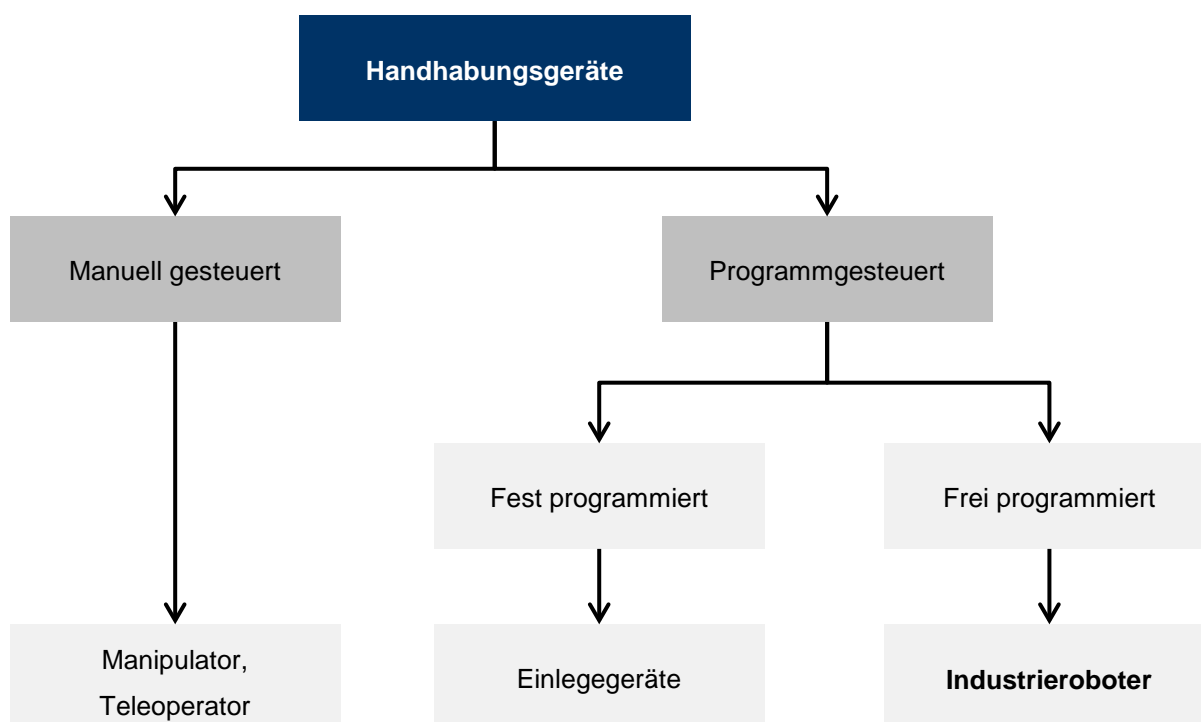
Wenn jedoch der Menschen in die Automation bei Systemfehlern oder Störungen eingreift, muss er die automatisierte Funktion wieder selbst ausführen. Aufgrund der schwer einzuschätzenden Störungszeitpunkte wird vorausgesetzt, dass der Bediener in jeder Situation in der Lage ist einzugreifen. Diesbezüglich ist auf die bereits beschriebenen *Ironies of Automation* von Bainbridge (1983) zu verweisen (Kap. 1.1).

Die Automatisierung von bestimmten Aufgaben erfolgt in der Regel mit der Absicht den Menschen zu unterstützen. Weidner et al. (2015) unterscheiden hierbei zwei Arten von Hilfssystemen. Einerseits technische Systeme, die durch Substitution des Mitarbeiters eine Entlastung herbeiführen, indem die Maschine die Aufgabe vom Menschen komplett übernimmt. Andererseits können technische Systeme eine Unterstützung für den Menschen darstellen, ohne sie zu ersetzen. Dabei obliegt dem Menschen die Hoheit über die Aufgabenausführung, was ihn zugleich als Systembediener kennzeichnet. Zusätzlich sollte vom Unterstützungssystem keine Gefahr für den Bediener und für Dritte ausgehen (Weidner et al. 2015).

Zu den technischen Unterstützungssystemen zählt unter anderem der Roboter. Laut Europäischer Norm 775 ist „[...] ein Roboter ein automatisch gesteuertes, wiederprogrammierbares, vielfach einsetzbares Handhabungsgerät mit mehreren Freiheitsgraden, das entweder ortsfest oder beweglich in automatisierten Fertigungssystemen eingesetzt wird“ (DIN EN 775 1993). Die VDI-Richtlinie 2860 (1988) definiert den Industrieroboter als „[...] universell einsetzbaren Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen [...] programmierbar und ggf. sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen.“ Ergänzend dazu, stellt das Robot Institut of America (1981) ebenfalls eine Definition zur Verfügung: „A programmable, multifunction manipulator designed to move material, parts, tools or specific devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks.“

Industrieroboter bilden eine Untergruppe der programmgesteuerten und frei programmierbaren Handhabungsgeräte (VDI-Richtlinie 2861 1988, Abb. 1). Im Vergleich dazu

werden die Bewegungsbahnen von Einlegegeräten für eine definierte Situation fest programmiert. Die zweite Untergruppe der Handhabungsgeräte stellen manuell gesteuerte Manipulatoren dar, die vom Mitarbeiter eingesetzt werden. Unter Handhaben sind dabei alle Vorgänge zu verstehen, bei denen einerseits ein Objekt in eine definierte Lage im Raum gebracht oder gehalten wird. Andererseits zählen Vorgänge dazu, bei denen mit dem Objekt eine definierte Bewegung ausgeführt wird (ebd.). Bei Handhabungsaufgaben mit großen Lasten (> 3 kg) und großen Bauteilen (> Armreichweite) werden Hebehilfen durch den Menschen bedient.



**Abb. 1: Einteilung der Handhabungsgeräte (nach VDI-Richtlinie 2861 1988)**

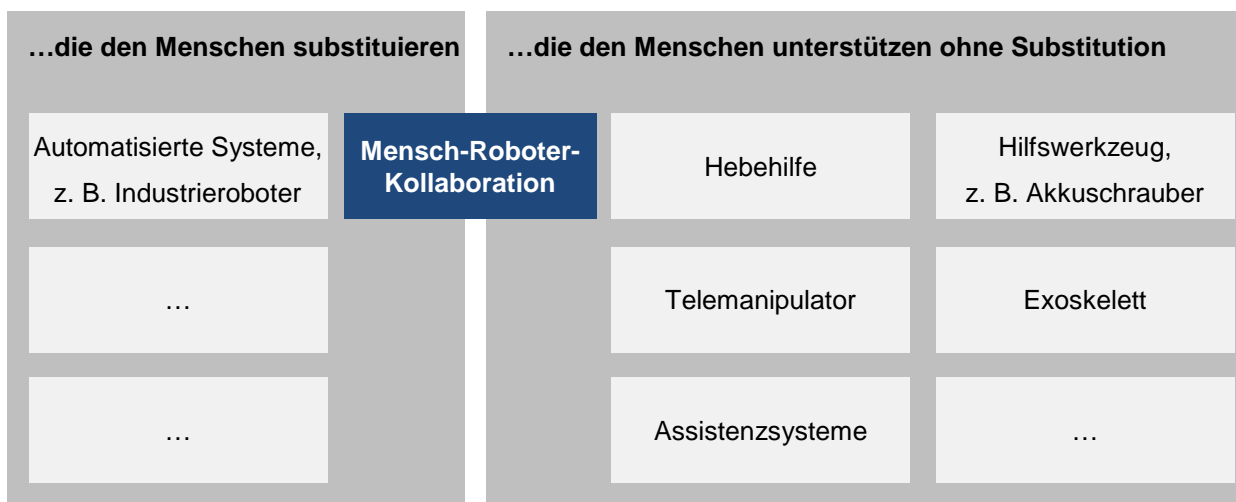
Im Rahmen der Produktionstechnik spielen robotische Handhabungsgeräte, wie die Mensch-Roboter-Kollaboration, eine zunehmende Rolle. Hierbei steht die schrittweise Zusammenlegung der Arbeitsaufgaben von Mensch und Roboter in einem Arbeitsraum im Vordergrund. Die Zuordnung der Aufgaben orientiert sich dabei an den individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen. Alternativ wird der Mitarbeiter durch den Einsatz vollautomatisierter Systeme, wie z. B. Industrieroboter, substituiert. Die Industrieroboter werden dabei mit einer Sensorik ausgestattet, die die technische Intelligenz und demzufolge die Flexibilität erhöht. Im Gegenzug werden Mitarbeiter auch weiterhin die Arbeit eigenständig und unter Zuhilfenahme von Werkzeugen, wie bspw. Drehmomentschlüssel und Akkuschauber, ausführen (ebd.).

Die Mensch-Roboter-Kollaboration ist zwischen der frei programmierbaren Automation und dem manuellen Arbeitsplatz anzusiedeln. Hierbei werden die Arbeitsaufgaben zwischen Mensch und Maschine in einem Arbeitsraum aufgeteilt, sodass simultanes Arbeiten ermöglicht

wird. Technische Systeme übernehmen häufig kraftaufwendige Handhabungen sowie repetitive Aufgaben. Häufige Anwendung findet das kooperierende Arbeiten von Mensch und Maschine an einem Werkstück in einer räumlichen oder zeitlichen Trennung. Die Automatisierung tritt häufig dort auf, wo Aufgaben mit hohem Wiederholcharakter und geringer Produktvarianz zu verzeichnen sind (VDI-Richtlinie 2861 1988).

Die Abbildung 2 zeigt Unterstützungssysteme, die den Menschen auf der einen Seite substituieren und auf der anderen Seite unterstützen ohne Substitution. Industrieroboter werden diesbezüglich immer mit der Substitution des Menschen in Verbindung gebracht, weil sie die Aufgaben komplett übernehmen und somit den Menschen ersetzen. Die Unterstützung ohne Substitution des Menschen erfolgt durch den Einsatz von Robotern und Hebehilfen, die durch die Übernahme verschiedener Tätigkeiten dazu beitragen den Arbeitsplatz zu verbessern. Gerade der ergonomische Aspekt tritt hierbei in den Vordergrund. Weitere Unterstützungssysteme, wie Exoskelette zur Kraftsteigerung, oder Assistenzsysteme, wie Datenbrillen, kommen im produzierenden Umfeld ebenfalls zum Einsatz. Einen neuartigen Ansatz verfolgen Unterstützungssysteme der Mensch-Roboter-Kollaboration (Weidner et al. 2013).

### Unterstützungssysteme



**Abb. 2: Unterstützungssysteme (nach Weidner et al. 2015)**

Zur Umsetzung einer Mensch-Roboter-Kollaboration kommen kollaborative Roboter zum Einsatz und stellen eine Möglichkeit zur Umsetzung eines halbautomatisierten Produktionssystems dar. Kollaborative Roboter sind den Handlingsystemen zuzuordnen, welche die Eigenschaften industrieller Roboter mit dem handgehaltenen Manipulator vereint. Sie stehen demnach in direkter Interaktion zum Menschen und ermöglichen bspw. die gemeinsame Handhabung einer Last. Einen weiteren Vorteil stellt die Reduzierung der Kräfte dar, welche der Mensch während der Ausführung einer Tätigkeit aufbringen muss (Peshkin & Colgate 1999). In diesem Zusammenhang werden drei Operationsmodi definiert. Die hand-on-control Modifikation beschreibt den Modus, bei dem der Mitarbeiter über ein Kontrollinterface

eine physische Interaktion mit dem Roboter eingeht. Bei der hands-on-payload Modifikation wird als Reaktion auf die vom Mitarbeiter aufgebrachte Kraft eine Nutzlast mittels Roboter bewegt. Bezüglich der dritten Modifikation folgt der Roboter ohne Krafteinwirkung einem vorab definierten Pfad. Insgesamt spiegeln diese drei Operationsmodi die Durchführung von manuellen Handhabungsaufgaben bis hin zu vollautomatisierten Arbeitsprozessen wieder (ebd.).

Zusammenfassend wird eine engere Verknüpfung von Mensch und Maschine in den vergangenen Jahren im industriellen Bereich deutlich. Dennoch sollte vorab geprüft werden, welche Stufe der Informationsverarbeitung in welchem Maße automatisiert wird. Die reine Substitution des Menschen sollte im Sinne der *Ironies of Automation* vermieden werden. Um dieser Substitution entgegenzuwirken, kommen kollaborative Arbeitssysteme zum Einsatz, wodurch lediglich Teiltätigkeiten des Mitarbeiters automatisiert werden. Somit behält der Mitarbeiter weiterhin die Kontrolle und wird zugleich während seiner Tätigkeit entlastet. Schließlich ist der Mensch in der kollaborativen Arbeitsweise unverzichtbar. Vor diesem Hintergrund sind die Einsatzgebiete des Roboters vielfältig und werden im folgenden Kapitel erläutert.

## 2.1.2 Einsatzgebiete von Robotern

Im Laufe der vergangenen Jahre hielten Roboter zunehmend Einzug in die Lebenswelten des Menschen. So sind Roboter in der industriellen Fertigung unentbehrlich. Sie übernehmen allerdings auch vermehrt Dienstleistungsaufgaben, wie zum Beispiel das Entschärfen von Bomben, das Überwachen von Fabrikgeländen und das Saugen von Wohnungen. Zudem agieren Roboter heutzutage bereits als hochpräzise Assistenten zur Unterstützung der Chirurgen bei Operationen. Weiterhin stellt der Pflegebereich ein großes Potenzial dar, indem die Roboter zukünftig einen Großteil der Betreuung übernehmen (Haun 2013).

Demnach sind Roboter heutzutage in vielfältigen Bereichen einsetzbar. Bezugnehmend auf die sogenannten *Serviceroboter*, schätzen Schraft und Volz (1996), dass in ca. 30 Jahren mehr persönliche Roboter als persönliche Computer produziert werden. Grund dafür liegt in dem ermittelten Bedarf an Servicerobotern, die auf Zuruf die tägliche Arbeit vollautomatisiert ausführen, wie bspw. Staub saugen, Rasen mähen, Fenster putzen, einkaufen und den Müll entsorgen. Dennoch erweisen sich viele Aufgaben, welche für den Menschen selbstverständlich sind, für den Roboter als große Herausforderung. Dieses Problem liegt zum einen in der schwer zu kopierenden Autonomie und zum anderen in der Anatomie des Menschen, der mit einer entsprechenden Feinfühligkeit unterschiedlichste Aufgaben erledigen kann. Zudem stellt die Energieversorgung der Robotersysteme ein weiteres Problem dar. Ein Serviceroboter, der aufgrund seines mobilen Einsatzes eine gewisse Ladekapazität mitbringen sollte, besitzt nach heutigem Stand der Technik nicht ausreichend große Akkus. Anders verhält

es sich bei stationären Automaten, welche selbstständig ihre Arbeit rund um die Uhr verrichten und permanent mit Strom versorgt werden können.

Im medizinischen Bereich findet der Roboter als Assistent im Operationssaal seinen Einsatz, indem er Skalpell und Nadeln hält und als verlängerter Arm die Tätigkeit ausführt, die der Operateur per Joystick-Steuerung befiehlt. *Medizinische Roboter* filtern dabei jedes Zittern des Operateurs heraus, sodass er an kleinsten Gefäßen oder Hirnstrukturen arbeiten kann. Dadurch ist es möglich invasive Operationstechniken anzuwenden, wobei z. B. der Brustkorb für eine Operation am Herzen nicht mehr geöffnet werden muss, sondern über drei kleine Löcher im Brustkorb behandelt werden kann (Haun 2013).

Des Weiteren nimmt der Verbreitungsgrad von *Freizeitrobotern* als Spielzeug oder nützliche Helfer im häuslichen Umfeld zu. Demnach ist hierbei ein ähnlicher Lebenszyklus zu beobachten, wie es sich mit den Computern seit den 80er Jahren verhält. Bereits heute ersetzt der Roboter den herkömmlichen Staubsauger und Rasenmäher oder kann als Experimentierbausatz die Freizeit gestalten (ebd.).

Obwohl sich Roboter im Haushalt zunehmend etablieren, sind mechanische Helfer in der Industrie ein fester Bestandteil. Als größter Roboteranwender gilt die Automobilindustrie, in der die *Industrieroboter* eingesetzt werden, um belastende und gefährliche Arbeiten auszuführen, wie z. B. Schweißen oder das Heben und Tragen schwerer Lasten. Die Grundkonzeption der ersten Industrieroboter hat sich bis heute wenig verändert. Dennoch werden die einzelnen Komponenten des Industrieroboters, wie Antrieb, Steuerung, Sensoren und Mechanik stetig weiterentwickelt. So leistet ein Industrieroboter heutzutage doppelt so viel wie früher, bei gleichzeitiger Halbierung seiner Bauteile (Volmer 1992). Ebenso befördern neue Technologien im Bereich der Sensor- und Kamertechnik, dass die industriellen Robotersysteme sich für Einsatzgebiete eignen, für die sie anfangs zu grob strukturiert waren. Dazu zählen unter anderem montieren, schweißen, kleben, beschichten, pressen sowie verpacken. Beispielsweise sind im Karosseriebau der Automobilindustrie aufgrund des hohen Automatisierungsgrades kaum noch Mitarbeiter zu finden. Im Gegensatz zur Endmontage, wo lediglich vereinzelt Roboter zu finden sind. Aufgrund der technologischen Entwicklung geht Haun (2013) jedoch davon aus, dass in den nächsten Jahren auch in der Endmontage der Einsatz von Robotern zunehmen wird. Ein Grund dafür liegt in der Weiterentwicklung von klassischen Industrierobotern hin zu sensitiven Robotern, die vielfach in der Leichtbauweise hergestellt werden. Zu den bekanntesten Herstellern der Leichtbauroboter zählen die Firmen KUKA, Fanuc, ABB und Bosch. Dabei werden die sogenannten Leichtbauroboter ohne Schutzzaun und aufgrund neuer Sicherheitskonzepte direkt in den Produktionsprozess integriert. Derartige Systeme werden häufig in der Fahrzeugendmontage angewendet, um den Mitarbeiter bei ergonomisch kritischen Tätigkeiten, z. B. bei der Überkopfarbeit, zu entlasten. Um hierbei die Interaktion mit dem Menschen zu ermöglichen, sind die sensitiven Roboter mit

Kraft-Sensoren zum Kollisionsschutz ausgestattet. Weiterhin bieten sensorgestützte Überwachungsräume eine zusätzliche Möglichkeit, um die Sicherheit zu gewährleisten (Huber 2016).

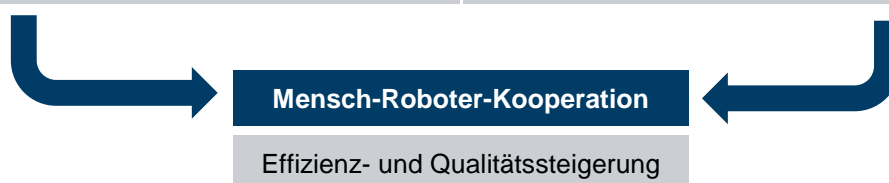
Somit bleibt die Frage offen, welche Formen der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter denkbar sind und welche Sicherheitsanforderungen dabei berücksichtigt werden müssen. Zur Klärung dieser Frage trägt das folgende Kapitel bei und beschreibt die unterschiedlichen Arten der kollaborativen Zusammenarbeit von Mensch und Roboter.

### 2.1.3 Arten der Mensch-Roboter-Kooperation

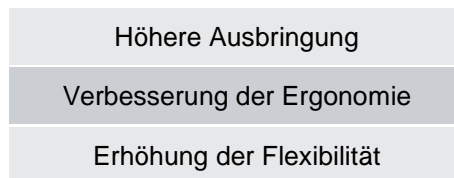
Durch die aus neuesten Forschungs- und Entwicklungsergebnissen gewonnene Verfügbarkeit innovativer Technologien und Komponenten aus den Bereichen Mechanik, Sensorik und Software wird ein wirtschaftlicher Einsatz assistierender Handhabungssysteme möglich, mit denen der Mensch in direkter physischer Interaktion arbeitet (Helm & Meyer 2005). Diese Innovation birgt zum einen geringe Kosten sowie ergonomische Verbesserungen am Arbeitsplatz durch Einsatz der spezifischen Stärken von Mensch und Roboter bei der Aufgabenausführung.

Weiterhin wird die Effizienz durch parallele und interaktive Aufgabenausführung von Mensch und Roboter gesteigert. Zum anderen ist die Flexibilität und Adaptivität bzgl. des Einsatzortes der Handhabungstechnik, der Kapazität, der Erfahrung und des Wissens sowie bzgl. der Art und des Umfangs der Aufgabenstellung gegeben (Reinhart & Rösel 2010, Hägele & Schäfer 2006). Die Abbildung 3 verdeutlicht hierbei die Vorteile des Menschen und des Roboters sowie die Verknüpfung der Stärken von beiden in einem kooperativen System.

Vorteile des Menschen	Vorteile des Roboters
Anpassungsfähigkeit	Große Stückzahl, Ausdauer
Intuitive Handhabung und Montage von komplexen Bauteilen	Integrierte Prozesskontrolle
Adaptivität	Einsatz in schmutzigen Umgebungen
Flexibilität	Hohe Wiederholgenauigkeit
Entscheidungsfähigkeit	Stärke: hohe Traglast, große Kräfte
Kreativität und Geschicklichkeit	Geschwindigkeit
Koordination des Montageablaufes	Genauigkeit







**Abb. 3: Einsatzpotenzial der Mensch-Roboter-Kooperation (nach Reinhart & Rösel 2010, Hägele & Schäfer 2006)**

Mit der Kombination von Anpassungsfähigkeit, Flexibilität und Entscheidungsfähigkeit (Mensch) und Ausdauer, Wiederholgenauigkeit und Stärke (Roboter), wird ein kooperierendes System geschaffen, das Effizienz und Qualität steigert. Zudem erzeugt dieses System eine höhere Ausbringung an Stückzahlen im produzierenden Bereich, ergonomische Verbesserungen am Arbeitsplatz und eine erhöhte Flexibilität im Prozess (ebd.). Dennoch sind Roboter im Bereich der Automobilmontage noch sehr wenig verbreitet. Hauptgrund dafür ist, dass die bislang erforderliche Trennung der Arbeitsräume von Mensch und Roboter einen Robotereinsatz als unwirtschaftlich einstufen (MRK-Systeme GmbH 2012). Aufgrund neuer Entwicklungen auf dem Gebiet der Sicherheitstechnologie und -normung entstehen neue Möglichkeiten, wie Roboter und Mensch ohne trennende Schutzeinrichtungen im gleichen Arbeitsraum zusammenarbeiten können. Der Abstand von Mensch und Roboter wird dabei immer kleiner und kann je nach Sicherheitskonzept bis auf null reduziert werden. Im Zuge dessen ist eine erhebliche Platzersparnis zu verzeichnen, wenn bestehende Robotersysteme und manuelle Arbeitsplätze enger zusammenrücken. Zudem können ganz neue Arten der Kombination manueller und automatisierter Arbeitsplätze entstehen (Spingler & Thiemermann 2001b).

Unter Berücksichtigung des sich überlappenden Arbeitsraums von Mensch und Roboter ergeben sich nach Spingler und Thiemermann (2001b) drei alternative Betriebsmodifikationen der Kooperation: Das *synchronisierte Arbeiten* stellt ein zeitlich versetztes, aber aufeinander abgestimmtes Arbeiten von Mensch und Roboter dar. Im Zuge dessen können die Vorteile einer MRK bis auf Teilprozessebene, d. h. bis zum Aufteilen einer Teilverrichtung in Handhaben und Fügen, genutzt werden. Das *autarke Arbeiten* beschreibt einen Prozess, in dem der Mitarbeiter und der Roboter unabhängig in einem gemeinsamen Arbeitsbereich voneinander arbeiten können. Dazu ist jedoch eine Mindestgröße des Produktes notwendig oder es sind mehrere Produkte im Arbeitsraum angeordnet. Im Rahmen dieser Arbeitsweise ist der zusätzliche Vorteil des unabhängigen Arbeitens von Mensch und Roboter gegeben. Die dritte Form stellt das *kooperierende Arbeiten* dar, das die spezifischen Fähigkeiten von Mensch und Roboter in einem Prozess zusammenführt, so dass sich die Interaktionspartner gegenseitig als „dritte Hand“ dienen (ebd.).

Bisher kommen hinsichtlich der Interaktionsformen der MRK zwei Formen hauptsächlich zur Anwendung. Dabei handelt es sich einerseits um die Koexistenz sowie andererseits um die Kooperation. Entscheidend bei beiden Formen ist das Verhältnis von Raum und Zeit. Wenn Mensch und Roboter bei der Interaktion zeitgleich in benachbarten Bereichen arbeiten, wird der Begriff *Koexistenz* verwendet, z. B. bei Einlegestationen an einer Roboterzelle. Mensch und Roboter arbeiten hier zeitgleich in benachbarten Arbeitsräumen, deren Übergang z. B. durch einen Sicherheitslichtvorhang überwacht wird (Platbrood 2016). Diese Interaktionsform ist mit dem *autarken Arbeiten* nach Spingler und Thiemermann (2001b) gleichzusetzen.

Eine Interaktion, bei der Mensch und Roboter in einem gemeinsamen Arbeitsraum arbeiten, jedoch zu unterschiedlichen Zeitpunkten, wird als *Kooperation* bezeichnet (Platbrood 2016). Diese Form kann analog zum *synchronisierten Arbeiten* verstanden werden. Diese Situation tritt häufig in einer Übergabestation für einen Montageroboter auf, wobei der Mensch ein Werkstück einlegt. Zeitgleich sorgt ein Sicherheitslaserscan mit mehreren simultanen Schutzfeldern für eine Reduzierung der Robotergeschwindigkeiten oder einen sicherheitsüberwachten Halt der Roboterbewegung (ebd.).

Bezugnehmend auf die neuen Entwicklungen im Bereich Sensorik tritt eine dritte Form der Interaktion in den Mittelpunkt, die *Kollaboration*. In diesem Fall teilen sich Mensch und Roboter zur gleichen Zeit einen gemeinsamen Arbeitsraum, wenn z. B. ein mobiler Roboter Teile zum Arbeitsplatz des Menschen transportiert und dieses Werkstück an ihn übergibt. Gleichzusetzen ist diese Form mit dem bereits beschriebenen *kooperierenden Arbeiten*. Angesichts der Kollaboration sind die Sicherheitskonzepte bei der Koexistenz oder bei der Kooperation nicht ausreichend. Hierbei müssen Kräfte, Geschwindigkeiten und Fahrwege des Roboters in Abhängigkeit vom Gefährdungsgrad überwacht, eingeschränkt und ggf. gestoppt werden. Die Distanz zwischen Mensch und Roboter bildet dabei den sicherheitsrelevanten Parameter (ebd.).

Schließlich wird deutlich, dass die Wahl der Betriebsmodifikation der MRK von der Tätigkeit abhängt, die kooperativ gestaltet werden soll, um den Mitarbeiter zu entlasten. Entscheidend ist dabei, welche Inhalte in welchem Ausmaß automatisiert werden. Bei der Wahl der Interaktionsform der MRK sind ebenfalls die entsprechenden Sicherheitskonzepte zu berücksichtigen, die eine Gefährdung für den Mitarbeiter ausschließen. Hierfür geben gesetzliche Normen und Regelungen den Rahmen vor, welche im weiteren Verlauf näher erläutert werden.

## 2.1.4 Gesetzliche Normen und Sicherheitskonzepte

Klassische Industrieroboter werden charakterisiert durch schnelle und sehr genaue Wiederholungen von monotonen Tätigkeiten. Im Gegenzug wird bei zahlreichen Tätigkeiten die Flexibilität, Feinmotorik und Intelligenz des Menschen benötigt. Durch die Kooperation von

Mensch und Roboter wird eine Rationalisierung vieler Prozesse möglich, die folglich zur Produktivitätssteigerung und Wettbewerbsfähigkeit beiträgt. Der Roboter stellt dabei einen Assistenten dar, der den Menschen in seiner Arbeitsumgebung unterstützt. Aus dieser Entwicklung resultiert eine flexible Automatisierung von komplexen Prozessabläufen. Folglich entfallen bei einer Vielzahl an Roboteranwendungen im industriellen Umfeld die Schutzzäune, weil diese die Arbeitsabläufe behindern und einen hohen Platzbedarf aufweisen. In der Konsequenz sind erhöhte Sicherheitsanforderungen aufgrund der zunehmenden Nähe zum Menschen zu berücksichtigen (Schenk & Elkmann 2012).

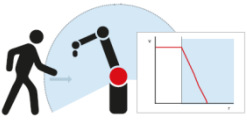

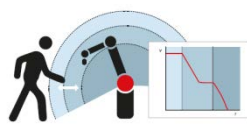
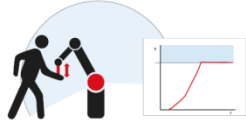
Industrieroboter sind mit leistungsstarken Gelenken ausgestattet, die mit einer steifen Kopplung zu einer kinematischen Kette verbunden sind. In diesem Fall besteht ein erhöhtes Verletzungsrisiko für den Menschen, sobald er in den Bewegungsraum des Roboters eintritt. Dabei treten Gefahren, wie Klemm- und Scherstellen, gegenläufige Bewegungen sowie große bewegte Massen mit hohen Relativgeschwindigkeiten, auf (ebd.). Zu den sicheren Manipulatoren zählen Schenk und Elkmann (2012) alle Roboterarme, die sogenannten Leichtbauroboter (LBR). Charakteristisch für diese Roboterarme sind Leichtbauweise, kraftbegrenzte und nachgiebige Gelenkantriebe und weiche Strukturen. Aufgrund dieser Eigenschaften eignen sich die LBR für eine sichere MRK (ebd.).

Denn bei der Kooperation von Mensch und Roboter ist die Sicherheit ein entscheidender Faktor. Neben der Umsetzung der Funktionen des Assistenzsystems ist die Sicherheit eine Grundvoraussetzung für die Tauglichkeit und Wirtschaftlichkeit dieser Systeme. Sobald Mensch und Roboter sich einen gemeinsamen Arbeits- und Bewegungsraum teilen, muss der physische Kontakt zwischen ihnen geregelt und das Gefahrenpotenzial minimiert werden. Die Normen DIN EN ISO 10218-1 und 10218-2, ergänzt durch die ISO/TS 15066 (2016), enthalten dazu Vorgaben zu Mindestabständen, Robotergeschwindigkeit, Handführung, Arbeitsraumüberwachung sowie Kraftbegrenzung bei einer direkten Kollision des Menschen mit dem Roboter. Neben diesen Vorgaben beschreibt die Norm DIN EN ISO 10218-1 außerdem vier grundsätzliche Schutzprinzipien der MRK (siehe Tab. 1). Der *sicherheitsgerichtete überwachte Halt* stoppt den Roboter zur Interaktion mit dem Menschen. Bei der *Handführung* wird aufgrund der bewussten Führung des Roboters durch die menschliche Hand in reduzierter Geschwindigkeit die sichere MRK erreicht. Bei dem dritten Sicherheitskonzept *Leistungs- und Kraftbegrenzung* werden Leistung, Kraft und Geschwindigkeit des Roboters durch eine Begrenzungsfunktion der Sicherheitssteuerung auf eine biomechanische Belastungsgrenze eingeschränkt, sodass keine Gefahren oder Verletzungen zu erwarten sind.

Die Leistungs- und Kraftbegrenzung kommt unabhängig davon zum Einsatz, ob ein physischer Kontakt zwischen Mensch und Roboter beabsichtigt oder unbeabsichtigt erfolgt. Im Hinblick auf flexible Arbeitsszenarien kommt dem vierten Sicherheitskonzept eine besondere

Bedeutung zu. Denn durch die *Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung* werden die Geschwindigkeit und Fahrwege des Roboters überwacht und abhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit des Bedieners im abgesicherten Kollaborationsraum angepasst. Dabei werden die Sicherheitsabstände permanent überwacht und bei Bedarf der Roboter verlangsamt, gestoppt oder sein Fahrweg geändert. Tritt eine Vergrößerung des Abstands zwischen Bediener und Roboter auf, reagiert das System automatisch und der Roboter kann in der üblichen Geschwindigkeit und Fahrweg fortfahren (ebd.). Zudem sind im Falle einer Arbeitsraumteilung durch Mensch und Roboter die gültigen Normen und Richtlinien zur Robotersicherheit und Sicherheit im kollaborierenden Betrieb zu berücksichtigen (ebd.).

**Tab. 1: Schutzprinzipien der MRK (eigene Darstellung in Anlehnung an Fraunhofer Austria Research GmbH 2016, ISO/TS 15066)**

Schutzprinzipien der MRK			
<b>1. Sicherheitsgerichteter überwachter Halt</b>	<b>2. Handführung</b>	<b>3. Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung</b>	<b>4. Leistungs- und Kraftbegrenzung</b>
			

Bezugnehmend auf die Robotersicherheit definiert die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlamentes grundlegende Sicherheitsanforderungen an Maschinen (Maschinenrichtlinie 2006). Zur Erfüllung dieser Richtlinie ist die Norm DIN EN ISO 12100 (2011) *Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Grundsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung* anzuwenden. Diese Norm wird als Sicherheitsgrundnorm angesehen, deren Anforderungen in DIN EN ISO 10218-1 (2012) *Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen* bezüglich der Anwendung von Robotern näher erläutert werden. Sie enthält außerdem sicherheitstechnische Anforderungen für den kollaborierenden und kooperierenden Betrieb und gliedert sich in zwei Teile: der Teil 1 *Roboter* (DIN EN ISO 10218-1 2012) beinhaltet Anweisungen zur Konstruktion und zum Bau eines inhärent sicheren Roboters. Der zweite Teil dieser Norm – *Robotersysteme und Integration* – umfasst Informationen zum Schutz des Personals.

Mit Bezug auf die Sicherheit im kollaborierenden Betrieb zielt diese Norm darauf ab, die Gefährdung des Menschen während des kollaborierenden Betriebes auszuschließen bzw. auf

ein akzeptables Maß zu reduzieren. Der kollaborierende Betrieb meint hierbei einen Zustand, in dem sich die Arbeitsräume von Mensch und Roboter überschneiden und ein Kontakt zwischen ihnen nicht ausgeschlossen ist. Dafür bedarf es spezieller Sicherheitsanforderungen, die in einer anwendungsspezifischen Risikoanalyse ermittelt werden. Die dabei zu berücksichtigenden Grenzwerte sind in der technischen Spezifikation ISO/TS 15066 (2016) *Robots and robotic Devices – Collaborative robots* festgelegt, welche die Norm DIN EN ISO 10218-1 ergänzt. Dabei werden Vorgaben für Risikobeurteilung, Gefahrenindikation und Anforderungen an die Kraft- und Leistungsgrenzwerte sowie Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung definiert (ebd.).

Folglich werden beim Arbeitsplatz technische, biomechanische und ergonomische Aspekte geprüft, wie der Kraftverlauf bei einer Kollision, die Fläche der Kollisionsübertragung, die gefährdeten Körperregionen sowie die Kontaktart, z. B. Stoßen, Klemmen, Quetschen (Schenk & Elkmann 2012). Des Weiteren enthält die ISO/TS 15066 (2016) Angaben einer maximal zulässigen Kraft und Flächenpressung für den Stoß-, Klemm- oder Quetschfall je nach Körperregion. Diese Werte orientieren sich an den *Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie* der BG/BGIA (2009). Mit dieser Empfehlung ist es möglich, Arbeitsplätze mit kollaborierenden Robotern so einzurichten, dass im Falle einer Kollision die dadurch auftretenden Beanspruchungen der Mitarbeiter akzeptabel sind (ebd.).

Das Betreten von Roboteranlagen ohne trennende Schutzzäune wird durch die technologische Entwicklung im Bereich der Sensorik und Sicherheitstechnik möglich. Sensorsysteme ermöglichen die flächendeckende Überwachung von kollaborierenden Arbeitsräumen zum Schutz des Menschen vor Gefahren. Die bisher vorgesehenen Schutzsysteme, wie bspw. Laserscan, übernehmen jedoch lediglich das Prinzip eines Schutzzauns. Zudem erfordern sie größere Sicherheitsabstände, weil Reaktionszeiten und Bremsdistanzen beachtet werden müssen (Naumann et al. 2017).

Vor diesem Hintergrund beschreiben Fritzsche und Elkmann (2009) zwei neuartige Sicherheitskonzepte zur sicheren Mensch-Roboter-Kooperation. Unter Verwendung von *taktilen Sensorsystemen* können LBR ortsunabhängige Berührungen wahrnehmen und mittels Drucksensoren die Druckverteilung erfassen. Demnach ermöglicht das taktile Sensorsystem, dass Maschinen, Assistenzsysteme und Roboter in der Produktion mit berührungssensitiven Oberflächen und Interfacesystemen ausgestattet werden. Somit können Maschinen etc. sicher mit ihrer Umgebung interagieren und sind zudem einfacher zu bedienen (Fritzsche & Elkmann 2009). Mit modernster Projektor- und Kameratechnik wurde ein weiteres innovatives System für die optische Arbeitsraumüberwachung entwickelt. Bestehend aus sichtbarem Licht wird der zu überwachende Risikobereich in die Umgebung, z. B. auf dem Fußboden, projiziert. Im Zuge dessen wird für den Menschen ein sichtbarer Sicherheitsbereich erzeugt, der eine

Unterbrechung der Projektionsstrahlen erkennt. Resultierend aus dieser Erkennung wird die Arbeitsgeschwindigkeit des Roboters reduziert oder ein Stopp eingeleitet (Vogel et al. 2011).

Vor diesem Hintergrund spielt die DIN EN ISO 13855 (2010) „Sicherheit von Maschinen“ eine wichtige Rolle, denn sie regelt die Anordnung von Schutzeinrichtungen und die dafür erforderlichen Sicherheitsabstände. Dabei ist diese Norm auf berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen mit ein- oder zweidimensionalen Schutzfeldern, z. B. Lichtschranke, Laserscanner, ausgerichtet. Moderne kamerabasierte berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen können allerdings auch dreidimensionale Schutzräume überwachen. Voraussetzung dafür ist, dass diese Schutzräume einen Mindestabstand zu festen Begrenzungen wie Boden, Wände oder Zäune einhalten. Sind diese Voraussetzungen erfüllt lässt sich diese Norm ebenfalls auf 3D-Schutzräume anwenden (DGUV 2014).

Aufgrund dessen, dass die MRK zu den Mensch-Maschine-Systemen zählt, spielen neben den bereits beschriebenen Sicherheitskonzepten ebenfalls Gestaltungsaspekte eine wichtige Rolle. Die Relevanz der Usability sowie der Automatisierungsstrategien werden im folgenden Kapitel näher beleuchtet.

Insgesamt birgt die Kombination der Stärken von Mensch und Roboter neue Möglichkeiten, um in den unterschiedlichsten Einsatzgebieten positive Effekte zu erzeugen. Unter Berücksichtigung der bestehenden Kooperationsformen der MRK kommen dabei unterschiedliche Sicherheitskonzepte zur Anwendung. Aus der Literatur geht somit hervor, dass die MRK einen ergonomischen Nutzen stiften kann, indem der Roboter ergonomisch kritische Teiltätigkeiten übernimmt. Durch diese Übernahme kann der Mitarbeiter entlastet werden. Jedoch bleibt offen, um welche Tätigkeiten es sich genau handelt. Aus diesem Grund zielt das Erkenntnisinteresse der vorliegenden Arbeit darauf ab, die ergonomisch kritischen Tätigkeiten zu identifizieren, wo MRK das größte Verbesserungspotenzial aufweist.

## 2.2 Mensch-Maschine-Systeme

Automatisierte Systeme werden als soziotechnische Systeme angesehen, deren Verlässlichkeit im hohen Maß von der Qualität der Interaktion zwischen Mensch und Automation bzw. der Usability der Interaktionsschnittstelle abhängig ist. Kopacek (2009) zufolge sollte neben der sicherheitsorientierten Gestaltung ebenfalls die Optimierung der Interaktion zwischen Mensch und Automation im Fokus zu sehen. Im Folgenden werden aus diesem Grund die Kriterien der Usability und der ergonomischen Dialoggestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie Probleme mit automatisierten Systemen aufgezeigt.

## 2.2.1 Begriffliche Klärung

Unter Mensch-Maschine-Systemen (MMS) wird das Zusammenarbeiten des Menschen mit einem System verstanden. Dabei steht die optimale und zielgerichtete Gestaltung der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine im Vordergrund (Kopacek 2009).

Die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine erfolgt dabei durch eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, die dem Menschen durch visuelle und akustische Wahrnehmungen den Zustand des Systems anzeigt (Inasaki 2004). Anzeigen auf dem Bedienpanel oder Warnsignale stellen hierbei mögliche Formen der MMS dar. Nimmt der Mensch diese Anzeigen wahr, folgen kognitive Verarbeitungsprozesse, die einen Abgleich mit bereits vorhandenen Erfahrungen und bekannten Konzepten durchführen, um eine Handlung abzuleiten (Mussnug 2009).

Um das Verständnis des technischen Systems zusammenzufassen, bilden Menschen mentale Modelle, welche das Gehirn erstellt, um komplexe Vorgänge vereinfacht und verständlich darzustellen. Dementsprechend repräsentiert ein mentales Modell lediglich das Verständnis des Nutzers und nicht die Realität. Dieses dynamische Modell wird fortwährend durch neue Informationen erweitert, wobei der Grad der Erfassung innerhalb des mentalen Modells von den Gestaltungskriterien der Usability (Kap. 2.2.3) abhängig ist (Mussnug 2009). Bedienfehler treten häufig auf, wenn ein fehlerhaftes mentales Modell vorliegt, welches in der Folge zu einer negativen Rückkopplung im kognitiven Verarbeitungsprozess führt. Um dem entgegenzuwirken, werden fehlertolerante Systeme mit einem hohen Usability Grad implementiert, die eine positive Rückmeldung hervorrufen (ebd.). Usability meint im deutschsprachigen Raum *Gebrauchstauglichkeit* im Sinne einer komfortablen Nutzung sowie der geeigneten Unterstützung des Nutzers bei der Erreichung seiner Ziele (Sarodnick & Brau 2011).

Zu den Stärken des Menschen zählen u. a. leistungsfähige und sensorische Denkweisen, die durch das kognitive System ermöglicht werden. Dieses kognitive System stellt die Voraussetzung für die menschliche Intelligenz dar, bspw. in Form der Abstraktions- und Entscheidungsfähigkeit, und ist das wichtigste Unterscheidungsmerkmal zu technischen Systemen (Schlick & Winkelholz 2008).

Bezugnehmend auf den Roboter als technisches System wurden bereits einige Einflussgrößen auf das Verhalten des Menschen untersucht. Demnach zeigt eine Studie von Koppenborg et al. (2013), dass das menschliche Empfinden von Angst und Beanspruchung steigt, wenn ein Roboter mit zunehmender Geschwindigkeit unvorhergesehene Aufgaben ausführt. Dies entspricht den Ergebnissen einer Untersuchung von Dehais et al. (2011), die höhere Komfort- und Sicherheits-Ratings bei vorhersehbaren Bewegungsbahnen des Roboters nachweisen konnten. Dem hinzufügend zeigen Nutzer eine positivere Reaktion, wenn die Bewegung des

Roboters per Signal angekündigt und somit vorhersehbar waren (Ikeura et al. 2003). Weiterhin untersuchten Petruck et al. (2016) den Einfluss der Bewegungsbahn des Roboters sowohl auf die Prädikationszeiten als auch auf die mentale Beanspruchung. Es zeigt sich, dass bei einer anthropomorphen Bewegungsbahn die Prädikationszeit sowie die mentale Beanspruchung reduziert werden konnten (ebd.).

Zusammenfassend verdeutlichen diese Untersuchungen, dass sich die Geschwindigkeit des Roboters sowie die Autonomie im Bewegungsverlauf auf die Performanz und die erlebte Anstrengung des Menschen auswirken. Demzufolge weisen diese Studien darauf hin, dass die Robotergeschwindigkeit, -bewegungsbahn und die Vorhersehbarkeit der Bewegung entscheidend sind, um beim Menschen negative Folgen der Beanspruchung zu vermeiden. Insbesondere im industriellen Umfeld sind diese Hinweise zu berücksichtigen.

## 2.2.2 Roboterprogrammierung

Die informatorische Interaktion von Mensch und Roboter verfolgt das Ziel, den Roboter für eine Aufgabe zu instruieren oder direkt im Prozess zu steuern. Demnach wird der Robotereinsatz, aufgrund der Verringerung des Programmieraufwandes im Verhältnis zur Fertigungszeit, auch für kleine Stückzahlen wirtschaftlich. Bezogen auf den Programmieraufwand bestehen zwei mögliche Wege zur Programmierung von Robotern (Naumann et al. 2017): Zum einen kann insbesondere bei kleineren Anlagen das Lead-Through-Verfahren zur Programmierung angewandt werden. Hierbei bewegt sich der Roboter in der vorgesehenen Zelle und nimmt die Programmpunkte per Knopfdruck auf. Weiterhin wird in größeren Produktionsanlagen die Offline-Programmierung mittels Simulationssoftware am Computer verwendet. Aufgrund der neuen Interaktionsformen zwischen Mensch und Maschine entstehen neue Möglichkeiten, um Roboter zu programmieren. Vor diesem Hintergrund wird die Trennung zwischen Online- und Offline-Programmierung aufgehoben und in ein intuitives Demonstrieren durch den Menschen gewandelt. Folglich entfällt die zeitaufwendige und komplexe Eingabe von Programmiercodes (ebd.)

Im Rahmen der direkten Interaktion mit dem Roboter sind taktile Eingabegeräte, wie bspw. ein System zur Handführung von Robotern, möglich. Demnach erfolgt die Raumpositionierung des Roboters über ein haptisches Interface, das auf einer Kraft-Momenten-Sensorik basiert. Insbesondere Leichtbauroboter beinhalten bereits diese Kraft-Momenten-Sensorik (Naumann et al. 2017). Hinzu kommt, dass diese neue Form der Programmierung den Schutzprinzipien der MRK laut DIN EN ISO 10218 und ISO/TS 15066 entspricht. Um eine intuitivere Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter zu ermöglichen, wie z. B. durch Handführung, kann weitestgehend auf trennende Schutzzäune verzichtet werden. Hierbei kommen flexibel einsetzbare Software-Sicherheitssysteme zur Anwendung. Die sicherheitstechnische



Normung der physischen Interaktion in der MRK ist in der DIN EN ISO 10218 geregelt (DIN EN ISO 10218-1/2 2012).

Zusammenfassend zeigt sich, durch die Einbeziehung des Menschen in die Programmierung zum einen die Vorhersehbarkeit gefördert wird. Zum anderen ermöglicht diese Integration des Menschen in die Programmierung das System zu verstehen und folglich der Ironie der Automatisierung nach Bainbridge (1983) entgegenzuwirken. Denn die Vorhersehbarkeit und das Verständnis des Systems sind entscheidend, um die mentale Beanspruchung des Mitarbeiters zu vermeiden (Ikeura et al. 2003).

### 2.2.3 Usability

Vor dem Hintergrund der Roboterprogrammierung sowie der Mensch-Maschine-Interaktion spielt die bedienerfreundliche Gestaltung der Schnittstelle eine wichtige Rolle. Ein zentrales Ziel der Usability stellt die Anpassung der Systeme an die Belange der Anwender dar.

Die Norm DIN EN ISO 9241-11 (1999, S. 4) definiert Gebrauchstauglichkeit als „[...] das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“ Demnach beschreibt Usability die Qualität eines technischen Systems, das nach den Erkenntnissen der Ergonomie gestaltet werden sollte (Sarodnick & Brau 2011).

Zu den Qualitätskriterien zählen u. a. die Anordnung der Bedienelemente, die Anzahl notwendiger Klicks oder die Verständlichkeit der angezeigten Bezeichnung und Dialoge (Richter & Flückiger 2016).

Bei den klassischen Roboteranwendungen fand die Programmierung bisher in der Regel über Spezialisten statt. Aufgrund der damit verbundenen Komplexität sowie der hohen Relevanz eines fehlerfreien Produktionsablaufes wurde diese Schnittstelle anhand von softwareergonomischen Grundsätzen optimiert. Die dabei geltende Bildschirmarbeitsverordnung (Norm DIN EN ISO 9241-110 2006, S. 7) fordert die Berücksichtigung ergonomischer Grundsätze bei jeglicher Software bzw. Schnittstelle und lauten wie folgt:

1. „Dialogwege zwischen Fenstern und innerhalb derselben sowie die dort dargestellten Informationen sollten die Arbeitsschritte zur Erledigung der Arbeitsaufgabe genau abbilden und daher *aufgabenangemessen* sein.“
2. „Alle Texte, wie Labels und Meldungen, sollten auf Anhieb verständlich und somit *selbstbeschreibend* sein.“
3. „Schaltflächen, Icons und Menüeinträge sollten den Benutzern mit einfachen und flexiblen Dialogwegen zum Ziel der Aufgabe führen, Bedienungsschritte sollten aufhebbar oder rückgängig zu machen sein und damit die Anwendung *steuerbar* gestalten.“

4. „Bedienungsabläufe, Symbole und die Anordnung von Informationen sollten innerhalb der Anwendung konsistent sein, dem erworbenen Wissen der Benutzer entsprechen und daher *erwartungskonform* sein.“
5. „In allen Situationen sollte das System Fehler vermeiden helfen und Korrekturmöglichkeiten anbieten und dadurch das Programm *fehlertolerant* machen.“
6. „Fenstereinstellungen, Spaltenanordnungen in Listen, Sortierungen, Symbolleisten, Menüs, Tastenkürzel, Funktionstasten etc. sollten individuell eingestellt und gespeichert werden können und somit *individualisierbar* sein.“
7. „Alle Bedienungsschritte, Tastenkürzel und Orte, wo bestimmte Informationen, Menüeinträge oder Funktionen zu finden sind, sollten einem leicht zu verstehenden und erlernbaren Prinzip folgen und daher *lernförderlich* sein.“

Moderne Roboterlösungen werden bereits mit einem Touch-Bedienfeld geliefert, wodurch Eingabegeräte oder Computer entfallen. Die für den Mitarbeiter relevanten Informationen sollten unter Beachtung der genannten Grundsätze der Dialoggestaltung übersichtlich und bedienerfreundlich angeordnet sein. Trotz der Einhaltung der software-ergonomischen Grundsätze der Dialoggestaltung treten dennoch Probleme bei Funktionsaufteilung zwischen Mensch und Maschine in automatisierten Systemen auf (ebd.). Das nachfolgende Unterkapitel fokussiert diese Problematik und ordnet diese den Automatisierungsstrategien zu.

## 2.2.4 Automatisierungsstrategien

Die Art der Funktionsaufteilung zwischen Mensch und Maschine stellt ein großes Problem dar. Zunächst ist es notwendig die Gesamtheit aller Aufgaben sowie die damit in Verbindung stehenden Funktionen zu beschreiben, die von einem System erbracht werden sollen. Dies erfolgt in der Regel im Rahmen von Aufgabenanalysen. Hiermit wird das Ziel verfolgt, eine strukturierte Beschreibung aller für die Erreichung eines Aufgabenziels notwendigen Funktionen sowie die zeitlichen und inhaltlichen Abhängigkeiten zu erstellen. Die Aufteilung der Funktionen innerhalb des Arbeitssystems orientiert sich folglich an Entscheidungskriterien und unterscheidet sich anhand der drei Gestaltungsebenen (Grote et al. 2000):

1. Ebene des soziotechnischen Systems,
2. Ebene der individuellen Arbeitstätigkeit und
3. Ebene der Automatisierungsstrategien der Systemgestaltung.

Die erste und zweite Ebene beziehen sich auf übergeordnete Gestaltungsaspekte soziotechnischer Arbeitssysteme sowie auf eine ganzheitliche und persönlichkeitsförderliche Arbeitsgestaltung. Dabei werden alle Merkmale der Arbeitstätigkeit und -bedingungen am Arbeitsplatz berücksichtigt und die Einbindung dessen in den organisationalen Kontext

beschrieben. Relevante Prinzipien zur Systemgestaltung der zwei Ebenen lassen sich aus den Konzepten der *menschengerechten* Arbeitsgestaltung nach Hackman & Oldham (1980) oder Hacker (1989) ableiten, auf die im Kapitel 2.3 näher eingegangen wird.

Die dritte Ebene thematisiert die Automatisierungsstrategien und zeigt, wie diese sich auf die Qualität der Mensch-Maschine-Interaktion auswirken. Grote et al. (2000) unterscheiden diesbezüglich drei Ansätze:

1. Technik- bzw. kostenzentrierte Ansatz,
2. Fähigkeitszentrierter Ansatz und
3. Menschzentrierte Ansatz.

Welche Funktionen automatisiert werden und welche beim Menschen verbleiben, richtet sich häufig nach dem *technik- bzw. kostenzentrierten Ansatz*. Demnach werden Funktionen automatisiert, die technisch gut und kostengünstig zu automatisieren sind. Lediglich die technisch nur schwer zu realisierenden Funktionen verbleiben beim Menschen. Im Vordergrund dieser Strategie steht die Effizienzsteigerung bzgl. der Zuverlässigkeit und der Kosten. Auswirkungen der Automatisierung auf den Menschen sind bei dieser Strategie von geringer Relevanz (Manzey 2012). Eine Folge dieser Strategie zeichnet sich dadurch aus, dass insbesondere die ergonomisch kritischen Tätigkeiten beim Mitarbeiter verbleiben, weil hier der Automatisierungsaufwand nicht wirtschaftlich wäre.

Eine weitere Automatisierungsstrategie, die bereits früh als Alternative zum rein technikzentrierten Ansatz gesehen wurde, stellt der *fähigkeitszentrierte Ansatz* dar, der die jeweiligen Leistungsvorteile von Mensch und Maschine vergleicht (Fitts 1951). Bereits Anfang der 50er Jahre präsentierte Fitts (1951) eine Auflistung von Tätigkeiten (siehe Tab. 2), die besser von Menschen bzw. Maschinen übernommen werden sollten. Bei diesem fähigkeitszentrierten Ansatz unterscheidet Fitts (1951) zwischen Aufgaben, die je nach Effektivität einen höheren Gewinn durch die Ausführung des Menschen oder durch die Maschine aufweisen. Die Fitts lists oder auch MABA-MABA-Listen („Men are better at, Machines are better at“) liefern Hinweise für eine bestmögliche Funktionsallokation in automatisierten Systemen.

**Tab. 2: Die originale Fitts lists (nach Fitts 1951)**

Eigenschaften der Menschen, die die Maschinen übertreffen:	Eigenschaften der Maschinen, die die Menschen übertreffen:
Fähigkeit, eine kleine Menge an visueller oder akustischer Energie zu erkennen	Fähigkeit, schnell auf Steuersignale zu reagieren und große Kraft reibungslos und präzise anzuwenden

Fähigkeit, Licht- oder Geräusche wahrzunehmen	Fähigkeit, repetitive, routinemäßige Aufgaben durchzuführen
Fähigkeit, zu improvisieren und flexibel zu reagieren	Fähigkeit, Informationen kurz zu speichern und dann vollständig zu löschen
Fähigkeit, sehr große Mengen an Informationen für längere Zeiträume zu speichern und relevante Fakten zur richtigen Zeit zurückzurufen	Fähigkeit, deduktiv zu begründen, einschließlich der Berechnungsfähigkeit
Fähigkeit, induktiv zu begründen	Fähigkeit, hochkomplexe Operationen zu bewältigen, d.h. viele verschiedene Aufgaben auf einmal zu erledigen
Fähigkeit, ein Urteil zu fällen	

Auf den ersten Blick scheint diese Automatisierungsstrategie plausibel, dennoch weist sie einige Schwachstellen auf und wird folglich als zu einfach eingeschätzt. Grund dafür liegt zum einen in der Voraussetzung, dass die Leistungsvorteile eindeutig zuzuordnen sind. In der Vergangenheit, in welcher die Computertechnologie hinsichtlich der Leitungsfähigkeit noch begrenzt war, schien diese Zuordnung möglich zu sein. Heutzutage lässt sich eine derartige Grenze aufgrund der schnell voranschreitenden technologischen Entwicklung kaum ziehen. Diesbezüglich besteht die Gefahr, dass die Unterschiede einer fähigkeits- und technikzentrierten Sicht ineinander übergehen. Zum anderen setzt der fähigkeitszentrierte Ansatz ähnlich wie der technikzentrierte Ansatz voraus, dass eine Unabhängigkeit von Mensch und Maschine besteht (ebd.).

Probleme bei der Nutzung eines automatisierten Systems lassen sich jedoch nicht unmittelbar den Stärken und Schwächen der einzelnen Systemkomponenten zuordnen, sondern sind ein Resultat aus der Interaktion von Mensch und Automation (Manzey 2012). Demzufolge sollte der Mensch und die Maschine bei der Funktionsallokation als wechselseitige und sich ergänzende Systemkomponenten gesehen werden. Hierbei wird ihre Zusammenarbeit und Kooperation mit Blick auf das Gesamtziel sowie unter Berücksichtigung der Rolle des Menschen optimiert (Grote et al. 2000).

Billings (1997) greift ergänzend dazu die *menschzentrierte Automatisierungsstrategie* auf. Bei der Ableitung von Gestaltungsprinzipien dieses Ansatzes wurde davon ausgegangen, dass der Mensch bei der Nutzung automatisierter Systeme, unabhängig vom Automatisierungsgrad, immer die Verantwortung für das Gesamtsystem trägt. Zum einen Verantwortung für die Erreichung der Aufgabenziele und zum anderen für auftretende Probleme. Vor diesem Hintergrund rückt die bereits beschriebene Rolle des Menschen als überwachende und leitende Kontrolle in den Vordergrund. Bezugnehmend auf den

Kontrollaspekt formulierte Billings (1997) erstmals allgemeine Gestaltungsprinzipien für den Bereich der Cockpitautomation und hat damit ein erstes Konzept menschenzentrierter Automation erstellt. Eine besondere Relevanz nehmen dabei die folgenden Voraussetzungen ein:

- die Notwendigkeit einer aktiven Beteiligung des Menschen an den jeweiligen Prozesse, um eine innere Abkopplung und mögliche OOTLUF-Probleme<sup>3</sup> zu vermeiden,
- die Notwendigkeit, dass der Mensch jederzeit über die Aktionen der Automation informiert ist,
- die Verfügbarkeit von Informationen zur Überwachung und Kontrolle der Automation durch den Menschen sowie
- die allgemeine Forderung, davon auszugehen, dass Mensch und Automation zwei intelligente Agenten eines gemeinsamen Systems sind, die wechselseitig über ihre Absichten und Ziele informiert sind (ebd.).

In diesem Zusammenhang wird die Automation als ein dem Menschen zugeordneter Teampartner gesehen. Christoffersen und Woods (2002) betonen dabei, dass eine effektive Teamarbeit<sup>4</sup> nur dann gelingen kann, wenn alle beteiligten Partner über ein gleiches Verständnis bzgl. der Aufgabenerfüllung verfügen. Um dieser Forderung nachzukommen, sollten Transparenz, Information und eine gemeinsame Sprache für die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine im Vordergrund stehen. Hinzu kommt, dass bei der menschlichen Teamarbeit die Aufgaben nicht ausschließlich bezogen auf einen Teampartner zugeordnet werden. Stattdessen gibt es unterschiedliche Varianten, wie Aufgaben gemeinsam erledigt werden. Demnach sollte der Mensch in die automatisierten Prozesse involviert bleiben, um eine kognitive Abkopplung zu vermeiden. Nicht zuletzt zeichnen sich effektive menschliche Teams dadurch aus, dass die Aufgabenverteilung nicht statisch festgelegt ist, sondern eine individuelle Anpassung erfolgen kann. Bezogen auf die Gestaltung der Funktionsallokation in Mensch-Maschine-Systemen sollte diese dynamisch veränderbar und der jeweiligen Situation angepasst werden (ebd.).

Vor diesem Hintergrund spielt die adaptierbare und adaptive Automation bei der menschenzentrierten Gestaltung automatisierter Systeme eine wesentliche Rolle. Bei adaptierbaren Systemen ist dem Menschen die Entscheidung überlassen, ob und für welchen

---

<sup>3</sup> „Out of the loop unfamiliarity“ (OOTLUF) charakterisiert die Kombination aus mangelnder Fehlerentdeckung, Diagnose und manuellen Fähigkeiten, die als Folge von übermäßigem Vertrauen in die Automation auftreten können (Billings 1997).

<sup>4</sup> Teamarbeit bezeichnet einen Zusammenschluss von mehreren Personen zur Lösung einer bestimmten Aufgabe oder zur Erreichung eines bestimmten Zieles (Haug 2009).

Zeitraum eine bestimmte Funktion an eine Automation delegiert wird, wie bspw. das Navigationssystem im Auto. Adaptive Automation ist wiederum anspruchsvoller und in ihrer Konsequenz problematischer (Scerbo 1996). Hierbei erfolgt die Funktionsallokation kontextabhängig, wobei die Verteilung der Funktionen primär bei der Maschine liegt. Um dabei Probleme bei der Überwachung automatisierter Systeme zu vermeiden, werden die eigentlich automatisierten Funktionen für einen bestimmten Zeitraum an den Menschen zurückgegeben (Parasuraman et al. 1996). Situationsabhängige Funktionsallokation delegieren bestimmte Funktionen an die Maschine, wenn eine Entlastung des Menschen aufgrund der Zunahme an Komplexität sinnvoll erscheint (Scallen & Hancock 2001). Eine weitere Komplexitätsstufe erreichen adaptive Systeme, bei denen die Funktionsallokation abhängig von der Leistung oder dem Zustand des Nutzers auf Basis von Verhaltensmaßnahmen oder physiologischen Indikatoren erfolgt. In diesem Fall wird der entsprechende Beanspruchungs- oder Müdigkeitsgrad des Menschen bestimmt und daran die Funktionsallokation zur Beanspruchungsoptimierung ausgerichtet (Kaber & Riley 1999).

Die Erläuterungen der adaptiven Systeme zeigen, dass die geforderte Kontrollierbarkeit der Automation durch den Menschen weitestgehend aufgelöst wird, indem sich die Autorität der Funktionsallokation vom Menschen an die Maschine verlagert. Dadurch verliert der Mensch einen wesentlichen Teil der Kontrolle seiner Situation. Dieser Kontrollverlust kann folglich in der Nicht-Akzeptanz der Technik deutlich werden und bringt neue Fragen hinsichtlich der Verantwortlichkeit in derartigen Mensch-Maschine-Systemen mit sich. Zudem wird die fehlende Transparenz der Systeme bei der Umsetzung deutlich, d. h. wer für welche Funktion zuständig ist. Dieser Ansatz wirkt der geforderten Vorhersehbarkeit des Systems durch den Menschen entgegen, was, wie Ikeura et al. (2003) und Petruck et al. (2016) zeigten, zu einer mentalen Fehlbeanspruchung führen kann. Obwohl im Vergleich zum technikzentrierten Ansatz hierbei die Auswirkungen auf den Menschen berücksichtigt werden, sind mit adaptiven Systemen dennoch Risiken, wie der Kontrollverlust, verbunden (Kaber et al. 2001). Dennoch sollte bei MMS der adaptierbare Ansatz im Sinne des menschenzentrierten Ansatzes weiterverfolgt werden, um der Rolle des Menschen als Kontrollinstanz gerecht zu werden sowie das Situationsbewusstsein zu erhalten. Wie genau sich der Verlust des Situationsbewusstseins auf den Menschen und das System auswirken kann und welche Probleme damit verbunden sind, stellt das folgende Kapitel dar.

## 2.2.5 Probleme bei der Nutzung automatisierter Systeme

Angesichts der Probleme bei der Nutzung automatisierter Systeme zählen Manzey und Bahner (2005) drei Problemfelder auf. Dabei handelt es sich einerseits um Probleme, die sich aus einem mangelnden bzw. übersteigerten Vertrauen (Problem 1) in die Automation ergeben. Daneben wird die Aufrechterhaltung eines angemessenen Situationsbewusstseins (Problem

2) erläutert sowie andererseits auf das Problem eingegangen, als Folge der Nutzung automatisierter Systeme Fertigkeiten zu verlieren (Problem 3).

Manzey und Bahner (2005) heben hervor, dass der Umgang mit einem automatisierten System wesentlich von dem *Vertrauen* bestimmt wird, welches der Mensch der Automation entgegenbringt. Zudem hängen das Vertrauen und folglich die Nutzung der Automation davon ab, ob sich der angestrebte Effekt einer Beanspruchungsreduktion beim Menschen einstellt und das System zugleich verlässlich und sicher erscheint. Daneben spielen ebenfalls interindividuelle Einstellungen der Nutzer gegenüber Technik und das Vertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit eine beeinflussende Rolle. In diesem Zusammenhang sehen Lee und See (2004) ein angemessenes Vertrauen in die Automation als wichtige Voraussetzung für ein entsprechendes Nutzungs- und Überwachungsverhalten des Menschen. Probleme bei der Nutzung und Überwachung automatisierter Systeme sind immer dann zu verzeichnen, wenn der Bediener der Automation mit zu wenig oder zu viel Vertrauen begegnet. In der Folge nutzt der Mensch die Automation nur mangelhaft oder fehlerhaft (Parasuraman & Riley 1997).

Bei einer mangelnden Nutzung bringt der Nutzer der größtenteils zuverlässig arbeitenden Automation ein zu geringes Vertrauen entgegen und nutzt sie nicht angemessen. Begründet durch das Auftreten einzelner Automationsfehler, unterschätzt der Anwender die Zuverlässigkeit des Systems. Dieser Effekt ist besonders stark ausgeprägt, wenn die aus den Fehlern resultierenden Risiken als sehr groß wahrgenommen werden oder bei vergleichsweise leichten Aufgaben auftreten (Madhavan et al. 2006). Vor diesem Hintergrund ist die Nachvollziehbarkeit und Vorhersehbarkeit der Fehler besonders wichtig. Je besser die Nutzer mögliche Fehler nachvollziehen und somit auch erklären und vorhersehen können, desto geringer wirken sich wahrgenommene Fehler auf das Vertrauen und die Nutzung der Automation aus (Dzindolet et al. 2003). Im Gegensatz dazu liegt bei der fehlerhaften Nutzung der Automation ein übersteigertes Vertrauen in die Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Automation vor. Entscheidungen und Aktionen der Automation werden vom Nutzer unreflektiert akzeptiert, wodurch er das System unzureichend überwacht und kontrolliert. Zusätzlich verliert der Nutzer das Situationsbewusstsein und übersieht häufig Automationsfehler. In der Folge ist ein übersteigertes Vertrauen in die Automation mit erheblichen Risiken für die Sicherheit von Mensch-Maschine-Systemen verbunden (Manzey und Bahner 2005).

Bezugnehmend auf die zweite Problematik der Aufrechterhaltung des angemessenen *Situationsbewusstseins* definiert Endsley (1995) drei Ebenen. Grundsätzlich liegt das Situationsbewusstsein vor, wenn der Mensch bei der Aufgabenerfüllung erkennt, was passiert, warum es passiert und wie es weitergeht. In der ersten Ebene sind alle Informationen verfügbar, um den gegenwärtigen Zustand des Systems zu beurteilen. Hierbei liegen technisch vermittelte Informationen vor sowie Informationen aus der Umwelt, die über

verschiedene Sinneskanäle aufgenommen werden. Die zweite Ebene beschreibt die korrekte Interpretation der wahrgenommenen Informationen zu einem Gesamtbild der Situation. Um schließlich auf der dritten Ebene den Verlauf der Situation vorherzusagen. Bei der Nutzung automatisierter Systeme kann es jedoch leicht zum Verlust des Situationsbewusstseins kommen. Dieser Verlust wird durch die folgenden vier Probleme im Umgang mit der Automation gefördert (Endsley et al. 2003):

- mangelnde Überwachung und Kontrolle aufgrund eines übersteigerten Vertrauens oder der allgemeinen Vigilanzproblematik bei Überwachungsaufgaben,
- veränderte Rückmeldekanäle, die bei der manuellen Ausführung für die Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins bedeutend sind,
- mangelnde Transparenz der Automation aufgrund fehlender Informationen zur Nachvollziehbarkeit des Systems sowie
- zunehmende Komplexität der Automation und mangelndes Systemverständnis, das in der Folge zu fehlerhaften Interpretationen führt.

Die genannten Probleme im Umgang mit der Automation wirken sich nicht allein auf das Situationsbewusstsein aus, sondern können ebenfalls zum *Verlust der manuellen Fertigkeiten* führen, welches das dritte Problemfeld darstellt. Mit der Automatisierung bestimmter Funktionen verändert sich die Rolle des Menschen vom aktiven Ausführenden hin zum passiven Beobachter. Demzufolge verliert der Mensch das kontinuierliche Training der motorischen und kognitiven Fertigkeiten. Schließlich nehmen diese Fertigkeiten ab oder gehen ganz verloren. Zugleich wird jedoch vorausgesetzt, dass der Nutzer bei Automationsfehlern die Funktionen wieder selbst übernehmen kann und die dafür benötigten Fertigkeiten beherrscht (Manzey 2012). In diesem Widerspruch entspricht das eingangs beschriebene Modell der Ironie der Automatisierung nach Bainbridge (1983). Um die motorischen Fähigkeiten auch ohne Training zu erhalten, spielen Ansätze aus der psychologischen Trainingsforschung eine wichtige Rolle (Patrick 1992). Diese Ansätze belegen, dass wiederum kognitive Fähigkeit ohne Training nicht erhalten bleiben können. Aufgrund dessen besteht ein hohes Risiko des Verlustes, wenn insbesondere kognitive Funktionen automatisiert werden, wie z. B. bei Systemen, die Entscheidungs-, Diagnose- oder Planungsprozesse unterstützen. Um dem entgegenzuwirken, werden adaptive Systeme so eingesetzt, dass bestimmte Funktionen wieder manuell ausgeführt werden müssen (Manzey 2012).

Insgesamt verdeutlicht das Kapitel 2.2, welchen Stellenwert die Usability bei der Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen einnimmt. Neben der ergonomischen Dialoggestaltung wurde ebenfalls aufgezeigt, welche Vor- und Nachteile mit den unterschiedlichen Automatisierungsstrategien verbunden sind und welche Problemfelder bei der Nutzung von automatisierten Systemen auftreten können. Dabei wurde dargestellt, dass insbesondere der



menschzentrierte Ansatz als Automatisierungsstrategie geeignet ist, um den Problemen bei der Nutzung automatisierter Systeme entgegenzuwirken. Dabei sollten sowohl adaptierbare als auch adaptive Gestaltungsansätze zum Einsatz kommen, um insbesondere dem Kontrollverlust, der Nicht-Akzeptanz der Technik sowie dem Verlust des Situationsbewusstseins und der kognitiven Fähigkeiten entgegenzuwirken.

Zur Einbettung von automatisierten Systemen, wie die MRK, in den arbeitswissenschaftlichen Kontext, zeigt das folgende Kapitel die Grundlagen der Arbeitsgestaltung auf. Vor dem Hintergrund der noch ausstehenden ersten und zweiten Gestaltungsebene nach Grote et al. (2000), thematisiert das nächste Kapitel ebenfalls relevante Prinzipien und Belastungsfaktoren am Arbeitsplatz. Zudem wird der Bedarf an neuartigen ergonomischen Verbesserungsmaßnahmen aufgedeckt und auf Merkmale der Aufgabengestaltung eingegangen.

## 2.3 Arbeitswissenschaft

Zwei wesentliche Ziele der Arbeitswissenschaft stellen die Humanisierung sowie die Rationalisierung dar. Demnach soll Arbeit sowohl menschengerecht als auch effektiv und effizient gestaltet sein. In der Folge fand eine Kombination dieser beiden Ansätze statt, mit dem Resultat der humanorientierten Rationalisierung, in der die Ressource Mensch einen hohen Stellenwert erlangt (Schlick et al. 2010).

Luczak und Volpert (1987) definieren Arbeitswissenschaft als die systematische Analyse, Ordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen. Hierbei wird das Ziel verfolgt, dass den Beschäftigten in produktiven und effizienten Arbeitsprozessen:

- schädigungslose, ausführbare, erträgliche und beeinträchtigungsfreie Arbeitsbedingungen vorliegen,
- Standards sozialer Angemessenheit nach Arbeitsinhalt, -aufgabe und -umgebung sowie Entlohnung und Kooperation erfüllt sind und
- Handlungsspielräume und die Möglichkeit zur Fähigkeitserweiterung sowie Kooperation mit anderen Kollegen bestehen (ebd.).

Demnach zählen zu den Schwerpunkten der Arbeitswissenschaft die Analyse der bestehenden Arbeitsbedingungen, die systematische Aufbereitung der gewonnenen Daten und die Ableitung von Gestaltungsregeln. Aufgrund der Tatsache, dass eine Vielzahl an Mindestanforderungen an humanorientierte Arbeitsbedingungen bekannt ist, findet ergänzend dazu die Bewertung von realen und konzipierten Arbeitsbedingungen statt (Schlick et al. 2010). Zudem ist der Arbeitgeber nach §5 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG 1996) verpflichtet,

die Arbeitsbedingungen im Hinblick auf Gefährdungen für die Mitarbeiter zu beurteilen und entsprechend Maßnahmen des Arbeitsschutzes anzuwenden (Schlick et al. 2010).

Diese Schwerpunkte sowie weitere Begriffe, wie Ergonomie und Arbeitsgestaltung, werden im Folgenden definiert, die Gegenstandsbereiche der Arbeitswissenschaft näher beschrieben und die Wirkung der Arbeit durch das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept erläutert. Den Abschluss des Kapitels bildet eine Übersicht über bestehende Arbeitsanalyseverfahren.

### 2.3.1 Begriffliche Klärung

Unter Arbeitsgestaltung werden alle technischen, organisatorischen und ergonomischen Maßnahmen bzgl. der Gestaltung des Arbeitsplatzes, der Arbeitsumgebung, des Arbeitsablaufes, der Arbeitsorganisation und der Aufgabeninhalte gesehen (Schaper 2014). Dunckel und Volpert (1997) definieren Arbeitsgestaltung als die systematische Veränderung technischer, organisatorischer und (oder) sozialer Arbeitsbedingungen mit dem Ziel, diese an die Leistungsvoraussetzungen des arbeitenden Menschen anzupassen, sodass sie der Erhaltung und Entwicklung der Persönlichkeit sowie der Gesundheit der arbeitenden Menschen im Rahmen effizienter und produktiver Arbeitsprozesse dienen.

Vor dem Hintergrund unternehmensbezogener Ziele, wie Produktivitätssteigerung, steht die psychologische Arbeitsgestaltung für die Förderung der Persönlichkeits- und Kompetenzentwicklung, für den langfristigen Erhalt der Leistungsfähigkeit und für die Gesundheitsförderung im Vordergrund. Demnach sollen einseitige Belastungen und Beanspruchungen bei der Ausführung der Tätigkeit vermieden und folglich lernförderlich und vielseitig gestaltet sein (Schaper 2014). Orientiert an der Arbeitspsychologie und der Arbeitswissenschaft zählen zu den Gegenstandsbereichen der Arbeitsgestaltung:

- Arbeitsumgebung, wie Lärm, Klima und Beleuchtung. Eine Verbesserung ist z. B. durch den Einbau von Schallschutzzäunen, Regelung der Luftfeuchtigkeit oder natürliche Beleuchtung durch Fenster möglich.
- Arbeitsmittel, wie Headsets und elektronische Schrauber in Montage.
- Arbeitsplatz, z. B. durch den Einsatz ergonomisch verstellbarer Bürotische.
- Arbeitsinhalte, wie Komponenten der Planung, Organisation, Durchführung und Prüfung im Sinne einer gesundheits- und persönlichkeitsförderlichen Bewältigung *vollständiger* Arbeitsaufgaben.
- Arbeitszeit, z. B. durch das Einrichten von Kurzpausen.
- Arbeitsablauf bzw. Arbeitsorganisation, durch den Einsatz von Maßnahmen, die unnötige Wegezeiten vermeiden und die optimale Erreichbarkeit von Arbeitsmitteln gewährleisten (ebd.).

Des Weiteren werden in der Literatur zwei Ziele der Arbeitsgestaltung unterschieden, die mitarbeiter- und unternehmensbezogenen Ziele. Vier Kriterien humangerechter Arbeit beschreiben dabei die mitarbeiterbezogenen Ziele der Arbeitsgestaltung. Laut Hacker und Richter (1984) sollte ein gut gestalteter Arbeitsplatz die Grundbedingungen der Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Beeinträchtigungsfreiheit und Persönlichkeitsförderlichkeit erfüllen. Die Arbeitstätigkeit ist folglich ausführbar, wenn diese zuverlässig und anforderungsgerecht zu erledigen ist sowie langfristig die physiologischen und psychologischen Anforderungen der Kräfte des Mitarbeiters nicht übersteigen. Hierbei spielt die Berücksichtigung von Sicherheitsmaßnahmen bzgl. der ergonomischen Gestaltung des Arbeitsplatzes und der Arbeitsmittel eine wichtige Rolle. Unter Schädigungslosigkeit wird die Vermeidung von psychologischen Gesundheitsschäden bei der Ausführung der Tätigkeit verstanden. Beeinträchtigungsfrei ist eine Tätigkeit, wenn keine bzw. zumutbare Beeinträchtigungen im Sinne der Vermeidung von Monotonie, Stress bzw. Unter- und Überforderung vorherrschen. Nicht zuletzt wird mit der persönlichkeitsförderlichen Gestaltung das Ziel verfolgt, dass der Mitarbeiter im Rahmen seiner Tätigkeit die eigenen Potenziale entfalten kann, vielfältige Anforderung vorfindet und dadurch seine Kompetenzen ausbauen kann. Dazu sollten ganzheitliche Anforderungen wie Planung, Organisation, Durchführung und Prüfung beim Mitarbeiter verbleiben. Zudem können dadurch fachliche sowie soziale Kompetenzen ausgebaut werden. Die vier genannten Kriterien von Hacker und Richter (1984) sind die in der Arbeitswissenschaft anerkanntesten und werden durch vielfältige Konzepte und Instrumente unterstützt (Schaper 2014). Diesbezüglich beschreibt Dunckel (1996) ergänzende Kriterien und Hinweise zur Umsetzung der Persönlichkeitsförderlichkeit, indem Arbeitstätigkeiten:

- einen großen Entscheidungsspielraum gewähren,
- einen angemessenen zeitlichen Spielraum zur Verfügung stellen,
- durchschaubar und bzgl. der eigenen Ziele gestaltbar sind und eine selbstständige Auswahl von Arbeitsverfahren ermöglicht wird,
- frei von organisatorischen und technischen Behinderungen und Belastungen sind,
- ausreichend körperliche Aktivität beinhalten,
- konkreten Kontakt zu materiellen und sozialen Bedingungen des Arbeitshandelns sowie befriedigende soziale Kooperation ermöglichen,
- vielfältige Sinnesqualitäten beanspruchen,
- Variationsmöglichkeiten bei der Erledigung der Arbeitsaufgabe zur Verfügung stellen sollten,
- Möglichkeit arbeitsbezogener Kommunikation und zwischenmenschlicher Kontakte gewähren,

- Möglichkeit zur Anwendung und Erweiterung erworbener Kompetenzen anbieten und
- Anerkennung wertvoller Leistungen gewährleisten.

Das zweite Ziel der Arbeitsgestaltung beinhaltet unternehmensbezogene Ziele, die sich nach Grob und Haffner (1982) in drei Kategorien einteilen lassen. Zunächst beschreiben Kostenziele bspw. die Senkung der Material- und Arbeitskosten, des Krankenstandes und der Fluktuation, der Bestände sowie die bessere Auslastung der Betriebsmittel und die Verkürzung der Durchlaufzeiten. Neben diesen spielen organisatorische Ziele, wie die Verbesserung des Informationsflusses, die Erhöhung der Flexibilität bzgl. des Mitarbeiterereinsatzes und der Fertigung sowie die Erhöhung der Kundenzufriedenheit, eine weitere Rolle. Schließlich heben Grob und Haffner (1982) technische Ziele hervor, z. B. die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, die Reduzierung von Störungen sowie die Vermeidung von Schadstoffen.

Häufig stehen Unternehmen vor der Herausforderung die unterschiedlichen sozialen und wirtschaftlichen Interessen zu vereinen. Oft gelingt ihnen das dadurch, dass mitarbeiterbezogene Ziele mit unternehmensbezogenen Zielen einhergehen. Das Ziel der Persönlichkeitsförderlichkeit lässt sich bspw. mit dem Kostenziel der Senkung des Krankenstandes und der Fluktuation vereinen, indem die Prävention gesundheitsgefährdender Arbeitsprozesse einen positiven Effekt auf die Senkung hoher Krankenstände ausübt. Aufgrund dieser Gestaltungsmaßnahmen werden einerseits die Gesundheit der Beschäftigten und andererseits ihre Leistungsfähigkeit erhalten, was einen Vorteil für den Betrieb als auch die Mitarbeiter darstellt (Schaper 2014).

Neben den Zielen der Arbeitsgestaltung spielen ebenfalls grundlegende Strategien bzgl. der zeitlichen Perspektive sowie in Bezug auf die individuellen Unterschiede der Beschäftigten eine wesentliche Rolle. In zeitlicher Hinsicht werden hierbei die korrektive, präventive und prospektive Gestaltung unterschieden (Nerdinger et al. 2008). Bei der korrekativen Arbeitsgestaltung werden Veränderungen vorgenommen, nach dem Arbeitssysteme eingeführt und Mängel identifiziert wurden, wie bspw. das nachträgliche Anbringen von Schallschutzwänden. Um jedoch nachträgliche Korrekturen und Kosten zu vermeiden, kommt die präventive Arbeitsgestaltung zur Anwendung. Dabei werden prognostizierte Gesundheitsschäden und Beeinträchtigungen der Beschäftigten, die bei der Ausübung der Tätigkeit auftreten können, vorweggenommen. Demnach wird der Arbeits- und Gesundheitsschutz frühzeitig im Prozess der Arbeitsgestaltung berücksichtigt. Ein Beispiel für die präventive Gestaltung eines Arbeitsplatzes ist die Einrichtung von Steh- und Sitzarbeitsplätzen durch höhenverstellbare Schreibtische, um Nacken- und Rückenbeschwerden zu vermeiden (Luczak & Schlick 2007). Im Sinne der positiven Beeinflussung der Gesundheit der Beschäftigten durch die Arbeitsgestaltung spielt der prospektive Ansatz eine wichtige Rolle. In diesem Zusammenhang werden bei der Planung

bzw. Neugestaltung von Aufgaben und Anforderungen persönlichkeits- und lernförderliche Ansätze, z. B. durch das Schaffen von Tätigkeitsspielräumen, angewendet (Bergmann 1996). Bezugnehmend auf die Bedeutung der inter- und intraindividuellen Unterschiede der Beschäftigten bei der Arbeitsgestaltung unterscheidet Ulich (2011) drei Gestaltungsstrategien: die flexible, die differentielle und die dynamische Arbeitsgestaltung. Die flexible Arbeitsgestaltung beschreibt einen Ansatz, der interindividuelle Differenzen bei der Bewältigung von Arbeit und persönlichkeitsförderliche Aufgaben unterstützt, indem der Beschäftigte unterschiedliche Arbeitsweisen innerhalb einer Arbeitsstruktur zur Aufgabenausführung wählen kann. Bei der differentiellen Gestaltung besteht die Möglichkeit für die Beschäftigten zwischen unterschiedlichen Arbeitsstrukturen zu wählen, bspw. ob eine Tätigkeit in der Gruppe oder am Einzelarbeitsplatz ausgeführt wird. Zudem stellt die dynamische Arbeitsgestaltung ein Prinzip dar, dass Arbeitsbedingungen schafft und weiterentwickelt, die den Kompetenzen der Beschäftigten entsprechen. In der Praxis könnte bspw. einem Mitarbeiter, der bereits länger beschäftigt ist, Aufgaben übertragen werden, welche ein höheres Kompetenzniveau erfordern (ebd.).

Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Aspekte der Arbeitsgestaltung spielt die ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes eine besondere Rolle in der Arbeitswissenschaft. Der Begriff Ergonomie<sup>5</sup> wurde erstmals durch den Wissenschaftler Jastrzebowski im Jahre 1857 als Synonym zur Arbeitswissenschaft verwendet (Jastrzebowski 1857). In der Literatur finden sich unterschiedliche Ansichten bzgl. der Ergonomie als Gleichsetzung zur Arbeitswissenschaft bzw. als Teilgebiet dessen (Müller 2001). Letzteres greift die IEA (2000) auf und definiert Ergonomie als „the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data and methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance“ (IEA 2000). Orientiert an dieser Definition wird Ergonomie als Teilgebiet der Arbeitswissenschaft verstanden (Laurig 1992). Somit thematisiert die ergonomische Gestaltung die Gestaltung von Arbeitssystemen, -plätzen, -mitteln, -produkten und -prozessen, die aufgrund physiologischer Leistungen und psychologischen Bedingungen des Menschen mit dessen Abmessung beeinflusst werden.

Der traditionellen Klassifikation der Ergonomie zufolge, findet eine Unterscheidung in Produktergonomie und Produktionsergonomie: Bei der Produktergonomie handelt es sich um die Benutzbarkeit von Produkten. Die Produktionsergonomie wiederum fokussiert den ergonomie-gerechten Herstellungsprozess von Produkten und Dienstleistungen. Im Hinblick auf die Automobilproduktion ist die Produktionsergonomie von besonderer Relevanz. Die Produktionsergonomie verfolgt das Ziel, die „humane und wirtschaftliche Gestaltung

---

<sup>5</sup> Aus dem griechischen *ergon* = Arbeit, Werk und *nomos* = Gesetz

menschlicher Arbeit in der Fertigung und Montage“ zu fokussieren (Schlick et al. 2010, S. 1132). Denn vorwiegend physische Belastungen und ihre Auswirkungen stellen viele produzierende Betriebe vor große Herausforderungen (Lawaczeck 2001). Angesichts des steigenden Kostendrucks, hervorgerufen insbesondere durch den globalen Wettbewerb und den demografischen Wandel, lässt sich eine wirtschaftliche Produktion lediglich durch eine effektive und effiziente Nutzung der Ressource Mensch realisieren (Schlick et al. 2010). Vor diesem Hintergrund sollte der Arbeitsplatz unter Berücksichtigung der Beanspruchung durch Körperstellung und -haltung während der Ausführung der Tätigkeit gestaltet werden.

Aufgrund der Beachtung der Aspekte der Ergonomie bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes, findet sich in der Literatur häufig der Begriff der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung wieder und stellt einen Unterbereich der Arbeitsgestaltung dar. Zusätzlich spielen hierbei die individuellen Körperabmessungen und notwendigen Arbeitsmittel bei der Planung eine wichtige Rolle (Kubitschek & Kirchner 2005). Nicht zuletzt nimmt ebenfalls die Gestaltung der Arbeitsinhalte und -aufgaben einen großen Stellenwert bei der Arbeitsgestaltung ein, auf diesen im folgenden Kapitel eingegangen wird.

### 2.3.2 Theoretische Konzepte der Arbeitsgestaltung

Bezugnehmend auf die Gestaltungsbereiche lassen sich für den Bereich des Arbeitsinhaltes unterschiedliche theoretische Konzepte zur Gestaltung Arbeitsaufgabe anwenden.

Der Arbeits- und Organisationspsychologie zufolge, werden drei Theorien unterschieden:

- der Ansatz zur soziotechnischen Systemgestaltung,
- handlungs- und tätigkeitstheoretische Konzepte und
- motivationstheoretische Ansätze (Nerdinger et al. 2008).

#### *Soziotechnische Systemgestaltung*

Die erste Theorie zur *soziotechnischen Systemgestaltung* beschreibt eine Analyse von primären Arbeitssystemen, die selbstständige Subsysteme innerhalb der Arbeitsorganisation eines Unternehmens darstellen. Gekennzeichnet werden diese Subsysteme durch eine Arbeitsgruppe, deren Arbeitsumfeld und eine gemeinsame Arbeitsaufgabe. Die Arbeitstätigkeit bzw. -aufgabe der Beschäftigten stellt dabei die Verknüpfung des sozialen mit dem technischen System dar. Folglich werden dadurch zum einen die Funktionen festgelegt, welche die Beschäftigten ausführen. Zum anderen werden aufgrund dessen die Kooperationsbeziehungen zwischen den Beschäftigten bestimmt. Vor diesem Hintergrund

ergeben sich unterschiedliche Mensch-Maschine-Funktionsteilungen und Formen der Arbeitsorganisation (ebd.). Im Wesentlichen verfolgt dieser Ansatz das Ziel, die in enger Beziehung zueinanderstehenden Teilkomponenten des soziotechnischen Systems – die Technik, die Organisation und der Mensch – gemeinsam zu optimieren. Dabei steht die Primäraufgabe im Vordergrund, für deren Erfüllung das soziotechnische System geschaffen wurde. Dabei sind die von Ulich (2004) beschriebenen Prinzipien von großer Bedeutung:

- Bildung relativ unabhängiger Organisationseinheiten, denen ganzheitliche Aufgaben übertragen werden,
- inhaltlicher Zusammenhang der Aufgabe in der Organisationseinheit sowie
- Einheit von Produkt und Organisation zur Rekonstruktion des Arbeitsergebnisses.

Unter Berücksichtigung dieser Prinzipien kann eine gemeinsame Optimierung gelingen, ohne dass technische Sachzwänge entstehen (ebd.).

#### *Handlungs- und tätigkeitstheoretische Konzepte*

Anknüpfend an den soziotechnischen Systemgestaltungsansatz werden in der zweiten Theorie des *handlungs- und tätigkeitstheoretischen Konzeptes* ebenfalls die Arbeits- bzw. Primäraufgabe in den Mittelpunkt der Arbeitsplatzgestaltung gestellt (Hacker 2006, Volpert 1987). In diesem Zusammenhang werden vier grundlegende Gestaltungskonzepte unterschieden:

- Konzept des Handlungs- bzw. Tätigkeitsspielraums (Ulich 2005),
- Merkmale zur Gestaltung lern- und persönlichkeitsförderlicher Tätigkeiten bzw. Arbeitsaufgaben (Bergmann 1996, Ulich 2005),
- Konzept vollständiger Aufgaben bzw. Handlungen (Hacker 2006) und
- Gruppenaufgabenkonzept (Ulich 2004, Weber 1997).

Im Rahmen des ersten Gestaltungskonzeptes, das *Handlungs- und Tätigkeitsspielraumkonzept*, wird veranschaulicht, wie unterschiedliche Spielräume bei der Arbeit mit unterschiedlich ausgeprägten Persönlichkeits- und Kompetenzentwicklungen einhergehen. So bieten selbstgestaltete, vielseitige und teamorientierte Aufgaben mehr Entwicklungsmöglichkeiten und sind folglich motivierender als Tätigkeiten, die fremdbestimmt, monoton und sozial isoliert sind. Zudem geht ein erhöhter Handlungsspielraum mit einer höheren Handlungsverantwortung einher, sodass der Beschäftigte eine größere Kontrolle bzgl. der eigenen Handlung erlebt (Ulich 2005). Ulich (2005) zufolge gliedert sich der Tätigkeitsspielraum in drei Teile: der Handlungs-, der Gestaltungs- und der Entscheidungsspielraum. Der Handlungsspielraum beinhaltet dabei die objektiv vorhandenen und subjektiv wahrgenommenen Wahlmöglichkeiten zur Aufgabenbewältigung. Das Ausmaß

an Variabilität wird durch den Gestaltungsspielraum beschrieben, indem der Beschäftigte die Aufgabe selbstständig nach eigenen Zielsetzungen strukturiert. Schlussendlich stellt der Entscheidungsspielraum die Ausprägung an Entscheidungskompetenz dar, inwieweit der Beschäftigte die Arbeitsaufgaben selbst festlegen und voneinander abgrenzen kann.

Vor dem Hintergrund des Handlungsspielraumkonzeptes heben Bergmann (1996) sowie Ulich (2005) hervor, dass dieses Konzept Schnittstellen zum zweiten Gestaltungskonzept, der *lern- und persönlichkeitsförderlichen Gestaltung von Tätigkeit*, aufweist. Folglich können Tätigkeiten mit einem hohen Handlungsspielraum durch sieben persönlichkeitsförderliche Aufgabenmerkmale charakterisiert werden. Im Resultat wird beim Beschäftigten ein Zustand des Interesses und des Engagements bei der Ausführung der Tätigkeit bewirkt. Die folgende Tabelle stellt diese sieben Merkmale vor, die erläutern, wie Arbeit gestaltet werden sollte, um eine Persönlichkeits- und Kompetenzentwicklung beim Mitarbeiter zu ermöglichen. Die zentrale Annahme besteht dabei darin, dass die Kompetenzentwicklung in der Auseinandersetzung mit der Tätigkeit erfolgt. Arbeitsinhalte, die beispielsweise vielfältige Anforderungen aufweisen, spielen Ulich (2005) zufolge eine wesentliche Rolle, um Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten auf kognitiver als auch sozialer Ebene zu erreichen. Die Anforderungsvielfalt besteht darin, dass Aufgaben mit unterschiedlichen Anforderungen die Körperfunktionen und Sinnesorgane ansprechen, um die Fähigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten zu erweitern und einseitiger Beanspruchung entgegenzuwirken.

Im Kontext der persönlichkeitsförderlichen Arbeitsgestaltung wird dem Merkmal Ganzheitlichkeit / Vollständigkeit einer Aufgabe / Tätigkeit ein relevanter Stellenwert zugeordnet (Hacker 2006). Das dritte Gestaltungskonzept der *vollständigen Aufgabe* beschreibt dabei fünf Merkmale zur Gestaltung der Arbeitsaufgabe. Hierbei sollte zunächst das Ziel der Aufgabe selbstständig gesetzt werden.

**Tab. 3: Merkmale motivations-, persönlichkeits- und lernförderlicher Aufgabengestaltung (nach Ulich 2011)**

Gestaltungs-merkmal	Realisierung durch...	Angenommene Wirkung
Ganzheitlichkeit	Aufgaben mit planenden, ausführenden und kontrollierenden Elementen und der Möglichkeit, Ergebnisse der eigenen Tätigkeit auf Übereinstimmung mit gestellten Anforderungen zu prüfen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mitarbeiter erkennen Bedeutung und Stellenwert ihrer Tätigkeiten</li> <li>– Mitarbeiter erhalten Rückmeldung über den eigenen Arbeitsfortschritt aus der Tätigkeit selbst</li> </ul>



Anforderungs-vielfalt	Aufgaben mit unterschiedlichen Anforderungen an Körperfunktionen und Sinnesorgane	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Unterschiedliche Fähigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten</li> <li>– Einseitige Beanspruchungen können vermieden werden</li> </ul>
Möglichkeit der sozialen Interaktion	Aufgaben, deren Bewältigung Kooperation nahelegt oder voraussetzt	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Schwierigkeiten können gemeinsam bewältigt werden</li> <li>– Gegenseitige Unterstützung hilft Belastungen besser zu ertragen</li> </ul>
Autonomie	Aufgaben mit Dispositions- und Entscheidungsmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stärkt Selbstwertgefühl und Bereitschaft zur Übernahme von Verantwortung</li> <li>– Vermittelt die Erfahrung, nicht einfluss- und bedeutungslos zu sein</li> </ul>
Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten	Problemhaltige Aufgaben, zu deren Bewältigung vorhandene Qualifikationen eingesetzt und erweitert bzw. neue Qualifikationen angeeignet werden müssen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Allgemeine geistige Flexibilität bleibt erhalten</li> <li>– Berufliche Qualifikationen werden erhalten und weiterentwickelt</li> </ul>
Zeitelastizität und stressfreie Regulierbarkeit	Schaffen von Zeitpuffern bei der Festlegung von Vorgabezeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wirkt unangemessener Arbeitsverdichtung entgegen</li> <li>– Schafft Freiräume für stressfreies Nachdenken und selbst gewählte Interaktionen</li> </ul>
Sinnhaftigkeit	Produkte, deren gesellschaftlicher Nutzen nicht infrage gestellt wird Produkte und Produktionsprozesse, deren ökologische Unbedenklichkeit überprüft und sichergestellt werden kann	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vermittelt das Gefühl, an der Erstellung gesellschaftlich nützlicher Produkte beteiligt zu sein</li> <li>– Gibt Sicherheit in Bezug auf Übereinstimmung individueller und gesellschaftlicher Interessen</li> </ul>

Im Weiteren folgt die selbstständige Handlungsvorbereitung im Sinne von Planung, um anschließend die Auswahl der Arbeitsmittel sowie weitere Aktionen zur Zielerreichung zu entscheiden. Schließlich sollte im Rahmen des Feedbacks die Möglichkeit zur Korrektur bestehen, bevor die abschließende Qualitätskontrolle erfolgen kann (Ulich 2004). Ergänzend dazu fordert Hacker (2006) neben der inhaltlichen Vollständigkeit ebenfalls eine hierarchische Vollständigkeit von Aufgaben. Hierbei steht das Ausmaß im Vordergrund, in dem wechselnde Anforderungen der Handlungsregulation auf den Ebenen vorhanden sind. Insgesamt beeinflusst eine vollständige Arbeitstätigkeit die Leistungsmotivation der Mitarbeiter positiv,

wirkt der Dequalifizierung entgegen und fördert die Gesundheit sowie das Wohlbefinden der Mitarbeiter (Hacker 2006, Ulich 2005). Im Gegenzug resultiert aus einer unvollständigen Aufgabe der Abbau der individuellen Leistungsfähigkeit, einseitige Beanspruchung und Monotonieerleben sowie eine Störung des Wohlbefindens und gesundheitliche Beeinträchtigung (ebd.). Aufgrund dessen sollte bei der Aufgabengestaltung der Ansatz der vollständigen Aufgabe Berücksichtigung finden.

Bei dem vierten Gestaltungskonzept handelt es sich um das *Gruppenaufgabenkonzept*, das Weber (1997) und Ulich (2004) prägten. Die Gruppenarbeit stellt dabei eine Form der Arbeitsorganisation dar, die Potenziale für eine nach Humankriterien förderliche Arbeitsgestaltung aufgrund anspruchsvoller Aufgaben, hoher Kommunikations- und Kooperationsanforderungen sowie sozialen Unterstützungsressourcen beinhaltet (Schaper 2014). Ergänzend dazu wird die Gruppenarbeit als eine Arbeitsform definiert, bei der mehrere Mitarbeiter eine Aufgabe gemeinschaftlich erfüllen, um eine gemeinsame Zielstellung zu verfolgen. Hinzu kommt, dass ihr Zusammenwirken einer Ordnung entspricht und die Mitarbeiter demnach miteinander kommunizieren. Zur näheren Erläuterung der Gruppenarbeit beschreibt Antoni (1996) Gruppengröße, Zeitdauer der Zusammenarbeit, gemeinsame Zielsetzung, Regeln und Normen, Rollenverteilung, Kooperation, Wir-Gefühl und der Arbeitsauftrag als Kernmerkmale der Gruppenarbeit.

Die nachfolgende Tabelle 4 beinhaltet zudem die Ziele, die bei der Nutzung von Gruppenarbeiten verfolgt werden. Dabei unterscheidet Wegge (2004) wirtschaftlichkeitsorientierte, wie z. B. Verbesserung der Produktivität, und mitarbeiterorientierte Ziele, wie z. B. Erhöhung der Arbeitszufriedenheit.

**Tab. 4: Ziele bei der Nutzung von Gruppenarbeit (nach Wegge 2004)**

<b>Wirtschaftlichkeitsorientierte Ziele</b>	<b>Mitarbeiterorientierte Ziele</b>
Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit	Bessere Arbeitsbedingungen
Verbesserung der Produktivität	Abbau von Belastungen
Kosten- und Personalreduktion	Förderung der Qualifikation
Verbesserung der Qualität	Bessere Kommunikation
Verbesserung der Flexibilität	Erhöhung der Arbeitszufriedenheit
Senkung von Fehlzeiten und Fluktuation	Förderung der Arbeitssicherheit
Erhöhung der Kundenzufriedenheit	Förderung der intrinsischen Arbeitsmotivation
Förderung von „Mitdenken“ und Eigenverantwortung der Mitarbeiter	Persönlichkeitsförderung

Kennzeichnend für die Automobilbranche ist in den vergangenen Jahren der vermehrte Einsatz von Gruppenarbeit im Sinne von Fertigungsteams in der Fließbandfertigung. Dabei sind die Tätigkeiten hoch standardisiert und unterliegen zumeist kurzen Taktzeiten (Springer

1999). Trotz der großen Variabilität der Arbeitsaufgaben bleibt der Arbeitsumfang aufgrund der kurzen Taktzeiten bei unter 20 Minuten pro Mitarbeiter, wobei jeder Mitarbeiter in der Regel für alle Stationen des Fließbandes qualifiziert ist. Für die Einteilung der Mitarbeiter zu den Stationen, die Bestimmung der Teamleiter, die Ausbildung und Einhaltung der Standards ist der Meister verantwortlich. Schumann und Gerst (1997) zu Folge, werden Fertigungsteams der strukturkonservativen Form der Gruppenarbeit zugeordnet. Diese Einordnung kritisiert jedoch Schaper (2014), aufgrund der Verantwortung jedes einzelnen Mitarbeiters für die zugeteilte Aufgabe und der Steuerung der Teams durch den Teamleiter bzw. Meister. Denn hierbei erfolgt keine kooperative inhaltliche Bearbeitung der Aufgabe.

Dennoch weist diese Form der Gruppenarbeit Merkmale der tayloristischen Arbeitsgestaltung, wie beispielsweise die Arbeitsteilung, die Standardisierung und die Fließbandmontage, ohne eine technische oder organisatorische Teilautonomie, auf. Mit dieser Arbeitsgestaltungsform geht ebenso eine Erhöhung der sequenziellen Abhängigkeiten der Arbeitsplätze, aufgrund der Just-in-Time-Fertigung, einher. Kennzeichnend dafür ist außerdem die Integration indirekter Funktionen, wie z. B. Qualitätssicherung oder Instandhaltung. Insgesamt steht bei den Fertigungsteams die Leistungsmaximierung im Mittelpunkt, was einen erhöhten Leistungsdruck sowie Stress bei den Mitarbeitern zur Folge hat (Schaper 2014).

#### *Motivationstheoretische Ansätze*

In der *Motivationstheorie* werden zwei wesentliche Ansätze unterschieden. Zum einen liefert die *Zwei-Faktoren-Theorie* nach Herzberg et al. (1959) mit den Konzepten des job enrichments und job enlargements konkrete Hinweise zu den Maßnahmen der Arbeitsgestaltung. Zum anderen spielt das *Job Characteristics Model* nach Hackman und Oldham (1976) bezüglich der Aufgabengestaltung eine wesentliche Rolle.

Im Rahmen der Zwei-Faktoren-Theorie werden die Inhalte der Arbeitstätigkeit als zentraler Einflussfaktor auf die Arbeitsmotivation in den Mittelpunkt gestellt. Darin bilden zwei Faktoren, die Kontext- und Kontentfaktoren, die Grundlage dieser Theorie. Bei den Kontextfaktoren handelt es sich um Merkmale der Arbeitsumgebung und somit um extrinsische Aspekte, wie z. B. Gehalt, Arbeitsbedingungen und Sicherheit des Arbeitsplatzes. Im Fall einer unzureichenden Ausprägung der Kontextfaktoren kann daraus Unzufriedenheit bzw. eine begrenzte Arbeitszufriedenheit resultieren. Sind diese jedoch positiv ausgeprägt, wirken sie der Unzufriedenheit entgegen, führen aber nur begrenzt zur Erhöhung der Arbeitszufriedenheit. Dementsprechend sollten negative Faktoren, wie z. B. mangelnde Arbeitsplatzsicherheit oder eine schlechte Bezahlung eliminiert werden, um Unzufriedenheit vorzubeugen (Herzberg et al. 1959).

Im Gegensatz dazu zählen intrinsische Faktoren zu den Kontextfaktoren, z. B. Verantwortung übernehmen und Anerkennung erhalten, die bei positiver Ausprägung als Motivatoren agieren. Hierbei wird ein Bezug zur Arbeitstätigkeit hergestellt, der bei positiver Ausprägung die Zufriedenheit der Beschäftigten fördert und folglich leistungssteigernd wirkt. Vor diesem Hintergrund betont Herzberg (1968) die Relevanz des Handlungsspielraums, der um motivationssteigernd zu wirken, vergrößert werden sollte. Somit besteht die Möglichkeit durch die horizontale Erweiterung des Aufgabenfeldes (job enlargement) mit vor- und nachgelagerten Tätigkeiten die intrinsische Arbeitsmotivation zu steigern. Mit der Absicht dadurch die einseitige physische Belastung des Mitarbeiters zu vermeiden, sollte beispielweise ein Wechsel zwischen sitzender und stehender Tätigkeit ermöglicht werden. Zudem trägt die veränderte psychische Anforderung zur Verringerung der Monotonie bei und der damit verbundene Beanspruchungswechsel hat zur Folge, dass zwischenzeitliche Erholungsphasen für den Mitarbeiter geschaffen werden. Dennoch hebt Herzberg (1968) hervor, dass die Aufgabenerweiterung im job enlargement lediglich im geringen Maß zur motivationalen Steigerung führt, weil die Mitarbeiter zwischen wenig relevanten Teiltätigkeiten wechseln.

Hingegen ist bei der Arbeitsanreicherung des job enrichments eine signifikante Verbesserung der intrinsischen Motivation zu verzeichnen. Im Rahmen des job enrichments werden unterschiedliche Bestandteile wie planende, kontrollierende und ausführende Tätigkeiten im Sinne einer ganzheitlichen Arbeitsaufgabe kombiniert. Diese vertikale Aufgabenerweiterung beinhaltet die Übernahme von Verantwortungsbereichen oder die Einführung von komplexen Aufgaben, um im Ergebnis den Handlungsspielraum des Mitarbeiters zu vergrößern und folglich die Kompetenzentwicklung zu fördern. Schließlich verfolgt diese Form der Arbeitserweiterung das Ziel, die wahrgenommene Verantwortung und Anerkennung zu steigern und im Zuge dessen die Produktivität, Kreativität sowie intrinsische Arbeitsmotivation der Mitarbeiter zu fördern (ebd.).

In Verbindung mit diesen Arbeitserweiterungsformen wird häufig die Arbeitsgestaltungsmaßnahme des Arbeitsplatzwechsels (job-rotation) genannt. Hierbei wechselt der Mitarbeiter einer Systematik folgend den Arbeitsplatz oder das Aufgabenfeld bei gleichbleibendem Qualifikationsniveau. Dadurch sollen der Tätigkeitsspielraum sowie die fachlichen und sozialen Kompetenzen erweitert und einseitige Belastungen verhindert werden. Hinzufügend kann diese Form zum abteilungs- und fachbereichsübergreifenden Verständnis der Arbeitsverfahren beitragen (Herzberg 1968).

Wie die Zwei-Faktoren-Theorie nach Herzberg et al. (1959) zeigt, beeinflusst die Tätigkeit insbesondere die Motivation und Zufriedenheit der Mitarbeiter. Die genauen Merkmale der Tätigkeit und die im Hintergrund ablaufenden psychischen Wirkmechanismen dieser Tätigkeitsmerkmale greifen Hackman und Oldham (1980) in dem Job Characteristics Model

auf. Dabei werden drei psychologische Grundbedingungen beschrieben, damit sich bei der Arbeit Zufriedenheit einstellt: Bedeutsamkeit der Tätigkeit, Verantwortungsgefühl für das Ergebnis und Bekanntheit der Qualität der Ergebnisse. Diese Grundbedingungen werden wiederum in fünf Merkmale der Aufgabe aufgeteilt:

- *Anforderungsvielfalt*: Die Aufgabe sollte viele unterschiedliche motorische, intellektuelle und soziale Fähigkeiten ansprechen.
- *Ganzheitlichkeit*: Die Aufgabe umfasst die Erstellung eines zusammenhängenden Produktes oder einer vollständigen Dienstleistung.
- *Bedeutsamkeit*: Die Auswirkungen der Aufgabe und der Beitrag zu den Zielen des Unternehmens sind bekannt.
- *Autonomie*: Die Mitarbeiter wählen die Arbeitsmittel eigenständig und legen Teilziele selbstständig fest.
- *Rückmeldung*: Die Rückmeldung erfolgt während der Tätigkeit, um selbstständig Fehlerentwicklungen zu korrigieren (ebd.).

Bei Erfüllung dieser Tätigkeitsmerkmale kann eine hohe Arbeitszufriedenheit und intrinsische Arbeitsmotivation beim Mitarbeiter sowie die Verbesserung der Qualität der Arbeitsleistung erreicht werden. Die Wirkung der genannten Merkmale ist jedoch von dem Bedürfnisgrad nach persönlicher Entfaltung der Person abhängig. Demzufolge besteht bei Personen mit einem hohen Bedürfnis an persönlicher Entfaltung ein Zusammenhang zwischen den Aufgabenmerkmalen und der Motivation. Im Gegensatz dazu ist dieser Zusammenhang bei Personen mit einem niedrigen Entfaltungsbedürfnis nicht nachweisbar (ebd.).

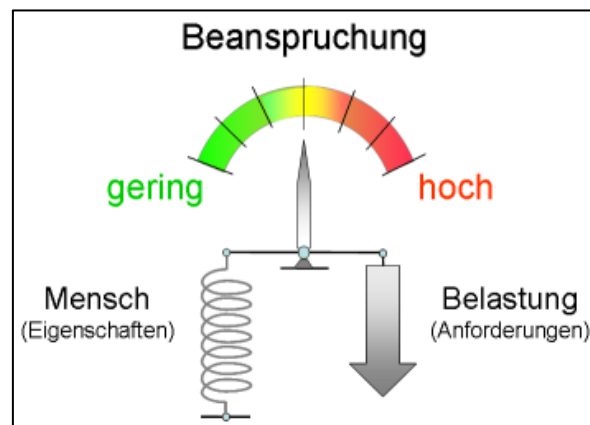
Schlussendlich wird mit dem Modell verdeutlicht, dass nicht jeder Mitarbeiter auf die gleiche Weise wie ein anderer auf die gleiche Arbeit reagiert (Nerdinger 2013). Diesbezüglich zeigt das folgende Kapitel die Zusammenhänge der Arbeitswirkungen auf, indem das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept näher beleuchtet wird.

### 2.3.3 Wirkungsmodell der Arbeit

Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept nach Rohmert und Rutenfranz (1975) ist in mehreren Disziplinen, wie in der Arbeitswissenschaft, der Arbeitsmedizin, der Ergonomie oder der Arbeitspsychologie, von besonderer Relevanz (Ulrich 2005). Kern des Konzeptes bilden die Umweltbelastungen und Arbeitsbedingungen im Zusammenhang mit der Gesundheit der Beschäftigten (Emmermacher 2008).

Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (siehe Abb. 4) geht davon aus, dass jeder Arbeitsplatz durch äußere Bedingungen gekennzeichnet ist, die für jede dort tätige Person gleich sind (Belastungen) (Richter 2010). Auf diese Belastungen reagiert jedoch jeder

Mitarbeiter, in Abhängigkeit von den individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten, unterschiedlich (Beanspruchung) (ebd.). Die Begriffe und Grundannahmen des Konzeptes wurden dabei aus der Mechanik übernommen, wobei die auf den Gegenstand einwirkenden Kräfte als Belastung bezeichnet werden und die darauffolgenden Veränderungen des Gegenstandes die Beanspruchung darstellt (Ducki 2000). Schließlich können objektiv identische Belastungen aus der Umwelt zu subjektiv unterschiedlichen Beanspruchungen und ebenso unterschiedliche Belastungen zu gleichen Beanspruchungen führen (ebd.).



**Abb. 4: Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (Laurig 1992)**

Beanspruchungen weisen demnach in Abhängigkeit von den individuellen biologischen, verhaltensbedingten oder psychisch-mentalenen Eigenschaften fördernde oder beeinträchtigende Wirkungen auf (Emmermacher 2008). Psychische Belastungen sind dabei immer im Zusammenhang mit den kognitiven und emotionalen Prozessen zu sehen, wobei die Unterscheidung zwischen Belastung und Beanspruchung nicht eindeutig vorgenommen werden kann. Zum Beispiel wird Zeitdruck laut Definition der Belastung zugeordnet und nicht der Beanspruchung, da es sich hierbei um einen Belastungsfaktor aufgrund der Arbeitsaufgabe und nicht der Person handelt. Dennoch wird Zeitdruck durch die Person wahrgenommen (Bamberg et al. 2006). Zudem beeinflussen individuelle Eigenschaften wie der Gesundheitszustand, Ausbildung, Handlungsstrategien oder Interpretationsstil die Art der Bewältigung und die Einordnung als Herausforderung oder als Stress (Semmer & Udris 2007).

In diesem Zusammenhang ist der Begriff der Fehlbeanspruchung aufzuführen, der durch Hacker und Richter (1984) für negative Beanspruchungsfolgen geprägt wurde. Demzufolge wird Fehlbeanspruchung als eine Diskrepanz zwischen den aus der Arbeitsaufgabe und den objektiven Ausführungsbedingungen resultierenden Anforderungen einerseits und den individuellen Leistungsvoraussetzungen und deren Inanspruchnahme andererseits definiert (ebd.). Berufliche Belastung kann somit zu Fehlbeanspruchung und negativen Beanspruchungsfolgen wie Stress führen. Wobei Stress nicht ausschließlich negative, sondern ebenfalls positive Folgen, verursachen kann (Kauffeld & Hoppe 2011).

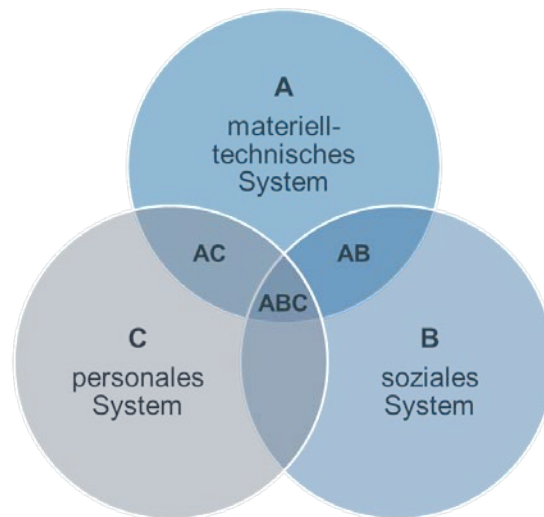
Selye (1974) prägte in diesem Zusammenhang den Begriff des „Eustress“, welcher für den positiven Stress steht. Im Gegensatz zum Distress, dem negativen Stress, wirkt Eustress anregend und motivierend. Ausschlaggebend für das Erleben von Eustress ist die positive und nicht bedrohliche Wahrnehmung des Stressors als Herausforderung, wie bspw. eine in Aussicht gestellte Beförderung. Der Körper ist folglich in erhöhter Aktivbereitschaft. Dennoch fördert diese Art von Stress Menschen zu höheren Leistungen. Das heißt Stress kann ebenso eine Quelle von Stolz und dem Erleben von Selbstbewusstsein sein (Semmer & Udris 2007). Demnach sollten alle Faktoren identifiziert werden, welche die Mitarbeiter sowohl positiv als auch negativ beanspruchen. Folglich wird eine beanspruchungsoptimale Arbeitsgestaltung ermöglicht.

Zur Unterstützung der Einordnung zeigt die folgende Tabelle 5 die sechs Dimensionen der Belastung auf und verdeutlicht diese anhand von Beispielen. Dementsprechend zählen die sechs Dimensionen Herkunft, Qualität, Beeinflussungsmöglichkeit, Vorhersehbarkeit, zeitliche Struktur und die Art der Auswirkung zu den Belastungen. Somit können Belastungen beispielsweise personen- oder umgebungsbedingt sowie physisch oder psychisch auftreten (Schönpflug 1987).

**Tab. 5: Sechs Dimensionen der Belastung (nach Schönpflug 1987)**

Dimensionen der Belastung	Beispiel
Herkunft	personen- oder umgebungsbedingt
Qualität	leichte oder starke Belastung
Beeinflussungsmöglichkeit	nicht beeinflussbare gesundheitliche Einschränkungen oder selbst verursachter Konflikt mit Kollegen
Vorhersehbarkeit	unvorhersehbare Störungen wie Maschinenausfälle oder vorhersehbare Belastung durch ein zusätzliches Projekt
Zeitliche Struktur	permanent oder selten
Art der Auswirkung	physisch oder psychisch

Den dargestellten Belastungsdimensionen nach Schönpflug (1987) ist das Rahmenkonzept von McGrath (1981) hinzuzufügen. Das Rahmenkonzept, wie in Abbildung 5 dargestellt, geht dabei von drei Belastungsbereichen aus, dem materiell-technischen, dem sozialen und dem persönlichen Bereich. Hierbei können in allen drei Bereichen sowie in den Überschneidungsbereichen Belastungen auftreten. Zum Beispiel ist Lärm dem Bereich A, soziale Konflikte dem Bereich B und Überängstlichkeit der Person dem Bereich C zuzuordnen. Zudem wäre auch die soziale Isolation eines Beschäftigten im Bereich AB, Rollenkonflikte im Bereich BC, Arbeitsaufgaben mit individuellen Schwierigkeiten im Bereich AC und schlechtes Betriebsklima im Bereich ABC anzusiedeln.



**Abb. 5: Bereiche von Belastungsfaktoren bei der Arbeit (nach McGrath 1981)**

Ergänzend dazu gibt die Tabelle 6 einen Überblick über beispielhafte Belastungen in der Arbeitswelt sowie Hinweise, wie diese in den drei Bereichen sowie in den Schnittstellen zugeordnet werden können (McGrath 1981). Insgesamt wird hervorgehoben, je mehr Belastungen eine Tätigkeit aufweist, desto schwieriger ist es, diesen mit den persönlichen Ressourcen entgegenzuwirken (ebd.). Das heißt, treten gleichzeitig Umgebungseinflüsse wie Lärm oder Hitze, Informationsmangel, Konkurrenzverhalten und Termindruck auf, sind demzufolge alle 3 Belastungsbereiche (A, B und C) betroffen und der Mitarbeiter muss erhebliche persönliche Ressourcen aktivieren, um nicht überbeansprucht zu werden.

Weiterhin wird das Belastungs-Beanspruchungskonzept nach Rohmert und Rutenfranz (1975) durch Schlick et al. (2010) begrifflich weiter differenziert. Demnach resultiert die Belastung aus verschiedenartigen Teilbelastungen, die wiederum in unterschiedlicher Höhe und Dauer wirksam werden. Die sogenannten Belastungsabschnitte treten auf, sobald Belastungshöhe oder -typ konstant vorhanden sind (Laurig 1992). Belastungstypen treten dabei entweder situationsbezogen oder aufgabenbezogen auf. Aufgrund der vereinfachten Darstellung menschlicher Tätigkeit im Belastungs-Beanspruchungs-Konzept eignet es sich lediglich zur Analyse von deterministischen Arbeitssystemen. Grund dafür liegt darin, dass das Tätigwerden als solches nicht in der Betrachtung berücksichtigt wird und demnach die unterschiedlichen Vorgehensweisen zur Erfüllung einer Aufgabe vernachlässigt werden. Schließlich ist die Beanspruchung zum einen davon abhängig wie die Handlung ausgeführt wird und zum anderen von der psychologischen Resistenz der Arbeitsperson (ebd.).



Tab. 6: Belastungsbereiche (nach McGrath 1981)

Belastungsbereiche	Belastungen
Materiell-technisches System (A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Umgebungseinflüsse wie Lärm, Hitze, toxische Stoffe;</li> <li>– Dichte, Zusammengedrängtheit;</li> <li>– Störung durch Maschinenausfall, IT-Ausfall;</li> <li>– ergonomische Belastungen (z. B. schwere Lasten, ungünstige Körperhaltung)</li> </ul>
Materiell-technisches und soziales System (AB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– strukturelle Veränderungen im Unternehmen;</li> <li>– Informationsmangel, -überlastung;</li> <li>– Isolation (räumlich/sozial);</li> <li>– Wechsel der Umgebung, der Kollegen oder der Aufgaben</li> </ul>
Soziales System (B)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– soziale Konflikte (mit Kollegen oder Vorgesetzten);</li> <li>– Mobbing;</li> <li>– Konkurrenzverhalten unter den Mitarbeitern;</li> <li>– fehlende Unterstützung;</li> <li>– fehlende Anerkennung</li> </ul>
Soziales und personenbezogenes System (BC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rollenkonflikte;</li> <li>– Termindruck</li> </ul>
Personenbezogenes System (C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Angst vor Aufgaben, Misserfolg, Tadel oder Sanktionen;</li> <li>– ineffiziente Handlungsstile;</li> <li>– mangelnde Berufserfahrung;</li> <li>– familiärer Konflikt</li> </ul>
Personenbezogenes und materiell-technisches System (CA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zu hohe quantitative Anforderungen;</li> <li>– Überempfindlichkeit gegenüber Lärm in der Umgebung</li> </ul>
Materiell-technisches, soziales und personenbezogenes System (ABC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Betriebsklima;</li> <li>– fehlende Passung von Mitarbeiter und beruflicher Tätigkeit</li> </ul>

Zusammenfassend liefert das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept einen theoretischen Ansatz, mit dem menschenbezogene Phänomene eines Arbeitssystems in einen einfachen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang gebracht werden. Mit der Erweiterung dessen in den arbeitsbezogenen Kontext, werden relevante Erkenntnisse geliefert, die bei der Arbeitsgestaltung Berücksichtigung finden. Bevor jedoch diese Erkenntnisse bei der Gestaltung eines Arbeitsplatzes umgesetzt werden können, muss eine eingehende Bestandsaufnahme zum Stand der Arbeitsbedingungen mit belastungsanalytischen Verfahren erfolgen. Eine Auswahl dieser Verfahren wird im folgenden Unterkapitel vorgestellt.

### 2.3.4 Verfahren der Belastungsanalyse und -bewertung

Die Grundlage zur Notwendigkeit von belastungsanalytischen Verfahren bildet die Tatsache, dass Arbeit eine positive oder negative Wirkung auf den Menschen ausüben kann. Im Fall eines nicht optimal gestalteten Arbeitsplatzes sind körperliche und psychische Beschwerden,

Leistungseinbußen und Erkrankungen zu erwarten. Aus diesem Grund sollte Arbeit dem Menschen entsprechend gestaltet sein (Kauffeld & Martens 2014). Die dafür erforderlichen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sind in rechtlichen Bestimmungen oder Normen festgelegt, wie z. B. §75 Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG 1972), DIN EN ISO 10075-1 (2018), DIN EN ISO 9241-1 (2002) oder § 3 und 4 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG 1996). Zudem bilden tarifliche Vereinbarungen für bestimmte Berufsgruppen und Branchen sowie innerbetriebliche Regelungen eine weitere Grundlage (ebd.).

Hinzu kommt, dass sowohl das Arbeitsschutzgesetz als auch die 9. Verordnung des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes (ProdSV 1993) schnell einsetzbare Verfahren zur ergonomischen Gefährdungs- und Risikoanalyse fordern, um eine flächendeckende Analyse zu ermöglichen. Ergänzend dazu ist der Maschinenrichtlinie (2006) Anhang I Ziffer 1.1.6 zu entnehmen, dass die Ermüdung sowie physische und psychische Fehlbeanspruchung der Mitarbeiter auf ein Mindestmaß unter Anwendung ergonomischer Prinzipien zu reduzieren sind. Dementsprechend decken Gefährdungs- und Risikoanalysen ergonomischen Handlungsbedarf bzgl. der gesetzlichen Vorgaben auf und liefern aufgrund der Analyseergebnisse Hinweise bzgl. der Arbeitsgestaltung (Schlick et al. 2010).

Auf Grundlage unterschiedlicher Verfahren, wie z. B. der Leitmerkmalmethode Heben, Halten, Tragen der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz (BAuA), wurden in den vergangenen Jahren eine Vielzahl an praxisorientierten Belastungsbewertungsverfahren entwickelt (Steinberg und Windberg 1997). Diese Belastungsbewertungsverfahren, auch Screening-Verfahren genannt, wurden für den Einsatz in der Produktionsergonomie entwickelt. Praxisorientierte Verfahren, wie die Leitmerkmalmethode der BAuA, nutzen dabei das von der EU-Maschinenrichtlinie vorgeschlagene Dreizonenmodell, welches einem Ampelschema mit den Signalfarben grün, gelb und rot entspricht. Weiterhin ermöglichen diese Verfahren eine summarische Bewertung der Teilbelastungsarten Körperhaltung, Aktionskräfte und Lastenhandhabung (Schlick et al. 2010).

Insbesondere in der Automobilindustrie finden diese Screening-Verfahren Anwendung und können auf mitarbeiterorientierte oder arbeitsplatzorientierte Koordinaten bezogen sein. Mit dem Ziel belastende Arbeitssituationen zu dokumentieren, zu bewerten und eine Problemverfolgung einzuleiten, werden ebenso die Regeln zum Arbeitsschutz befolgt. Im Rahmen der Belastungsbewertung werden Belastungspunkte für ergonomisch ungünstige Belastungssituationen vergeben, wobei sich die Summe der Belastungspunkte mit zunehmender Belastungsdauer und -höhe steigert. Einige Verfahren stehen hierbei als Papier- und Bleistiftmethode sowie als rechnergestützte Variante zur Verfügung (ebd.).

Bei den Bewertungsverfahren wird grundsätzlich nach Belastungsniveau, das im Ergebnis bewertet wird, und den Belastungsarten, die beurteilbar sind, unterschieden. Zu den Belastungsarten zählen die Arten manueller Lastenhandhabung, aufzubringende

Aktionskräfte, Körperhaltung und die Bewertung des Finger-Hand-Arm-Systems, welche aus repetitiven Tätigkeiten mit hohen Wiederholffrequenzen resultieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass je feiner eine Beurteilung wird, desto komplexer ist das anzuwendende Verfahren und desto umfangreicher ist die benötigte Schulung für die Anwender (Kugler et al. 2010). Einen Überblick über die entsprechenden Bewertungsverfahren, gegliedert nach Beurteilungsniveau und Belastungsarten, liefert die Tabelle 7. Im weiteren Verlauf werden nun die einzelnen Verfahren näher erläutert.

**Tab. 7: Überblick von Verfahren zur Bewertung physischer Belastung (nach Kugler et al. 2010)**

Beurteilungsniveau		Belastungsarten					
		Manuelle Lastenhandhabung			Körperhaltung	Aktionskräfte	Repetitive Tätigkeiten
		HHT <sup>6</sup>	ZS <sup>7</sup>	kombiniert			
Grob-Screening-Verfahren	BGI 504-46 / DGUV 208-033	(x)	(x)		(x)	(x)	(x)
	AWS light	(x)	(x)		(x)	(x)	(x)
Screening-Verfahren	LMM-HHT	x					
	LMM-Z/S		x				
	LMM-MAP						x
	RULA				x		(x)
	OCRA Checkliste						x
	AAWS-upperlimbs						x
	Multiple-Lasten-Tool	x	x	x			
	AAWS	x	x		x	x	
	IAD-BkB	x	x		x	x	x
	EAWS / AAWS	x	x		x	x	x
Detail- / Expertenverfahren	Kraftbewertungsverfahren					x	
	NIOSH-Verfahren	x					
	OCRA-Verfahren						x
Messverfahren	CUELA und andere	Kontinuierliche Messung von biomechanischen Belastungsgrößen und / oder physiologischen Messgrößen					

Der Einsatz von Grob-Screening-Verfahren wird empfohlen, wenn die Bewertung eine orientierende Gefährdungsbeurteilung liefert, um einen kurzfristigen Überblick über alle

<sup>6</sup> HHT: Heben, Halten und Tragen

<sup>7</sup> ZS: Ziehen und Schieben

Arbeitsplätze zu erlangen, von denen ein Risiko für den Mitarbeiter ausgehen kann. Im Sinne einer Vorselektion können anschließend Detail- oder Expertenverfahren angewendet werden. Ein Beispiel für dieses Verfahren stellt die Checkliste dar, die in der Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G46 (DGUV 2009) und in der DGUV Information 208-033 (DGUV 2016) enthalten ist. Mit den darin aufgeführten Richtwerten der einzelnen Belastungsarten können Arbeitsplätze mit einer erhöhten Gefährdung des Muskel-Skelett-Systems identifiziert werden (Hartmann et al. 2007). Des Weiteren zählt das AWS light (Assembly Worksheet light) zu den Grob-Screening-Verfahren, das mit unterschiedlichen Einstufungsskalen anstatt mit Richtwerten bewertet (Kugler et al. 2010).

Im Vergleich zu den Grob-Screening-Verfahren ermöglichen Screening-Verfahren eine detailliertere Analyse der Belastungssituation und somit eine differenzierte Risikobewertung. Dabei wird eine Vielzahl an Belastungsmerkmalen analysiert, die schließlich einen Rückschluss auf die Potenziale der Arbeitsgestaltung zulassen. Die Bewertung mit Screening-Verfahren liefert im Ergebnis Punktwerte, die einem Ampelschema entsprechen (DIN EN 614-1 2006). Unterschieden werden grundsätzlich Verfahren zur Bewertung einzelner und mehrerer Belastungsarten (Kombinationsverfahren) (Hartmann et al. 2008). Die Leitmerkmalmethoden der BAuA zählen beispielsweise zu den Screening-Verfahren für die manuelle Lastenhandhabung (Steinberg et al. 2008).

Darüber hinaus findet eine Reihe von Detailverfahren ihre Anwendung, die aufgrund ihrer Komplexität auch als Expertenverfahren bezeichnet werden. Bei diesen Verfahren werden ebenfalls Punktwerte als Ergebnis ausgewiesen, die sich den Ampelfarben zuordnen lassen. Die Farbe Grün meint dabei, dass am Arbeitsplatz eine geringe Belastung vorliegt, eine Gesundheitsgefährdung demnach nicht zu erwarten ist und dass keine Gestaltungsmaßnahmen erforderlich sind. Gelb wiederum signalisiert eine deutlich höhere Belastung der Tätigkeit, die bei längerer Ausführung zu Gesundheitsschäden führen kann. Diesbezüglich werden Gestaltungsmaßnahmen empfohlen. Rot steht hingegen für eine zu hohe Belastung, die mit erforderlichen Gestaltungsmaßnahmen zwingend verringert werden muss. Dennoch existieren in der Literatur keine festgelegten Grenzwerte, deren Überschreitung in jedem Fall und unmittelbar zur Schädigung des Mitarbeiters führt. Die Beurteilung ist vielmehr von individuellen Arbeitstechniken und Leistungsvoraussetzungen des Mitarbeiters abhängig. Aufgrund dessen stellen die Ampelfarben der Beurteilung eher eine Orientierung dar, wobei der Farbverlauf fließend zu verstehen ist (Kugler et al. 2010).

Angesichts des gleichzeitigen Vorkommens von verschiedenen Belastungsarten bei Montagetätigkeiten kommen in der Praxis häufig Kombinationsverfahren zum Einsatz. Kennzeichnend für Kombinationsverfahren sind die summarische Bewertung von Körperhaltung und -bewegungen mit geringem Kraftaufwand und Lastgewicht, höhere

Kraftaufwände und das Handhaben von Lasten. Diese Verfahren wurden insbesondere vor dem Hintergrund entwickelt, um getaktete Tätigkeiten zu bewerten. Aus diesem Grund finden diese Verfahren in der Automobilindustrie ihre Anwendung, wo zum Großteil in kurzen Taktzeiten gearbeitet wird. Ein Detailverfahren, das häufig in der Automobil-, Zulieferer- und Elektrobranche zum Einsatz kommt, stellt das EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet) dar, welches zu den Kombinationsverfahren zählt (ebd.). Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein vom Institut für Arbeitswissenschaft Darmstadt (IAD) in Zusammenarbeit mit der Associazione MTM Italia (AMI) entwickeltes Bewertungsverfahren zur Beurteilung körperlicher Belastungen, das häufig zur präventiven und korrekativen ergonomischen Gestaltung von Arbeitssystemen verwendet wird (Lavatelli et al. 2012). Die Bewertung mit EAWS erfolgt dabei in vier Sektionen, die sich in Körperhaltung, Aktionskräfte, manuelle Lastenhandhabung und obere Extremitäten unterteilen (siehe Anhang A, S. 157).

In Anbetracht der Limitation von Beobachtungsmethodik bei den Detailverfahren, liefern Messverfahren im Vergleich biomechanische Belastungsgrößen kombiniert mit physiologischen Größen, wie Herzschlagfrequenz (EKG) oder Muskelaktivität (EMG). Dies ermöglicht allerdings keine direkte Bewertung der Belastungssituation, aber mithilfe des Datenmaterials kann diese anschließend erfolgen. CUELA (Computer unterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) stellt eines der bekanntesten Messverfahren dar, dessen Anwendung mit einem hohen zeitlichen Aufwand und erforderlichem Fachwissen verbunden ist (Ellegast et al. 2009).

Schlussendlich bildet das Bewertungsverfahren *EAWS* in der Automobil-, Zulieferer- und Elektrobranche die am häufigsten verwendete Methode zur Arbeitsplatzbewertung. Grund dafür liegt in der detaillierten Analyse der dort am häufigsten vorkommenden Körperhaltungen. Im folgenden Verlauf wird ausschließlich *EAWS* als Bewertungsmethode berücksichtigt.

## 2.4 Zwischenfazit und Ableitung der Forschungsfragen

Wie eingangs beschrieben hat die zunehmende Alterung der erwerbstätigen Bevölkerung eine individuelle Einschränkung der physischen Leistungsfähigkeit zur Folge. Insbesondere die motorischen Fähigkeiten, wie Beweglichkeit, Ausdauer, Koordination und Muskel-Skelett-Kraft nehmen im Laufe der Erwerbstätigkeit ab und führen folglich zu einer signifikanten Veränderung der physischen Leistungsfähigkeit bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten (Maintz 2003). Insgesamt stellen Belastungen vorwiegend körperlicher Arbeit und ihre Auswirkungen weiterhin ein großes Problemfeld für produzierende Betriebe sowie für die Mitarbeiter selbst dar (Lawaczeck 2001). Vor diesem Hintergrund spielt die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung eine entscheidende Rolle. Angesichts der dargestellten Verfahren zur Beurteilung körperlicher Belastungen ist es möglich, dieser Verpflichtung flächendeckend nachzukommen. Im Anschluss an diese Beurteilung erfolgt idealerweise die ergonomische

Gestaltung, um risikobehaftete Arbeitsplätze ergonomisch zu optimieren, sodass keine Gesundheitsschäden für den Mitarbeiter zu erwarten sind.

Ein Handlungsansatz zur ergonomischen Gestaltung von risikobehafteten Arbeitsplätzen besteht darin, das Arbeitssystem so umzugestalten, dass durch den Einsatz robotergestützter kooperativer Assistenzsysteme risikobehaftete Arbeitstätigkeiten übernommen werden. Im Sinne einer Mensch-Roboter-Kooperation können hierbei die Stärken von Mensch und Roboter kombiniert und gewinnbringend genutzt werden. Dennoch ist zu beachten, dass sich der Mensch im Vergleich zum Roboter aufgrund seiner variablen Disposition und Anpassungsfähigkeit nicht deterministisch verhält. In Anbetracht der Erkenntnisse aus dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept nach Rohmert und Rutenfranz (1975), sollte die mentale Beanspruchung des Mitarbeiters durch die variable Anpassung des robotergestützten Assistenzsystems so gestaltet sein, dass Über- und Unterforderungszustände vermieden werden. Im Sinne einer dynamischen Funktionsteilung zwischen Mensch und Roboter wird so der optimale mentale Beanspruchungsgrad erreicht (Schlick et al. 2010).

Bevor jedoch der kooperierende Roboter in den Arbeitsprozess des Mitarbeiters integriert wird, spielt zunächst das Auswahlverfahren von potenziellen MRK-Arbeitsplätzen eine entscheidende Rolle. Diesbezüglich liegt die Herausforderung darin, valide Kriterien zum Einsatz der MRK zur ergonomischen Verbesserung des Arbeitsplatzes zu identifizieren und eine systematische Vorgehensweise zur Auswahl zu prüfen. Der Anspruch ist, Einsatzkriterien zu identifizieren, welche die Vergleichbarkeit von Arbeitsplätzen bzgl. des MRK-Einsatzes bei risikobehafteten Tätigkeiten ermöglichen. Dabei ist von besonderer Relevanz, die Mitarbeitersicht auf den Auswahl- und den anschließenden Einführungsprozess der neuen Technologie zu berücksichtigen und einen mitarbeiterorientierten Systemgestaltungsansatz zu verfolgen.

Resultierend aus den Erkenntnissen der Literaturrecherche spielt, bevor der Roboter in den Arbeitsprozess des Mitarbeiters integriert wird, das Auswahlverfahren von potenziellen MRK-Arbeitsplätzen eine entscheidende Rolle. Hierbei liegt die Anforderung darin, Kriterien zum Einsatz der MRK zur ergonomischen Verbesserung des Arbeitsplatzes zu identifizieren und eine systematische Vorgehensweise zur Auswahl zu prüfen. Dabei ist von besonderer Relevanz, die Mitarbeitersicht auf den Auswahl- und den anschließenden Einführungsprozess der neuen Technologie zu berücksichtigen und einen mitarbeiterorientierten Systemgestaltungsansatz zu verfolgen.

Mit Bezug auf den Auswahlprozess von potenziellen MRK-Arbeitsplätzen und den dafür benötigten Kriterien für einen Ergonomie optimierenden Einsatz, untersucht das vorliegende Forschungsvorhaben die Expertensicht für die folgenden Forschungsfragen:

1. Welche Entscheidungskriterien weisen auf einen Ergonomie optimierenden MRK-Einsatz hin?

2. Welche Arbeitsplätze weisen das größte ergonomische Verbesserungspotenzial durch den Einsatz einer MRK auf?

Weiterhin wird die Mitarbeitersicht auf die ergonomische Verbesserung der Arbeitsplatzbedingungen durch die MRK sowie auf den Auswahl- und Einführungsprozess der neuen Technologie mit den folgenden Fragen untersucht:

3. Wie wird der ergonomische Nutzen durch die Mitarbeiter bewertet, die mit dem Roboter kooperieren?
4. Wie verläuft die Aneignung des Roboters durch die Mitarbeiter vor dem Hintergrund eines mitarbeiterorientierten Einführungsprozesses?
5. Wie bewerten die Mitarbeiter die Zusammenarbeit mit Roboter insgesamt?

Aufgrund der unterschiedlichen Zeitpunkte im Prozess, auf die sich die fünf Forschungsfragen beziehen, werden in der vorliegenden Arbeit zwei voneinander unabhängige Studienformate mit den dazugehörigen Forschungsdesigns konzipiert. Demzufolge bilden die ersten zwei Forschungsfragen mit Bezug zum Auswahlprozess die Studie 1. Die Studie 2 beinhaltet weiterhin die Fragen drei bis fünf, die den Zeitpunkt nachdem die Auswahl auf einen MRK-Arbeitsplatz getroffen wurde, fokussieren und hierbei den Einführungsprozess sowie den Nutzen der MRK untersuchen. Die dafür ausgewählten Methoden der empirischen Sozialforschung werden im folgenden Kapitel 3 dargestellt.

### 3 Entwicklung des Forschungsdesigns

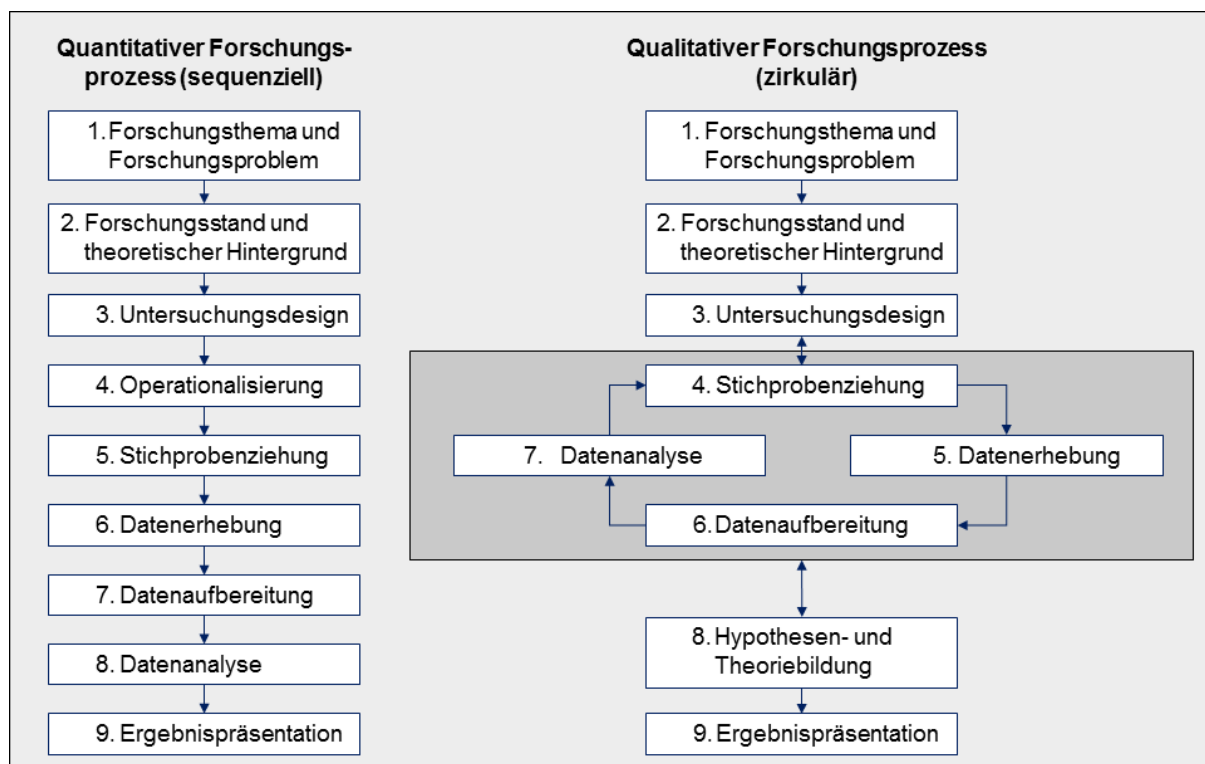
In der empirischen Sozialforschung steht die Untersuchung des menschlichen Verhaltens und weiterer sozialer Phänomene unter Anwendung von unterschiedlichen Methoden, Techniken und Instrumenten im Mittelpunkt (Häder 2015). Da soziale Sachverhalte die wahrnehmbare Erfahrungswirklichkeit darstellen, sind die Sozialwissenschaften den empirischen und demnach Erfahrungswissenschaften zugehörig. Hierbei setzt sich der Prozess aus systematischer Sammlung, Aufbereitung und Analyse von empirischen Daten zusammen, welche die Informationen der Erfahrungswirklichkeit darstellen (Bortz & Döring 2006). Dem hinzufügend fasst Früh (2011) die empirische Forschung wie folgt zusammen: „Empirische Wissenschaft ist die systematische, intersubjektiv nachprüfbar Sammlungs-, Kontrolle und Kritik von Erfahrung“ (Früh 2011, S. 19). Dabei werden quantitative und qualitative Forschungsansätzen innerhalb der empirischen Sozialforschung unterschieden. Diese weisen jeweils methodische Besonderheiten auf, welche im Folgenden kurz dargestellt werden.

Quantitative Sozialforschung zählt zur wissenschaftstheoretischen Tradition der Naturwissenschaften. Kennzeichnend für diesen Forschungsansatz kommen strukturierte Methoden der Datenerhebung, wie bspw. standardisierte Fragebögen, zum Einsatz. Die daraus gewonnenen quantitativen bzw. numerischen Daten werden anschließend mit statistischen Datenanalysemethoden ausgewertet. Im Gegensatz dazu steht die qualitative Sozialforschung in der Tradition der Geisteswissenschaften. In diesem iterativ strukturierten Forschungsprozess finden qualitative bzw. unstrukturierte Methoden der Datenerhebung, wie bspw. problemzentrierte Interviews, ihre Anwendung. Im Resultat bilden qualitative Daten, bspw. als Textmaterial und somit nicht numerisch, die Datengrundlage, welche folglich einer interpretativen Datenanalyse unterzogen wird. Insgesamt folgt der qualitative Forschungsansatz einer theoriendeckenden Forschungslogik, wobei das induktive, datengestützte Vorgehen von besonderer Relevanz ist (Bortz & Döring 2006).

Wie der qualitative Forschungsprozess nach Bortz und Döring (2006) zeigt (siehe Abb. 6), ist zu Beginn jeder Untersuchung das Forschungsproblem festzulegen, um anschließend den theoretischen Hintergrund zur Problemstellung zu recherchieren und das Untersuchungsdesign festzulegen. Infolgedessen werden einige wenige, offene Forschungsfragen formuliert, die einer reflektierten theoretischen Offenheit unterliegen. Bei diesem Prozess geht es weniger darum, im Vorfeld ein theoretisches Modell zu entwickeln und daraus die zu testenden Hypothesen abzuleiten, wie es die quantitative Forschung vorsieht. Ebenso verzichtet die qualitative Forschung auf die Operationalisierung (siehe Punkt 4 des quantitativen Forschungsprozesses in Abb. 6) einzelner Variablen, um nicht im Vorfeld der Datenerhebung alle interessierenden Merkmale festzulegen. Mehr noch kommen bei der nicht-strukturierten Datenerhebung in qualitativen Studien auch nicht-strukturierte Erhebungsinstrumente zum Einsatz, welche verbales, visuelles und/oder audiovisuelles



Rohmaterial liefern. Dieses Vorgehen fördert zudem das Aufdecken nicht erwarteter Aspekte. In Anbetracht der umfassenden Materialsammlung eines bewusst ausgewählten Einzelfalls beschränkt sich die qualitative Forschung zumeist auf kleine Stichproben.



**Abb. 6: Vergleich quantitativer vs. qualitativer Forschungsprozess (nach Bortz & Döring 2006)**

Gekennzeichnet durch ein zirkuläres Vorgehen bei qualitativen Studien, zeigt die Abbildung 6, dass die generierten Daten unmittelbar nach der Erhebung aufbereitet und analysiert werden. Die gewonnenen Zwischenergebnisse fließen somit in die weitere Datenerhebung ein und ermöglichen eine Ergänzung des Untersuchungsdesigns um weitere Aspekte, die der Forscher ursprünglich nicht vorgesehen hatte. Dieses Vorgehen wird so lange beibehalten, bis sich eine theoretische Sättigung einstellt, und das gewonnene Material keine neuen Erkenntnisse liefert. Im Rahmen der abschließenden Phase der Datenaufbereitung findet die Verdichtung des qualitativen Rohmaterials zu neuen Hypothesen oder Theorien statt. Schließlich bildet die Ergebnispräsentation unter Veranschaulichung der Aussagekraft der Studie sowie der Konsequenzen für Forschung und Praxis den Abschluss des Forschungsprozesses, der in der Abbildung 6 dem quantitativen Forschungsprozess gegenübergestellt wird (Bortz & Döring 2006).

Um die genannten Forschungsfragen zu beantworten, wurden ausschließlich Befragungen für das Studiendesign ausgewählt. „Befragung bedeutet Kommunikation zwischen zwei oder mehreren Personen. Durch verbale Stimuli (Fragen) werden verbale Reaktionen (Antworten) hervorgerufen: Dies geschieht in konkreten sozialen Situationen und unterliegt gegenseitigen Erwartungen. Antworten beziehen sich auf erlebte und erinnerte soziale Ereignisse, stellen

Meinungen und Bewertungen dar (Atteslander 2010, S. 109).“ Beobachtungen kamen an dieser Stelle nicht in Frage, da das Forschungsinteresse auf den verbalen Kontakt in Form von Meinungsäußerungen und Erfahrungsberichten angewiesen ist. Ebenso stellt das Experiment kein geeignetes Instrument im Hinblick auf die Forschungsfragen dar, weil sich der Schwerpunkt auf nicht zu kontrollierende Bedingungen bezieht.

Konkret fällt die Wahl auf teilstrukturierte Befragungstypen der mündlichen Art des interpretativen Forschungsansatzes. Der deutlichste Unterschied zu wenig strukturierten Befragungen im Vergleich zu teilstrukturierten stellt die Verwendung eines Leitfadens dar, der bezogen auf das Forschungsinteresse Leitfragen enthält, die im geeigneten Moment der Befragung zum Einsatz kommen. Dazu zählen Leitfadengespräche, Gruppenbefragungen und Expertenbefragungen. Das *Leitfadengespräch* dient der allgemeinen Hypothesenentwicklung und der Systematisierung vorwissenschaftlichen Verständnisses (Schnell et al. 2011; Scheuch 1973). Zur Systematisierung vorwissenschaftlichen Verständnisses sollte das Leitfadengespräch festgehalten werden. Dafür kommen unterschiedliche Vorgehensweisen in Betracht, die von Notizen des Interviewers bis hin zur Tonbandaufnahme reichen. Eine weitere Form des Leitfadengesprächs stellt das *problemzentrierte Interview* nach Witzel (1982) dar, das durch die Kriterien Gegenstandsorientierung, Prozessorientierung und Problemzentrierung gekennzeichnet ist. Durch das zentrale Kriterium der Problemzentrierung wird gewährleistet, „dass der Forscher den Untersuchungsgegenstand in aktiver Form als üblich explorieren kann“ (ebd., S. 93).

Die Gruppenbefragung liegt vor, wenn beispielsweise ein Fragebogen in einer Gruppensituation unter Anwesenheit des Forschers beantwortet wird. Des Weiteren können leitfadengestützte *Expertenbefragungen* sowohl mündlich als auch schriftlich durchgeführt werden. Flick (2000) sieht in diesem Zusammenhang das Experteninterview als eine Ausführung des Leitfadengesprächs, welcher als Abkürzungsstrategie für Befragungen mit unter Zeitdruck stehenden Interviewpartnern herangezogen wird. Mieig und Brunner (2004) ergänzen zudem, dass das Verfahren ebenso für die Befragung anwendbar ist, um bei geeigneten Personen zeiteffektiv das auf deren Erfahrungen basierende Expertenwissen zu erfragen. Das Expertenwissen kann sich dabei lediglich auf die Informationsgewinnung oder auf die Rekonstruktion subjektiver Deutungen und Interpretationen konzentrieren. Ungeachtet dessen treten in der methodischen Praxis häufig Überschneidungen der beiden Schwerpunkte in der Expertenbefragung auf (Bogner et al. 2014).

### 3.1 Forschungsdesign der Studie 1

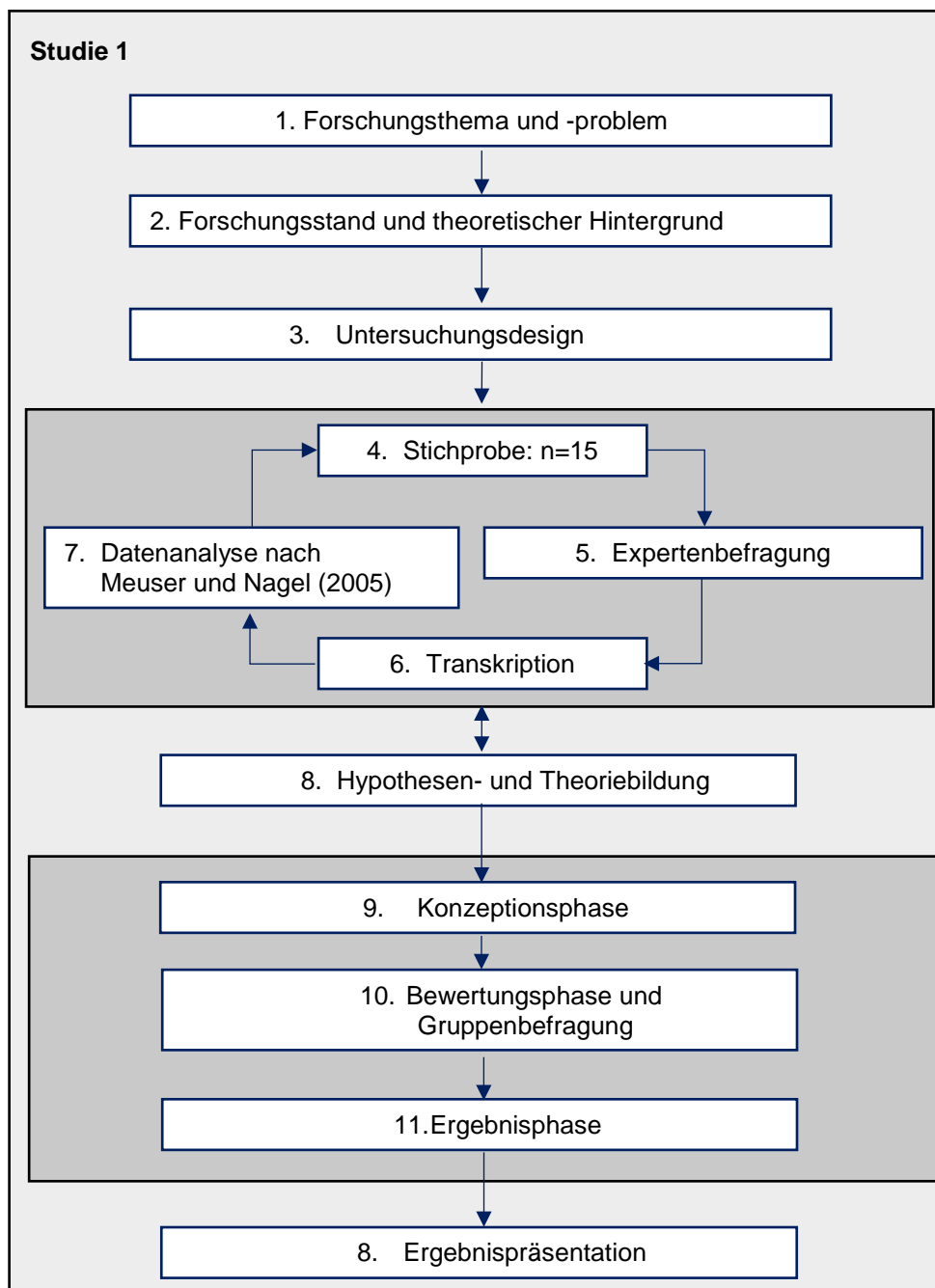
Um die genannten Forschungsfragen bezogen auf den Auswahlprozess von potenziellen MRK-Arbeitsplätzen und den dafür benötigten Kriterien für einen Ergonomie optimierenden Einsatz zu beantworten, wurden Expertenbefragung und Gruppenbefragung für das

Forschungsdesign der Studie 1 ausgewählt. Der gesamte Forschungsablauf der Studie 1 ist der folgenden Abbildung 7 zu entnehmen.

Meuser und Nagel (2009) zufolge, sind Experten Personen, die Verantwortung für das im Fokus stehende, funktionsbezogene Handeln übernehmen. Weiterhin verfügen sie über einen privilegierten Zugang zu Informationen über bestimmte Personengruppen, Soziallagen, Entscheidungsprozesse sowie Politikfeldern. In der vorliegenden Untersuchung liegt der Fokus des Erkenntnisinteresses ebenfalls auf dem Betriebswissen der befragten Experten, die die betrieblichen Prozesse und Maßnahmen der Arbeitsgestaltung unter Anwendung der Mensch-Roboter-Kooperation begleiten. Mithilfe der Experteninterviews wird infolgedessen eine Rekonstruktion der strukturellen betrieblichen Rahmenbedingungen und zugleich des Betriebswissens mit der Ableitung praktikabler Maßnahmen für den Einsatz der MRK angestrebt.

Des Weiteren unterliegt die Auswahl eines Arbeitsplatzes für den potenziellen Einsatz einer MRK einer ausführlichen Analyse des Ist-Zustandes der Fertigungs- sowie Prozessschritte. Unterschiedliche Faktoren wie zum Beispiel Wirtschaftlichkeit oder Ergonomie spielen dabei eine wichtige Rolle (Dietz et al. 2015). Insbesondere im Bereich der Produktionsergonomie liegen definierte Entscheidungskriterien und eine systematische Vorgehensweise zur Bewertung von potenziellen MRK-Arbeitsplätzen jedoch nicht vor. Demnach ist es erforderlich diese Kriterien zunächst zu identifizieren und unter Berücksichtigung der MRK-Relevanz zu bewerten. Die Generierung dieser Entscheidungskriterien erfolgt auf der Grundlage der Recherche theoretischer Hintergründe. Ebenfalls fließen hierbei die Erkenntnisse und Meinungen der Experten aus der Expertenbefragung ein.

Die Festlegung, welche Kriterien den MRK-Einsatz aufzeigen und welche von geringerer Relevanz für diese Thematik sind, führt schließlich zu einem Entscheidungsproblem. Hierfür stellt das Instrument der Nutzwertanalyse eine systematische Entscheidungshilfe der Alternativenauswahl anhand der Quantifizierung qualitativer und quantitativer Kriterien dar. Diese Methode ermöglicht die Zuordnung von Zahlenwerten (Nutzwerten) zu nicht monetären Kriterien und damit die Vergleichbarkeit dieser Kriterien (Koppelman 2004). Der Ablauf einer Nutzwertanalyse gliedert sich dabei in drei Phasen: Konzeptions-, Bewertungs- und Ergebnisphase (Kühnapfel 2014). Im Rahmen der Konzeptionsphase werden die zu bewertenden Entscheidungsalternativen, d. h. ergonomisch kritischen Tätigkeiten, mittels der Arbeitsplatzanalyse einer Montagelinie identifiziert. In der Bewertungsphase erfolgt die Gewichtung der zuvor festgelegten Entscheidungskriterien, die im Folgenden zur Bewertung der ergonomisch kritischen Tätigkeiten hinsichtlich ihres Erfüllungsgrades herangezogen werden (ebd.).



**Abb. 7: Studienformat der Studie 1 (eigene Darstellung)**

Ein Kritikpunkt der Nutzwertanalyse stellt jedoch die Subjektivität bei der Vergabe der Punktwerte zu den einzelnen Kriterien dar (Wolke 2008). Kühnapfel (2014) empfiehlt demnach die Bewertungsphase im Rahmen von Gruppenbefragungen mit ca. 10 Experten durchzuführen. Demzufolge erfolgt die Teilstrukturierung der Gruppenbefragung anhand der Nutzwertanalyse. Die abschließende Ergebnisphase sieht die Nutzwertberechnung, Sensibilitätsprüfung der Nutzwerte sowie die Dokumentation im Anschluss an die Gruppenbefragung vor.

Unter Berücksichtigung der generierten Nutzwerte lässt sich folglich eine Rangfolge der ergonomisch kritischen Tätigkeiten hinsichtlich der Eignung einer MRK zur ergonomischen Verbesserung ableiten und dient letztlich als Entscheidungshilfe beim Einsatz der MRK.

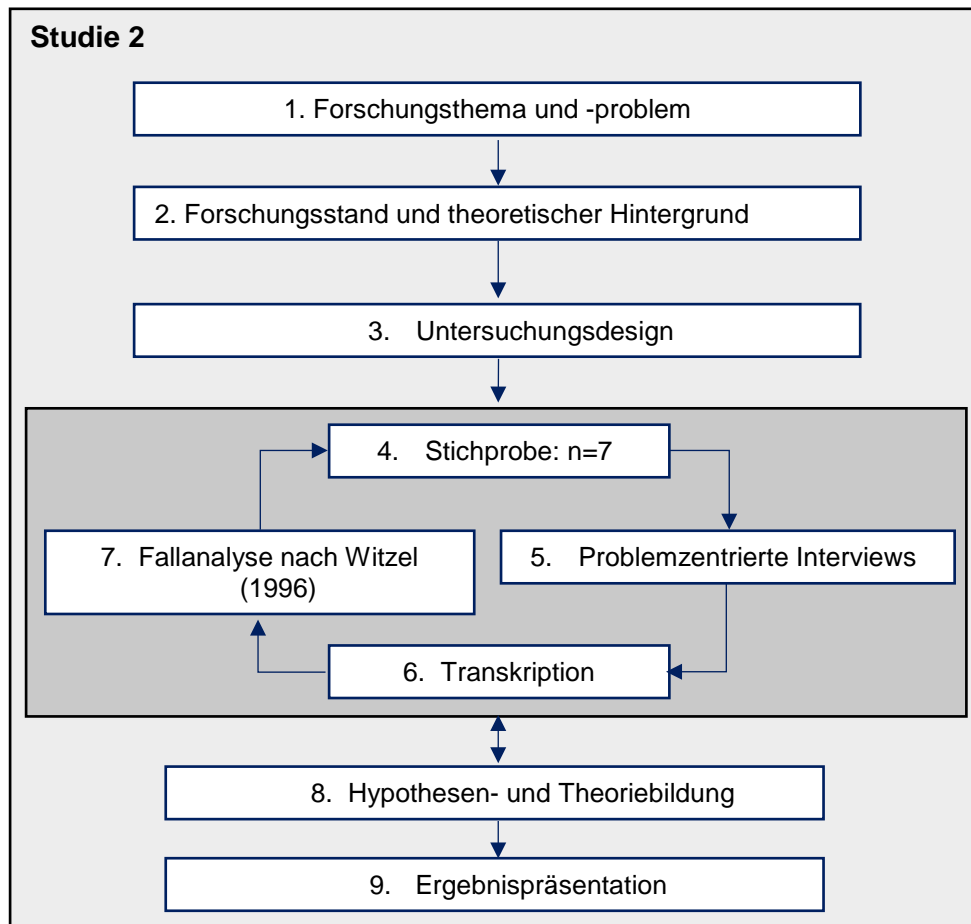
## 3.2 Forschungsdesign der Studie 2

Gleichermaßen wie bei der Studie 1 steht auch an dieser Stelle zunächst die Problembeschreibung und Recherche der theoretischen Hintergründe an, um anschließend das Untersuchungsdesign festzulegen. Der gesamte Forschungsablauf der Studie 2 ist der folgenden Abbildung 8 zu entnehmen.

Um das Forschungsinteresse nach der Mitarbeitersicht auf den ergonomischen Nutzen und den Einführungsprozess der MRK zu untersuchen, wird die empirische Methode der problemzentrierten Interviews gewählt. Vor dem Hintergrund, dass das problemzentrierte Interview spezifische gesellschaftliche Problemstellungen, Fragen und Alltagserfahrungen von Akteuren prozessiert und flexibel erforscht, wird diese Methode als geeignet angesehen.

Kennzeichnend für problemzentrierte Interviews sind die drei Kriterien: Problemzentrierung, Gegenstands- und Prozessorientierung. Bezugnehmend auf das Kriterium der Problemzentrierung, hat der Forscher bereits vor dem Interview die objektiven Aspekte der Problemstellung erarbeitet, die für die Befragten relevant sind und an deren Rekonstruktion sie mitarbeiten sollen (Mayring 2002, Hölzl 1994). Mit der Gegenstandsorientierung wird außerdem die konkrete Ausgestaltung des Verfahrens an den jeweiligen Forschungsgegenstand verbunden und nicht die Übernahme festgelegter Instrumente (ebd.). Weiterhin beinhaltet die Prozessorientierung die flexible Analyse des Forschungsgegenstandes, eine schrittweise Gewinnung und Prüfung der Daten (Witzel 1982). Hinzufügend wird das Prinzip der Offenheit bei problemzentrierten Interviews als weitere Kategorie durch Mayring (2002) ergänzt.

In der vorliegenden Untersuchung wird das Problem dadurch bestimmt, dass der ergonomische Nutzen durch die MRK bewertet und der Einführungsprozess der MRK aus der Perspektive unterschiedlicher in einem festgelegten Kontext handelnder Akteure untersucht wird. Hierbei werden die Erfahrungen und Wissensbestände der Probanden aktiviert und auf das Forschungsthema fokussiert. Mit dem Ziel daraus einerseits die ergonomische Verbesserung durch die MRK zu evaluieren und andererseits Handlungsempfehlungen für zukünftige Einführungsprozesse der MRK zu erfassen.



**Abb. 8: Studienformat der Studie 2 (eigene Darstellung)**

## 4 Empirie der Studie 1 zur Identifikation von Entscheidungskriterien für einen MRK-Einsatz zur ergonomischen Verbesserung

Auf der Grundlage qualitativer Interviewstudien werden in der ersten Studie im Rahmen einer teilstrukturierten Befragung Experten befragt, die bereits Erfahrung mit MRK-Einsätzen vorweisen oder im Themengebiet Produktionsergonomie angesiedelt sind. Auf Basis der in Kapitel 3 vorgestellten Literaturrecherche sowie theoretischer Vorannahmen und Forschungsfragen wird ein Interviewleitfaden erstellt, der die Teilstrukturierung der Interviews unterstützt.

In einer anschließenden Gruppenbefragung unter Anwendung der Nutzwertanalyse werden die Erkenntnisse aus den Expertenbefragungen sowie aus der Literaturrecherche hinsichtlich der Entscheidungskriterien für einen MRK-Einsatz bzgl. ihrer Anwendbarkeit überprüft. Die Arbeitsplatzanalyse einer Montagelinie des Volkswagen Werkes in Wolfsburg bildet dabei die Diskussionsgrundlage. Im Ergebnis resultiert aus der Studie 1 ein Scoring-Instrument, welches mit Entscheidungskriterien, die MRK-Eignung zur ergonomischen Verbesserung der Arbeitsbedingungen bewertet.

In den folgenden Kapiteln wird der detaillierte Ablauf der Datenerhebung, Datenauswertung sowie die Darstellung der Ergebnisse der Studie 1 vorgestellt.

### 4.1 Teilstrukturierte Expertenbefragung

#### 4.1.1 Stichprobenauswahl der Experten

Verschiedene Autoren verweisen zur Expertenbefragung darauf, dass der Experte bis zu einem gewissen Grad das Konstrukt des Forschungsinteresses ist (Meuser & Nagel 2009, Pfadenhauer 2009). Dem entsprechend ist der Expertenstatus keine personelle Eigenschaft oder Fähigkeit, sondern eine Zuschreibung. Diese Zuschreibung erfolgt, wenn der Forscher aufgrund des spezifischen Forschungsinteresses bestimmte Personen mittels der Interviewanfrage als Experten adressiert (Pfadenhauer 2003).

Infolgedessen wird die Bestimmung des Experten durch die Unterscheidung des Expertenwissens von weiteren Formen soziologischen Handelns bzw. Wissens bestimmt. Personen, die über das Wissen verfügen, dass sie nicht ausschließlich besitzen, aber im interessierenden Handlungsfeld nicht jedem zugänglich ist, stellen im Rahmen des spezifischen Forschungsinteresses einen Experten dar. Demzufolge zielt das Experteninterview auf den Wissensvorsprung dieser Experten gegenüber Nicht-Experten ab.

Somit resultiert die Unterscheidung des Experten vom Laien aus der Handlungsorientierung der Expertenbefragung. Meuser und Nagel (2009) greifen diesbezüglich die Definition des Experten nach Hitzler et al. (1994) auf, laut dieser Personen als Experten in Frage kommen, die über eine institutionalisierte Kompetenz zur Konstruktion von Wirklichkeit verfügen.

Ursprung der wissenssoziologischen Zuordnung liegt in der Unterscheidung der drei Idealtypen des Wissens, in den Experten, den „Mann von der Straße“ sowie den gut informierten Bürger (Schütz 1972). Hierbei wird die Abgrenzung des Experten, der ein spezielles Sonderwissen besitzt, vom Laien deutlich. Wobei zu beachten ist, dass nicht jedes Sonderwissen mit Expertenwissen gleichzusetzen ist. Demzufolge wird ausschließlich die sozial institutionalisierte Expertise als Spezialwissen gesehen, das in besonderer Weise praxiswirksam und damit orientierungs- und handlungsleitend für andere Akteure wird. Im Zuge dessen agiert der Befragte als Funktionsträger und somit nicht als Privatperson. Dabei ist die Problemperspektive außerdem kennzeichnend für den institutionellen Kontext, in dem er das Wissen erworben hat und aufgrund dessen er die Problematik, den Lösungsweg sowie die Entscheidungsstrukturen verinnerlicht hat. Das Sonderwissen, das die Experten mitbringen, wird allerdings im Interview nicht bewusst wiedergegeben, sodass eine Rekonstruktion des Gesagten die Auswertung bestimmt (Meuser & Nagel 2009). Zusammenfassend sind nach Meuser und Nagel (2009) Experten Personen, die Verantwortung für das im Fokus stehende, funktionsbezogene Handeln übernehmen.

In der vorliegenden Untersuchung liegt der Fokus des Erkenntnisinteresses ebenfalls auf dem Betriebswissen der befragten Experten, welche die Verantwortung für betriebliche Prozesse und Maßnahmen tragen. Mithilfe der Expertenbefragung wird infolgedessen eine Rekonstruktion der strukturellen betrieblichen Rahmenbedingungen und zugleich des Betriebswissens mit der Ableitung praktikabler Maßnahmen angestrebt. Sowohl die Wandelbarkeit von Expertenwissen als auch die Differenzen in den Meinungen innerhalb der Expertengruppe zeigen, dass die beanspruchte Verallgemeinerung des Expertenwissens nicht mit einer objektiven Meinung gleichzusetzen ist. Denn es treten in Expertenbefragungen ebenfalls subjektive Deutungen auf (Helfferich 2014).

Die Stichprobenauswahl der zu befragenden Personen und somit der Experten orientiert sich in der vorliegenden Arbeit in erster Linie an den Forschungsfragen (Kap. 2.4). Der Grundsatz der Auswahl besteht darin, gemäß der Fragestellung Personen zu identifizieren, die als Informanten über den gewählten Forschungsgegenstand Auskünfte erteilen können bzw. deren themenrelevante Deutung von besonderer Bedeutung ist. Bogner et al. (2014) zufolge, ist kein Experten-Pool vorgegeben, aus dem nach bestimmten Vorgaben, wie bspw. soziodemografische Merkmale, auszuwählen wären. Der Expertenstatus wird demnach



abhängig vom Forschungsinteresse zugeschrieben. Wer für eine Expertenbefragung geeignet ist, wird im jeweils konkreten Fall entschieden (ebd.).

Neben den Forschungsfragen beeinflussen sowohl finanzielle als auch zeitliche Aspekte die Expertenauswahl, die außerdem eine ausführliche Auseinandersetzung mit dem Feld voraussetzt, um keine relevanten Personen auszulassen. Empfehlungen von weiteren Experten in diesem Feld können zudem bei der Bestimmung der zu befragenden Experten beitragen (Bogner et al. 2014).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Expertenauswahl unter Berücksichtigung der Definition eines Experten nach Meuser und Nagel (2009) getroffen. Aufgrund dessen werden zwei Akteursgruppen als forschungsrelevant eingestuft und Kriterien geleitet ausgewählt. Als zentrales Kriterium ist der funktionsspezifische Erfahrungshintergrund der Interviewpartner von besonderer Relevanz. Demnach werden zum einen Personen ausgewählt, die bereits in MRK-Projekten mitwirken und in MRK-Arbeitsgruppen sowie Gremien vertreten sind. Zum anderen werden Personen als Experten eingestuft, wenn sie aufgrund ihrer Funktion die ergonomische Arbeitsgestaltung der Arbeitsplätze schwerpunktmäßig planen und umsetzen. Insgesamt erfolgt die Auswahl der Stichprobe vor dem Hintergrund einer interdisziplinären Zusammensetzung und orientiert sich bezüglich der Größenordnung an einem mittleren Stichprobenumfang, der in der qualitativen Forschung zwischen sechs und 30 Interviews liegt (Merkens 2000). Demzufolge wurden zwölf Interviewpartner aus den Fachbereichen Gesundheitswesen, Personalwesen, Planung Industrial Engineering und Technologieentwicklung für die Expertenbefragung ausgewählt.

### 4.1.2 Leitfadiskonzeption

Qualitative Befragungen sind eine weit verbreitete, ausdifferenzierte und methodisch vergleichsweise gut ausgearbeitete Vorgehensweise, qualitative Daten zu erzeugen. Teilstrukturierte Expertenbefragungen gestalten dabei einerseits die Führung im Interview über einen vorbereiteten Leitfaden und bestimmen zugleich die spezielle Auswahl sowie den Status der Befragten (Helfferich 2014).

Für die qualitative Auswertung werden zumeist schriftliche Texte genutzt, dessen Generierung in einer Interviewsituation erfolgt. Hinsichtlich der Interviewsituation muss berücksichtigt werden, wie und mit welcher Begründung das Sprechen der interviewten Person beeinflusst und gesteuert wird. Das kann bspw. durch das Lenken der Aufmerksamkeit auf einen im Zusammenhang mit der Forschungsfrage interessierenden Bereich geschehen. Des Weiteren können Begrifflichkeiten, Relevanzen und Vorverständnisse von den Experten als Vorgabe eingeführt werden (ebd.). In diesem Zusammenhang gestaltet ein Leitfaden den Interviewablauf, der optionale Elemente, explizit vorformulierte Fragen oder Stichworte für frei

formulierbare Fragen enthält. Schließlich folgt die Erstellung eines Leitfadens dem Prinzip „So offen wie möglich, so strukturiert wie nötig“ (Helfferich 2014, S. 560).

Im Hinblick auf die Forschungsfragen ist es demnach notwendig, die grundsätzliche Offenheit des Interviews hinsichtlich der funktionsbezogenen Relevanzen der Experten in einem gewissen Maß zu steuern. Allerdings heben Meuser und Nagel (2009) vor diesem Hintergrund die flexible und unbürokratische Handhabung des Leitfadens unter Berücksichtigung des thematischen Ablaufs als Grundlage für das Gelingen der Expertenbefragung hervor. Weiterhin liegt der Fokus der Leitfragen auf beruflichen Entscheidungen und Handlungen sowie auf Prinzipien, wobei durch gezieltes Nachfragen ergänzende Berichte über konkrete Geschehnisse gefördert werden können (ebd.).

Das Fehlen eines Leitfadens birgt wiederum die Gefahr der methodisch nichtzutreffenden Ausrichtung des Interviewschwerpunktes. Die vorhandene Struktur durch den Leitfaden überträgt zudem die thematische Kompetenz des Interviewers, die ausschlaggebend für die erfolgreiche Durchführung der Befragung ist. Diesbezüglich ist die thematische Recherche in Vorbereitung auf die leitfadengeführten Expertenbefragungen notwendig (Meuser & Nagel 2009). Aufgrund dessen erfolgte vorbereitend eine Recherche bezüglich der theoretischen Grundlagen (Kap. 3). Nicht zuletzt beeinflusst die Dynamik der Interviewsituation sowie die wechselseitige Wahrnehmung der Beteiligten den Erkenntnisgrad des offenen Leitfadeninterviews (ebd.).

Bei der Gestaltung des Interviewleitfadens, unter Berücksichtigung der Kombination offener Erzählaufforderungen und Nachfragen, sind nach Helfferich (2014) drei grundsätzliche Anforderungen zu erfüllen:

- *Offenheit als Priorität:* Interventionen als Einschränkungen der Äußerungsmöglichkeiten müssen so offen wie möglich gehandhabt werden sowie mit dem Forschungsinteresse begründet sein.
- *Übersichtlichkeit:* Der Interviewleitfaden muss übersichtlich sein, im Idealfall so übersichtlich, dass die Fragen im Gedächtnis behalten werden. Zu viele Fragen beschränken die für das Generieren von Texten notwendige Erzählzeit.
- *Anschmiegen an den Erzählfluss:* Die Komposition eines Leitfadens sollte dem Erinnerungs- oder Argumentationsfluss folgen und weder zu plötzlichen Sprüngen, Themenwechsel oder zum Perspektivwechsel führen. Die spontane Äußerung sollte dabei immer Priorität vor dem Einhalten der Reihenfolge der Fragen haben (ebd.).

Unter Berücksichtigung der Anforderungen an einen Leitfaden, der Regeln zur Fragenformulierung sowie auf der Grundlage der Rechercheergebnisse zum

Forschungsinteresse wurde ein Leitfaden entwickelt, der während des Interviews dem Forscher vorliegt.

Die darin enthaltenen Themenschwerpunkte werden hauptsächlich mit offenen Fragen angesprochen, die den folgenden Faustregeln der Formulierung unterliegen (Schnell et al. 1999, S. 306 f.):

- Fragen sollen einfache Wörter enthalten;
- Fragen sollen kurz formuliert werden;
- Fragen sollen konkret sein;
- Fragen sollen keine bestimmte Beantwortung provozieren;
- Fragen sollen neutral formuliert sein;
- Fragen sollen nicht hypothetisch formuliert werden;
- Fragen sollen sich nur auf einen Sachverhalt beziehen;
- Fragen sollen keine doppelte Negation enthalten;
- Fragen sollen den Befragten nicht überfordern und
- Fragen sollen zumindest formal balanciert sein.

Die Themenkomplexe dienen dabei der übersichtlichen Orientierung, einer flexiblen Interviewführung, der Hinführung zur Forschungsproblematik und ermöglichen ebenso die Offenheit der Fragestellungen. Während der Durchführung ist hierbei der Wechsel in den Themenbereichen, je nach Gesprächsverlauf, möglich. Der Leitfaden (siehe Anhang C, S. 162) gliedert sich demnach in die folgenden vier Themenbereiche:

- Anwendbarkeit der MRK in der Automobilindustrie,
- Arbeitsplatzauswahl für eine MRK zur Belastungsreduzierung,
- MRK im Vergleich zu herkömmlichen Gestaltungsmaßnahmen und
- Veränderung der Tätigkeit durch MRK.

Im Vorfeld der eigentlichen Durchführung der Expertenbefragung wird jedoch die Anwendbarkeit des Leitfadens mit Hilfe eines Pretests mit einem Mitarbeiter aus dem Industrial Engineering überprüft. Ziel ist es, durch den Pretest die Fehlerquellen im Leitfaden aufzudecken sowie anschließend zu beseitigen, um schließlich dem Anspruch auf Vollständigkeit, Widerspruchsfreiheit und Eindeutigkeit sowie Handhabbarkeit für die praktische Umsetzung der Befragung gerecht zu werden (Merten 1995). Im Ergebnis zeigt der Pretest, dass aufgrund der umfangreichen Recherche zu den einzelnen Themenkomplexen

keine Verständnisprobleme vorhanden sind und somit eine Umformulierung der Fragenstellungen nicht notwendig ist. Dennoch erweist sich die geplante Dauer der Experteninterviews von 30 Minuten als nicht ausreichend und wird somit auf 45 Minuten angehoben. Weiterhin kann als Resultat des Pretests das Fachwissen des Forschers hinsichtlich der MRK als positiv bewertet und zugleich als kompetent eingeschätzt werden. Im Zuge dessen erfolgt die Einladung der ausgewählten Experten per E-Mail (siehe Anhang B, S. 161), die alle notwendigen Informationen zum Forscher sowie zum Forschungshintergrund beinhaltet.

### 4.1.3 Durchführung und Auswertung der Expertenbefragung

Im Anschluss an die Versendung der Einladung sowie der Terminvereinbarung erstreckt sich der Erhebungszeitraum der teilstrukturierten Expertenbefragung von April bis August 2016 und wird unter ausschließlicher Anwesenheit des Experten und des Forschers in einer ruhigen Atmosphäre durchgeführt. Jede Expertenbefragung wird dabei mit einem Aufnahmegerät unter Beachtung der Datenschutzbestimmungen und mit Zustimmung der Datenschutz Kommission der Volkswagen AG sowie der einzelnen Experten aufgezeichnet.

Zu Beginn der Befragung wird die Aufmerksamkeit und das Interesse des Experten durch einleitende Information zum Forschungshintergrund und zum Forscher gefördert und das Ziel der Untersuchung prägnant beschrieben. Durch die zusammenfassende Darstellung der vier Themenschwerpunkte des Leitfadens wird zudem ein Überblick über den Umfang des Interviews gegeben. Mit dem Ziel der selbstständigen und vollständigen Beantwortung der Fragen durch den Experten, sollen lediglich vereinzelt Nachfragen durch den Interviewer die Vollständigkeit garantieren. Abschließend wird dem Experten die Möglichkeit eingeräumt, allgemeine Hinweise oder Fragen hinsichtlich des Forschungsinteresses zu äußern, um im Anschluss die Tonaufnahme zu beenden.

Das angestrebte Interviewverhalten orientiert sich hierbei an der Form des neutralen Interviews nach Atteslander (2010), indem sich der Interviewer bis zu einem gewissen Punkt in Zurückhaltung übt und dabei einen seriösen Eindruck vermittelt, der die Ernsthaftigkeit des Interviews unterstreicht. Zugleich sollte der Interviewer echtes Interesse am Interview zeigen und die Wichtigkeit dessen hervorheben. Weiterhin nimmt der Interviewer eine Haltung freundlichen Gewährenlassens ein, indem er z. B. über den Humor des Befragten lacht oder unterstützende Bemerkungen macht, ohne eine direkte Zustimmung oder Ablehnung zu äußern (ebd.).

Die geplante Dauer von maximal 45 Minuten wurde größtenteils eingehalten und beträgt, bei vollständiger Beantwortung der Themenkomplexe des Leitfadens (Kap. 4.1.2), im Durchschnitt 35 Minuten. Das aufgenommene Interview stellt dabei die Datenbasis der empirischen

Untersuchung dar und wird die im Rahmen der folgenden Auswertungsmethode nach Meuser und Nagel (2005) anonymisiert ausgewertet und nach Beendigung der Auswertung gelöscht.

Mit dem Auswertungskonzept für Expertenbefragungen nach Meuser und Nagel (2005) wird die grundlegende Idee verfolgt, wie aus dem rohen Transkript systematisch datenbasierte und theoretisch anspruchsvolle Aussagen generiert werden. Im Hinblick auf die vergleichende Auswertung von mehreren Expertenbefragungen ist die im Folgenden beschriebene Auswertungsmethode gut geeignet (Bogner et al. 2014). Dabei besteht das Ziel darin, im Vergleich das Gemeinsame der Expertendeutungen herauszuarbeiten und folglich die Rekonstruktion von gemeinsam geteilten, typischen Wissensbeständen, Relevanzstrukturen sowie Deutungsmustern zu identifizieren. Der Einzeltext ist somit aufgrund seiner thematisch relevanten Passagen von besonderem Interesse, die sich in ähnlicher Form in weiteren Befragungen wiederfinden und den Vergleich über alle Befragungen hinweg ermöglichen. Die Vergleichbarkeit der Textpassagen lässt sich dabei auf den Interviewleitfaden sowie auf den gemeinsamen organisatorisch-institutionellen Kontext der Experten zurückführen (ebd.). Das Auswertungskonzept beinhaltet sechs Schritte, die im Folgenden näher erläutert werden (Meuser und Nagel 2005).

Im ersten Schritt der Auswertung wird der Prozess der *Transkription* durchgeführt, der das Gesagte der audiographisch aufgezeichneten Interviews verschriftlicht. Hierbei stellen Stimmlagen sowie nonverbale und parasprachliche Elemente der Äußerungen der Experten keinen Gegenstand der Verschriftlichung dar. Aufgrund des Erkenntnisinteresses der Interviews auf Basis des Betriebswissens der Experten empfehlen Meuser und Nagel (2005) eine vollständige Transkription. Dieser Auswertungsschritt erfolgt unter Berücksichtigung des vereinfachten Transkriptionsregelsystems, das in der folgenden Tabelle 8 veranschaulicht wird. Die Transkription wird mithilfe des Abspielens einer Windows-Media-Datei und dem gleichzeitigen verschriftlichen der Audiodatei in einem Word-Dokument durchgeführt.

Infolgedessen werden mit Hilfe der *Paraphrasierung* als zweiten Schritt die Sequenzierung des Textmaterials nach thematischen Einheiten und die Verdichtung des Textmaterials umgesetzt. Dabei folgen die Paraphrasen dem Gesprächsverlauf chronologisch und geben das Gesagte des Experten insgesamt wieder. Demnach lässt sich der Prozess des Paraphrasierens als eine textgetreue eigene Wiedergabe des Gesagten einschließlich der Meinungen, Urteile und Deutungen definieren (Meuser & Nagel 2005). Zusammenfassende oder detaillierte Paraphrasen von Sequenzen orientieren sich dabei an der Wichtigkeit des Themas und nicht an der Dauer des Gesagten. Laut Meuser und Nagel (2005) sind gute Paraphrasen durch ein nicht selektives Verhältnis der Inhalte sowie durch eine Fokussierung auf den Inhalt des Gesagten, gekennzeichnet. In diesem Zusammenhang wird die Reduktion der Komplexität des Textes als Problem des Paraphrasierens eingeordnet. Dem gegenüber

gewährleisten die Vergleiche der inhaltlich identischen Interviews die Gültigkeit einer Paraphrase.

**Tab. 8: Transkriptionsregelsystem (nach Dresing & Pehl 2013)**

Transkriptionsregelsystem	
1	Wörtliche Transkription ggf. mit der Übersetzung ins Hochdeutsche
2	Keine Transkription von Wortverschleifungen
3	Kennzeichnung der Wort- und Satzabbrüche mit „/“
4	Kennzeichnung von Sprechpausen mit „(kurze Pause)“
5	Keine Transkription zustimmender oder bestätigender Lautäußerungen
6	Kennzeichnung der Sprechbeiträge durch Absätze mit Zeitmarken
7	Kennzeichnung unverständlicher Wörter mit „(unv.)“
8	Benennung der Gesprächspartner mit „Interviewer“ und „BEFRAGTER“

Der dritte Schritt der Auswertungsmethode beinhaltet die thematische Ordnung und das *Kodieren* der Paraphrasen. Diesbezüglich ist das textgetreue Vorgehen unter Berücksichtigung der Terminologie der Interviewten zu beachten (Meuser & Nagel 2009). Die Möglichkeit eine oder mehrere Überschriften zu einer Passage zuzuordnen, kann außerdem abhängig von der Themenanzahl umgesetzt werden. Im Gegensatz zum Paraphrasieren ist in diesem Auswertungsschritt das Auflösen der sequenziellen Vorgehensweise im Text notwendig, weil das einzelne Interview die Bezugsgröße dessen darstellt. Die Verwendung eines leitfadenorientierten Interviews und die Andeutung der Themenkomplexe erleichtert zudem das Kodieren (ebd.).

Der *thematische Vergleich* erfolgt in der vierten Phase der Auswertung und geht über einzelne Texteinheiten hinaus. In diesem Fall werden thematisch vergleichbare Textpassagen aller Interviews zusammengeführt, um eine textgetreue Kategorienbildung zu ermöglichen. Zudem ist eine Überprüfung der Textverdichtungen auf Genauigkeit, Vollständigkeit und Validität erforderlich. Zusätzlich werden die vorab festgelegten Überschriften gleicher oder ähnlicher Passagen für die weitere Textverdichtung vereinheitlicht (ebd.).

Des Weiteren findet im Kontext der *soziologischen Konzeptualisierung* als vorletzten Schritt der Auswertung die Ablösung von den Texten und Terminologien der Experten statt. Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden unter Berücksichtigung theoretischer Wissensbestände begrifflich gestaltet. Innerhalb einer Kategorie ist das Besondere des gemeinsam geteilten Wissens von Experten verdichtet und hervorgehoben. Die

Kategorienbildung beinhaltet das Subsumieren von Teilen unter einem allgemein gültigen Begriff. Ziel dieser Phase ist es, die Relevanzen zu systematisieren, zu typisieren und zu verallgemeinern sowie Deutungsmuster herauszustellen, die folglich an die theoretische Diskussion anknüpfen (ebd.).

Abschließend werden in der letzten Auswertungsphase die Kategorien in ihrem internen Zusammenhang theoretisch aufbereitet. Im Rahmen der *theoretischen Generalisierung* findet demnach eine Verknüpfung der Sinnzusammenhänge hinsichtlich der Typologien und Theorien statt. Aufgrund der Konzentration des Expertenwissens auf Basis des Betriebswissens wird dieser abschließende Auswertungsschritt als Hauptgegenstand der empirischen Untersuchung gesehen und folglich im Kapitel 7.1 der vorliegenden Arbeit ausführlich betrachtet.

Letztendlich befürworten Meuser und Nagel (2009) alle Stufen des Verfahrens zu durchlaufen und keine dieser Stufen auszugrenzen. Angesichts der Relevanz der einzelnen Auswertungsschritte wird zusätzlich ein wiederholter Durchlauf der gesamten Auswertungsphasen empfohlen (ebd.).

#### 4.1.4 Ergebnisdarstellung der Expertenbefragung

Infolge der Ausführung der einzelnen Auswertungsschritte, der Transkription, Paraphrasierung, Kodierung sowie des thematischen Vergleichs der leitfadengestützten Expertenbefragung werden im Rahmen der soziologischen Konzeptualisierung die Expertenaussagen in Kategorien zusammengefasst und die Ergebnisse deskriptiv dargestellt. Die Definition der Kategorien der Expertenaussagen sowie die dabei herausgestellten Unterschiede und Gemeinsamkeiten innerhalb der Kategorien werden im Folgenden beschrieben.

Unter Berücksichtigung der Deduktion auf der Grundlage des Interviewleitfadens und der induktiven Kategorienbildung aus den Transkripten ist eine Zuordnung der Expertenaussagen zu elf Hauptkategorien möglich. Zunächst werden die in der soziologischen Konzeptualisierung gebildeten Hauptkategorien sowie der darin enthaltenen Subkategorien der ersten und zweiten Ebene dargestellt und inhaltlich beschrieben. Die Reihenfolge der Kategorien orientiert sich dabei an der sinnlogischen Abfolge der Themenbereiche und nicht am Interviewleitfaden.

Im weiteren Verlauf wird der Zusammenhang der Expertenaussagen zu den definierten Hauptkategorien dargestellt, indem eine textgetreue Komprimierung bezogen auf die folgenden elf Hauptkategorien erfolgt:

1. Hauptbelastungsarten in der Produktion,

2. Ergonomische Verbesserungsmaßnahmen,
3. Motive für MRK,
4. Vergleich zwischen Mensch und Roboter,
5. Einsatzgebiete der MRK,
6. Technischer Stand der MRK,
7. MRK im Vergleich zum Manipulator,
8. Umsetzungsvoraussetzungen für MRK,
9. Entscheidungskriterien für MRK,
10. Gestaltungsaspekte der MRK und
11. Auswirkungen der MRK.

Die Definition und Detaillierung der einzelnen Hauptkategorien sowie der darin enthaltenen Subkategorien der ersten und zweiten Ebene werden anschließend näher erläutert.

#### *Kategorie 1: Hauptbelastungsarten in der Produktion*

In der ersten Kategorie werden die Aussagen der Experten bezüglich der Hauptbelastungsarten in der Produktion zusammengefasst. Diesbezüglich erfolgt die Unterteilung der Hauptbelastungsarten in vier Bereiche, die jeweils einzelne Belastungsarten beinhalten. Die Hauptbelastungsarten in der Produktion umfassen dabei organisationale Rahmenbedingungen, Umgebungsfaktoren und psychische sowie physische Belastungen (siehe Tab. 9, S. 72).

Zu den organisationalen Rahmenbedingungen als Belastungsart zählen insbesondere Arbeiten im Takt und Schichtdienst, denn „[...] zusammen mit einer Taktung, wo ein gewisser Zeitdruck vorgegeben wird, wo eine Mengenvorgabe ist, das sind dann alles Parameter, [...], die dann je nach Konstellation auch auf den Mitarbeiter einwirken und Fehlbeanspruchungen auslösen können (Experte 9)“. Hinzukommen Umgebungsfaktoren, wie chemische Gefährdungen oder Geruchsbelastungen, die von den Mitarbeitern als belastend empfunden werden können.

Einen großen Anteil der Belastungsarten schreiben die Experten den psychischen Belastungen zu, die sowohl durch das Arbeitsklima, Informationsverdichtung, Stress und Isolation gekennzeichnet sind. „Isolation in Vormontagen, das ist das Schlimmste. Da kenn ich in [...] Arbeitsplätze da oben in der Kettenwelt, das will keiner haben (Experte 10)“. Zudem zählen die Experten ebenfalls Sättigung und Monotonie zu den psychischen Belastungsarten.



Ergänzend werden physische Belastungen den Hauptbelastungsarten in der Produktion zugeordnet. Eine große Rolle spielen dabei die Belastungsspitzen. „Ich glaube, in der Automobilindustrie treten die verschiedensten Belastungsarten auf. [...] habe ich entweder eine hohe Lastenhandhabung an dem Arbeitsplatz [...] oder eine Vielzahl an Kraftaufwendungen oder repetitive Tätigkeiten (Experte 1)“. Demzufolge treten Lastenhandhabung, Kraftaufwendungen und Repetition als einseitige Belastungsspitze am Arbeitsplatz in der Produktion auf. Dennoch „Es kommt ja auch immer auf die Kombination von dem allen an. Also allgemein das Ausüben von Kräften ist ja nichts Schlimmes, ja. Wenn man es dann aber häufiger macht und in ungewöhnlichen Körperhaltungen, dann wird es wieder blöder (Experte 5)“. Außerdem weisen eine Vielzahl an Experten auf die ungünstige Körperhaltung hin, „z. B. im Fahrzeuginnenraum, wenn in der Endmontage die Kollegen ins Fahrzeug krabbeln müssen und dort entsprechend in ungünstigen Körperhaltungen arbeiten müssen (Experte 11)“.

Weiterhin werden „Vibrationen, Rückschlagkräfte, schlechte Gelenkstellungen, Überkopfkontrollen, also schlechte Nackenhaltung [...], also wenn der Mitarbeiter immer wieder das Gleiche in einer kurzen Zykluszeit machen muss (Experte 3)“ im Rahmen der Extrapunkte der EAWS-Bewertung (siehe Kap. 2.3.4) als eine weitere Unterkategorie genannt.

Zusammenfassend werden die vier Hauptbelastungsarten in der Produktion sowie die dazu gehörigen Aspekte in der anschließenden Tabelle 9 dargestellt.

**Tab. 9: Kategorie 1 – Hauptbelastungsarten in der Produktion (eigene Darstellung)**

1. Hauptbelastungsarten in der Produktion	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
1.1 Organisationale Rahmenbedingungen	1.1.1 Arbeiten im Takt
	1.1.2 Schichtdienst
1.2 Umgebungsfaktoren	1.2.1 Chemische Faktoren
	1.2.2 Geruchsbelastung
1.3 Psychische Belastungen	1.3.1 Arbeitsklima
	1.3.2 Informationsverdichtung
	1.3.3 Stress
	1.3.4 Isolation
	1.3.5 Sättigung
	1.3.6 Monotonie
1.4 Physische Belastungen	1.4.1 Belastungsspitzen
	1.4.2 Kombinationen
	1.4.3 Extrapunkte bei EAWS
	1.4.4 Körperhaltung

	1.4.5 Kräfte
	1.4.6 Lastenhandhabung
	1.4.7 Repetition

### *Kategorie 2: Ergonomische Verbesserungsmaßnahmen*

Im Rahmen dieser Kategorie stehen die bereits vorhanden ergonomischen Verbesserungsmaßnahmen in der Produktion im Fokus. Hierbei verweisen die Experten zunächst auf die Analyse der ergonomischen Belastungshöhe, welche die in Kategorie 1 aufgeführten Belastungsarten identifiziert: „[...] also wir machen natürlich immer im Rahmen einer Ergonomieverbesserung immer erstmal eine Analyse, das ist das A und O (Experte 9)“. Anschließend erfolgen ergonomische Verbesserungen produkt- oder prozessbezogene unter Anwendung von Betriebsmitteln (siehe Tab. 10, S. 74).

Eine Möglichkeit, um die Ergonomieanalysen durchzuführen, stellen die Review-Teams dar, die durch Vor-Ort-Begehungen die potenziellen ergonomischen Verbesserungsmaßnahmen diskutieren. Als weiteres Hilfsmittel zur Analyse wird das Arbeitsplatzmanagementsystem (APMS) genannt, das die Tätigkeitseinschränkungen der Mitarbeiter mit dem Arbeitsplatzprofil abgleicht und somit einen geeigneten Mitarbeiterereinsatz ermöglicht. Insgesamt betonen die Experten, dass es von besonderer Relevanz ist, dass die Verbesserung der Ergonomie-Maßnahme zum einen in der Ergonomie-Bewertung sichtbar wird, also auch monetär ausgewiesen wird. „Also was bei uns zurzeit noch fehlt, ist eine langfristige Betrachtung welchen finanziellen Benefit ich auch von ergonomischen Verbesserungen kriege (Experte 11)“, denn „[...] Arbeitsplätze, die potenziell einen großen ergonomischen Vorteil brächten, vielleicht nicht ganz so intensiv betrachtet werden, wenn die Wirtschaftlichkeit sich nicht ganz rechnet (Experte 11)“.

Zudem sehen die Experten die Prozessgestaltung mittels Umtaktung der Linie als eine ergonomische Maßnahme, indem die ergonomisch kritischen Tätigkeiten auf einzelne Takte umverteilt werden, „um halt auch einen erholungswirksamen Belastungswechsel erzielen zu können (Experte 1)“. Eine andere Möglichkeit des Belastungswechsels ist mit der Rotation im Team verbunden. Hinzufügend zählen Ergonomie im Produktentstehungsprozess (PEP) und Workshops zu den relevanten Maßnahmen, indem ergonomische Verbesserungen prospektiv geplant werden. „Vollautomatisierung wäre eine Möglichkeit (Experte 2)“, die zusätzlich im Rahmen der ergonomischen Verbesserungsmaßnahmen genannt wird.

Bezugnehmend auf die Subkategorie 2.3 der ergonomischen Verbesserungsmaßnahmen durch Produktgestaltung steht die Frage, „Wie schwer ist etwas, dass ich heben muss, also inwieweit kann ich in der Konstruktion die Teile, die dort verbaut werden, schon anders gestalten? (Experte 7)“, im Vordergrund. Hierbei werden die „Entwicklungsmaßnahmen am Produkt selber“ hervorgehoben, „um zukünftige Belastungen zu reduzieren (Experte 1)“.

Den Großteil der ergonomischen Verbesserungsmaßnahmen sind der Subkategorie 2.4 Betriebsmittel zugehörig. Folglich erstrecken sich die Aussagen der Experten hinsichtlich der Betriebsmittel von Schutzausrüstungen und informationstechnischer Assistenz, z. B. Datenbrille, über Manipulatoren zur Lastenhandhabung und Robotern, bis hin zu Handwerkzeugen, z. B. Clip-Fix-Tool, Exoskeletten bzw. Orthesen und ergonomischen Montagesitzen, „[...] um bei der Arbeit die Körperhaltung zu verbessern. Sprich, dass der Mitarbeiter sich nicht irgendwo ungünstig reinbeugen muss, sondern dass eine Sitzmöglichkeit geschaffen wird (Experte 11)“.

Insgesamt ist in der abschließenden Tabelle 10 die Übersicht der ergonomischen Verbesserungsmaßnahmen aufgelistet.

**Tab. 10: Kategorie 2 – Ergonomische Verbesserungsmaßnahmen (eigene Darstellung)**

2. Ergonomische Verbesserungsmaßnahmen	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
2.1 Analyse	2.1.1 Ergonomieanalyse
	2.1.2 APMS <sup>8</sup> nutzen
	2.1.3 Ergonomie-Verbesserungen ausweisen
2.2 Prozess	2.2.1 Prozessgestaltung
	2.2.2 Ergonomie im PEP <sup>9</sup>
	2.2.3 Workshops
	2.2.4 Rotation
	2.2.5 Vollautomatisierung
2.3 Produkt	2.3.1 Produktgestaltung
2.4 Betriebsmittel	2.4.1 Schutzausrüstung
	2.4.2 Informationstechnische Assistenz
	2.4.3 Manipulator
	2.4.4 Roboter
	2.4.5 Handwerkzeug
	2.4.6 Exoskelette / Orthesen

<sup>8</sup> Arbeitsplatzmanagementsystem

<sup>9</sup> Produktentstehungsprozess

*Kategorie 3: Motive für MRK*

Im weiteren Verlauf wurden durch den Interviewleitfaden die Motive zur Einführung einer MRK in den Expertenbefragungen thematisiert. Daraufhin konnte eine Kategorisierung in fünf Motivgruppen erfolgen, die zum Teil mit Subkategorien näher erläutert und in der Tabelle 11 aufgeführt sind. Zu Beginn wird dem Motiv Personal eine große Bedeutung zugeschrieben, indem zum einen der demografische Wandel und die damit verbundene alters- und altersgerechte Arbeitsgestaltung sowie der leistungsgerechte Mitarbeitereinsatz aufgezählt werden. Zum anderen findet die grundsätzliche ergonomische Gestaltung eines Arbeitsplatzes mittels MRK eine hohe Relevanz.

Gleichwohl spielen Motive wie Wirtschaftlichkeit, Qualität und Produktivität eine ebenso wichtige Rolle, denn „[...] wenn du irgendwelche Prozesse hast, die schwierig sind oder wo der Mitarbeiter relativ lange braucht [...] und was ziemlich viel Zeit in Anspruch nimmt, was vielleicht mit einer MRK, wo der Mitarbeiter nicht warten muss auf eine Technik, sondern mit ihr agieren kann, schneller gehen wird, sodass man Zeit einspart und die Linie effizienter takten kann (Experte 3)“. Daneben zählen Flexibilitätserhöhung und Mitarbeitereinsparung ebenfalls zu dem Motiv Produktivität. Schließlich kann MRK dazu beitragen, dass das Unternehmen vor dem Hintergrund neuer Technologie und Innovationen wettbewerbsfähig agiert.

**Tab. 11: Kategorie 3 – Motive für MRK (eigene Darstellung)**

3. Motive für MRK	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
3.1 Personal	3.1.1. Demografischer Wandel
	3.1.2 Leistungsgerechter Mitarbeitereinsatz
	3.1.3 Ergonomie-Verbesserung
3.2 Wirtschaftlichkeit	
3.3 Qualität	
3.4 Produktivität	3.4.1 Zeitersparnis
	3.4.2 Flexibilitätserhöhung
	3.4.3 Mitarbeitereinsparung
3.5 Wettbewerbsfähigkeit	

*Kategorie 4: Vergleich zwischen Mensch und Roboter*

Vor dem Hintergrund der Einsatzmotive für eine MRK (Kategorie 4) wurden zunächst die Rollen des Menschen und des Roboters in einer MRK näher beschrieben sowie deren Stärken und Schwächen benannt (siehe Tab. 12, S. 76).

Bezugnehmend auf die Rolle des Menschen innerhalb der MRK sehen die Experten den Mitarbeiter sowohl von körperlich leichten als auch anstrengenden Tätigkeiten weiterhin in der ausführenden Rolle von Montagetätigkeiten. Aufgrund seiner Stärken im Bereich Feinmotorik wird er auch zukünftig die feinmotorischen Aufgaben ausführen. Zudem wird dem Menschen eine hohe Flexibilität zugeschrieben, weshalb er auch zukünftig die Rolle des Entscheiders im Prozess ausführt, „wobei ich den Roboter ja in der Ausführung sehe und den Mitarbeiter eher als Entscheider (Experte 13)“, und flexibel auf Veränderungen reagiert. Des Weiteren stufen die Experten den Menschen im Vergleich zum Roboter als höher qualifiziert ein. Demzufolge setzen sich seine Aufgaben eher aus kognitiv anspruchsvollen Tätigkeiten zusammen, wie z. B. das Teachen, Steuern und Überwachen des Roboters in Form von Instandhaltern und Anlagenbedienern.

Im Gegensatz dazu vertreten die Experten die Meinung, dass der Roboter zukünftig in der ausführenden und nicht entscheidenden Rolle im Prozess stehen wird. Begründet durch die Stärken des Roboters, die durch Präzision und Wiederholgenauigkeit gekennzeichnet ist, sehen die Experten gerade monotone Aufgaben, Packvorgänge und Bereitstellaufgaben sowie insgesamt ergonomisch kritische Tätigkeiten beim Roboter. Folglich werden ebenso Schwächen des Roboters ausgezählt, die sich zum einen auf die Geschwindigkeit des Roboters in der MRK beziehen und zum anderen das Anlernen. „Ein Roboter ist kein Mensch, er wird bestimmte Entscheidungen nicht alleine treffen können, sondern die müssen ihm beigebracht werden und er wird wahrscheinlich auch nicht alle Bewegungen ausführen können, weil der Mensch in vielen Dingen einfach flexibler ist, also die Motorik und das Denken und die Entscheidungen selbstständig durchgeführt werden, während der Roboter immer angelernt werden muss und das ist natürlich ein Unterschied zum Menschen (Experte 2).“

Die bereits beschriebenen Aspekte bzgl. des Vergleichs zwischen Mensch und Roboter sind der folgenden Tabelle 12 zu entnehmen.

**Tab. 12: Kategorie 4 – Vergleich zwischen Mensch und Roboter (eigene Darstellung)**

4. Vergleich zwischen Mensch und Roboter	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
4.1 Mensch	4.1.1 Rolle
	4.1.2 Stärken
4.2 Roboter	4.2.1 Rolle
	4.2.2 Stärken

#### *Kategorie 5: Einsatzgebiete der MRK*

In der fünften Kategorie lag der Fokus auf dem Erkenntnisinteresse der Einsatzgebiete der MRK. Hierbei sind sechs Fertigungsbereiche als denkbare Einsatzgebiete für MRK vertreten. Ergänzend dazu wurden ebenfalls bereichsunabhängige Fertigungstechniken genannt, die der Roboter in der MRK ausführen könnte. Zudem bezogen die Experten Stellung zur zukünftigen Einsatzdichte der MRK (siehe Tab. 13, S. 77).

Die Montage wurde hierbei von einer Vielzahl der Experten als ein potenzielles Einsatzgebiet für MRK aufgelistet, aufgrund des noch geringen Automatisierungsgrades und des damit verbunden hohen Potenzials. „Alle Fertigungsbereiche, bis auf die Montage, sind schon gut automatisiert, d.h. den Sprung der Montage noch zu schaffen wäre der wirtschaftlich größte Potenzialfaktor [...] (Experte 13)“. In diesem Zusammenhang führen die Befragten Montagebereiche, wie beispielsweise Türen-, Rädermontage oder im Fahrzeuginnenraum an, wo MRK zum Einsatz kommen könnte.

Daneben spielen Bereiche wie der Karosseriebau, die Komponente und die Lackiererei eine weitere wichtige Rolle, wenn es um die Einsatzmöglichkeiten des Roboters in Kooperation mit dem Menschen geht. Im Hinblick auf den Einsatz der MRK in der Logistik, könnte der Roboter dort insbesondere Kommissioniertätigkeiten, z. B. Griff in die Kiste, ausführen. Bezugnehmend auf die allgemeinen Fertigungstechniken wäre der Roboter laut der Experten dafür geeignet, einerseits Qualitätskontrollen durchzuführen und andererseits Stopfen zu setzen, zu verschrauben oder Lasten zu handhaben.

Dabei gehen einige Experten davon aus, dass die MRK mittel- oder langfristig flächendeckend zum Einsatz kommt. „Ich denke schon, dass sie sich durchsetzen wird. Es wird noch etwas dauern, es sind auch noch gewisse Schritte notwendig. [...] der Entwicklungsaufwand, [...], weil man da gewisse Grundlagenforschung jetzt macht, die notwendig ist [...]. Ich denke, dass man da aber auf einem guten Weg ist (Experte 13)“. Im Gegensatz dazu sind einige Experten ebenfalls der Auffassung, „dass es nicht flächendeckend sein wird. Sich für gewisse Anwendungen vielleicht etabliert, wo es wirklich etwas bringt, für den Menschen und das Unternehmen. [...] es werden eher Einzelfälle sein (Experte 14)“.

Abschließend gibt die Tabelle 13 die Gesamtheit der Einsatzgebiete der MRK wieder, die von den Experten im Rahmen der Interviews genannt wurden.

**Tab. 13: Kategorie 5 – Einsatzgebiete der MRK (eigene Darstellung)**

#### **5. Einsatzgebiete der MRK**

Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
5.1 Montage	5.1.1 CW <sup>10</sup> -Bodenverkleidung
	5.1.2 Leitungsstrang
	5.1.3 Türenmontage
	5.1.4 Rädermontage
	5.1.5 Fahrzeuginnenraum
	5.1.6 Triebstatz
	5.1.7 Tankeinbau
	5.1.8 Dachbereich
5.2 Karosseriebau	
5.3 Komponente	
5.4 Lack	
5.5 Logistik	5.5.1 Kommissionier Tätigkeiten
5.6 Presswerk	
5.7 Allgemeine Fertigungstechniken	5.7.1 Qualitätskontrolle
	5.7.2 Stopfen setzen
	5.7.3 Verschraubung
	5.7.4 Lastenhandhabung
5.8 Einsatzdichte	5.8.1 Flächendeckender Einsatz
	5.8.2 Einfälle

### *Kategorie 6: Technischer Stand der MRK*

Vor dem Hintergrund der potenziellen Einsatzgebiete der MRK ist der technische Stand dieser neuen Technologie von besonderer Relevanz. Diesbezüglich beinhaltet die Kategorie 6 auf der einen Seite Formen der MRK und auf der anderen Seite eine Einschätzung zum aktuellen Entwicklungsstand der MRK (siehe Tab. 14, S. 79).

Bei den Formen der MRK unterscheiden die Experten zwischen Koexistenz und Kollaboration (siehe Kap. 2.1.3). „Mensch-Roboter-Kooperation heißt ja, ein Mensch arbeitet entweder schutztaunlos neben einem Roboter oder mit einem Roboter zusammen (Experte 6).“ Im ersten Fall findet keine direkte Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter statt „durch die Tatsache, dass wir große und auch sperrige Lasten händeln ohnehin ausschließen müssen, dass es zu einem Kontakt zwischen Mitarbeiter und Roboter bzw. Werkzeug kommt, weil das generell einfach zu gefährlich ist. Und dadurch, dass eben dann eine Koexistenz im

---

<sup>10</sup> Strömungswiderstand

Arbeitsraum vorgesehen ist [...] (Experte 11)“. Im Unterschied arbeiten bei einer Kollaboration der Mensch und Roboter direkt zusammen, wobei ein Kontakt nicht ausgeschlossen ist.

Hinsichtlich des Entwicklungsstandes gibt es zwei gegensätzliche Meinungen der Experten, wie „technologisch sind wir gerade an dem Punkt, dass man eigentlich alle Prozesse automatisieren kann (Experte 13)“, bis hin zu „dass alles zum aktuellen Zeitpunkt eben weiter auf einem prototypischen Stand ist (Experte 14)“.

**Tab. 14: Kategorie 6 – Technischer Stand der MRK (eigene Darstellung)**

6. Technischer Stand der MRK	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
6.1 Formen der MRK	6.1.1 Koexistenz
	6.1.2 Kollaboration
6.2 Entwicklungsstand	6.2.1 Automatisierbar
	6.2.2 Prototyp

*Kategorie 7: MRK im Vergleich zum Manipulator*

Die Kategorie 7 betreffend, werden an dieser Stelle die Vor- und Nachteile einer MRK im Vergleich zu einem herkömmlichen Manipulator, wie er bereits häufig in der Produktion zum Einsatz kommt, aufgelistet. Diesbezüglich sehen die Experten gleichermaßen Vor- und Nachteile bei der MRK sowie dem Manipulator (siehe Tab. 15), die im Folgenden näher beschrieben werden.

**Tab. 15: Kategorie 7 – MRK im Vergleich zum Manipulator (eigene Darstellung)**

7. MRK im Vergleich zum Manipulator	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
7.1 MRK	7.1.1 Vorteile
	7.1.2 Nachteile
7.2 Manipulator	7.2.1 Vorteile
	7.2.2 Nachteile

Einen großen Vorteil der MRK sehen die Experten bei dem Aspekt der Produktivitätssteigerung, indem z. B. höhere Stückzahlen produziert werden können bzw. die



Fertigungszeit reduziert wird. Zudem ist mit dem Einsatz eines Roboters in Form einer MRK eine Platzersparnis aufgrund des Wegfalls eines Schutzzaunes zu verzeichnen. Weiterhin stellen die autonome Aufgabenausführung des Roboters und die daraus resultierende Unabhängigkeit des Mitarbeiters einen Vorteil im Vergleich zum Manipulator dar. Hinzufügend ist mit dem Einsatz der MRK verbunden, „dass neue Aufgaben auch für den Werker im Sinne einer Höherqualifizierung bringen kann, indem er eben solche Roboter, sage ich mal, teacht, anwendet, programmiert, kontrolliert [...] (Experte 9)“. Dementsprechend sehen die Experten hierbei die Chance die Lernkurve des Mitarbeiters durch die MRK zu fördern.

„Die MRK an sich ist natürlich auch flexibler insgesamt. Wenn ich also den Prozess gestaltet habe und dann feststelle, dass ich ihn vielleicht doch noch über die Zeit verbessern kann, ist ein Roboter, den kann ich umprogrammieren, [...], ich kann ihm vielleicht ein anderes Werkzeug geben (Experte 11).“ Folglich wird dem Vorteil der Flexibilität des Systems ein großer Stellenwert zugeschrieben.

Insgesamt bewerten die Experten jedoch die Belastungsreduzierung für den Mitarbeiter in einer MRK als größten Vorteil im Vergleich zum Manipulator, z. B. „die Übernahme von Tätigkeiten, die zu einer negativen Beanspruchung der Werker führen, sei es eben aus einer physischen Überlastung heraus, durch hohe Repetition, durch ungünstige Zwangshaltungen, durch Lastenhandhabung, die natürlich vereinfacht werden kann (Experte 9)“.

Hingegen stufen die Befragten die vorherrschenden arbeitssicherheitsrechtlichen Bestimmungen bei der Umsetzung der MRK als einen sehr großen Nachteil ein, weil diese neue Technologie anspruchsvollere Sicherheitskonzepte nach sich zieht als es bei Manipulatoren der Fall ist. „Und natürlich ggf. die Kosten, weil ein Roboter immer erstmal keine absolute Low-Budget-Lösung sein wird (Experte 3)“. Als weiteren Nachteil wird die Einschränkung des Mitarbeiters „in seiner individuellen Gestaltung des Arbeitsablaufes (Experte 1)“ aufgezählt.

Der Manipulator bringt dennoch einige Vorteile mit, die sich laut Experten über eine geringere Komplexität des Systems, geringere Instandhaltungsaufwendungen, kürzere Einführungsprozesse bis hin zu geringeren Investitionskosten und einfacheren Sicherheitskonzepten erstrecken. „Manipulatoren [...], der zentrale Vorteil den ich da sehe, sie sind schneller einsetzbar, sie sind von der Stange zu kaufen, sie sind günstiger (Experte 13)“. Diese einfacheren Systeme eines Manipulators haben allerdings zur Folge, dass sie lediglich an einem festen Arbeitsplatz implementiert werden und nur durch den Mitarbeiter zur Anwendung kommen. Die damit verbundene Abhängigkeit des Systems vom Mitarbeiter wird dabei nachteilig bewertet. Zudem weisen die Experten auf eine häufig umständliche Bedienung, hohes Gewicht und den zeitintensiven Einsatz des Manipulators hin, was zur Folge hat, dass die Mitarbeiter den Manipulator nicht verwenden. Schließlich betonen die Experten,

„dass letztendlich die pragmatischere Lösung immer Vorteile ziehen wird (Experte 13)“ und die Bewertung jedes einzelnen Systems hinsichtlich der Vor- und Nachteile anwendungsbezogen erfolgen sollte.

#### *Kategorie 8: Umsetzungsvoraussetzungen für MRK*

Bevor jedoch die MRK zum Einsatz kommt, müssen bestimmte Umsetzungsvoraussetzungen erfüllt bzw. berücksichtigt werden. Im Rahmen der Expertenbefragung spielt eine Vielzahl an Aspekten für eine erfolgreiche Umsetzung der MRK eine wichtige Rolle, die in der folgenden Tabelle 16 (siehe S. 83) aufgeführt sind. Diese Schwerpunkte beziehen sich dabei auf eine umfassende Analyse des IST-Zustandes, arbeitssicherheitsrelevante Aspekte und eine ergonomische Erleichterung für den Mitarbeiter. Des Weiteren beinhalten die Umsetzungsvoraussetzungen die Akzeptanz des Roboters, Qualifizierungsstandards sowie die technische Machbarkeit der MRK.

Zu Beginn der Umsetzung sollte der IST-Zustand des Arbeitsplatzes analysiert werden, an dem MRK zum Einsatz kommt. Dazu zählen einerseits die Reihenfolge der Prozessschritte zu überprüfen, die Produktentwicklung heranzuziehen und alternative Gestaltungsmaßnahmen zu beleuchten. Andererseits weisen die Experten auf die Analyse der Aufgabeninhalte hin, „wenn ich da natürlich eine neue MRK-Anwendung implementieren will, dann muss ich im Vorfeld gucken, was sind sozusagen die Aufgabeninhalte und wie wirkt sich das dann sozusagen in dieser Interaktion, welche Aufgaben bleiben übrig und wie sieht dann das zukünftige Aufgabenportfolio des Werkers oder des Teams auch aus (Experte 9)“. Des Weiteren ist die wirtschaftliche Analyse der MRK von besonderer Relevanz, weil „so eine Anlage muss sich innerhalb von ein bis zwei Jahren rentieren, je nach Betrachtungsweise (Experte 11)“. Dem gegenüber stehen wiederum die Ansprüche der Arbeitnehmervertretung, bei MRK die Beschäftigungssicherung aufrechtzuerhalten und die ergonomische Entlastung durch die MRK bei besonders belastenden Tätigkeiten abzusichern.

Im weiteren Verlauf wird die Gewährleistung der Arbeitssicherheit und des Arbeitsschutzes in der MRK von besonderer Relevanz, „weil eins ist Fakt, sollte es mal zu einem Unfall kommen, in nächster Zeit, ist das MRK-Thema für die nächsten fünf Jahre tot. Von daher ist man da aber auf einem guten Weg und die BG auch in einer guten Rolle (Experte 13)“.

Zu den weiteren Umsetzungsvoraussetzungen der MRK zählt die *Akzeptanz* der Mitarbeiter für diese neue Technologie. Hierbei steht die Information und Kommunikation mit den Mitarbeitern im Vordergrund. Die Information sollte sich dabei auf die Arbeitsweise des Roboters, die Sicherheitskonzepte und den ergonomischen Vorteil für den Mitarbeiter beziehen, „damit er sich dort geistig auf die neue Tätigkeit dann auch selber schon vorbereiten

kann (Experte 1)“ und „das Gefühl haben, ja, das hilft wirklich weiter und entlastet mich und nimmt mir ein Stück Zeit weg oder eine wirklich schwierige Last weg und ich kann mich dafür auf andere, filigrane Montage oder sowas konzentrieren (Experte 14)“.

Ein weiterer Aspekt spiegelt die Bedeutung der Partizipation der Mitarbeiter wider, um die Akzeptanz des Roboters bei den Mitarbeitern zu erhöhen. Hierbei „die Mitarbeiter so früh miteinzubeziehen, [...], wie gestalten wir diese Oberfläche, wie willst du das haben? [...] Und ja, vielleicht die wollen es ganz anders machen und das ist aber auch schwer, weil das sind eine Meinung in drei Schichten [...], man muss alle abholen. Aber lieber jetzt, als eine Technik reinzubringen [...] und danach können wir gar nichts mehr machen [...]. Das Schlimmste ist, wenn eine Anlage für eine halbe Million an der Seite steht und der Mitarbeiter arbeitet weiter, da haben wir gar nichts gewonnen. (Experte 10)“. Zudem sollte den Mitarbeitern die Möglichkeit gegeben werden, Erfahrungen mit dem Roboter und der neuen Technologie zu sammeln, weil „man als Mensch auch erfahren muss, dass das wirklich funktioniert. Dann reicht es eben nicht, wenn dir ein Planer sagt: „Ja, das wird funktionieren“, sondern [...] dieses Vertrauen zum System kann man nur durch Erfahrung erlangen (Experte 14)“. Diese erworbene Erfahrung wirkt folglich den Ängsten der Mitarbeiter entgegen und fördert die Akzeptanz der Mitarbeiter für die MRK, weil „das Misstrauen gegenüber einem Roboter, würde ich sagen, jeder normal sterbliche Mensch heute würde dem nicht so ohne weiteres trauen, das wird ein Problem werden (Experte 2)“.

Bei der Expertenbefragung wurde außerdem das Thema *Qualifizierung* „im ausreichenden Maß (Experte 3)“ als Umsetzungsvoraussetzung für die MRK genannt. Hierbei ist die theoretische Qualifizierung und Schulung ebenso von hoher Relevanz wie die Praktische. Diesbezüglich verweisen die Experten auf das notwendige Wissen bei den Produktionsmitarbeitern in der MRK, um im Störfall des Roboters schnell eingreifen zu können, ohne in jedem Fall einen qualifizierten Kollegen zu rufen.

Damit die MRK letztendlich zum Einsatz kommen kann, sehen die Experten eine Vielzahl an *technischen Voraussetzungen*, die vorab geschaffen werden müssen. Zum einen die autonome Aufgabenausführung, „dass der Roboter dieses Hinbringen des Teils, des auch größeren Teils zum Verbauort, ganz sicher autonom ausführen kann und auch flexibel (Experte 14)“. Weiterhin spielt die Takteinbindung des Roboters eine wesentliche Rolle, denn „in der Fließfertigung muss man halt dann immer auch zusehen, dass der Roboter dann immer auch wieder an den Taktanfang kommt (Experte 12)“. Demzufolge ist der Platzbedarf, der mit einer MRK verbunden ist, nicht außer Acht zu lassen und sollte den Experten zufolge vorab geprüft werden. Bezogen auf die Lastgrenzen der Leichtbauroboter (LBR) heben die Experten hervor, dass bisher lediglich geringe Lasten bis 14 kg durch den LBR gehoben werden können

und größere Roboter mit einer höheren Lastgrenze noch nicht über die notwendige Sensorik für den MRK-Einsatz verfügen.

Schließlich bringen die Experten die *Kommunikation* mit allen relevanten Bereichen, wie der Betriebsrat, das Personalwesen, die Produktionsmitarbeiter, den Betreiber der MRK und die Arbeitssicherheit sowie Planer an, um die MRK erfolgreich umzusetzen. Dabei spielt die Interdisziplinarität des Projektteams eine entscheidende Rolle.

Insgesamt ist der folgenden Tabelle 16 die zusammenfassende Darstellung der beschriebenen Umsetzungsvoraussetzungen für eine MRK zu entnehmen.

**Tab. 16: Kategorie 8 – Umsetzungsvoraussetzungen für MRK (eigene Darstellung)**

8. Umsetzungsvoraussetzungen für MRK	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
8.1 Analyse des IST-Zustandes	8.1.1 Prozessanalyse
	8.1.2 Produktentwicklung
	8.1.3 Alternativen prüfen
	8.1.4 Aufgabeninhalte
	8.1.5 Wirtschaftlichkeit
8.2 Arbeitssicherheit	8.2.1 Sicherheitskonzepte
	8.2.2 BG-Zulassung <sup>11</sup>
8.3 Ergonomische Entlastung	
8.4 Beschäftigungssicherung	
8.5 Akzeptanz	8.5.1 Information
	8.5.2 Partizipation
	8.5.3 Erfahrungen sammeln
	8.5.4 Ängste und Nichtakzeptanz
8.6 Qualifizierung	
8.7 Technische Voraussetzungen	8.7.1 Autonomie des Roboters
	8.7.2 Takteinbindung

<sup>11</sup> Berufsgenossenschaftliche Zulassung

	8.7.3 Platzbedarf
	8.7.4 Lastgrenzen
8.8 Kommunikation	8.8.1 Betriebsrat
	8.8.2 Personalwesen
	8.8.3 Produktionsmitarbeiter
	8.8.4 Betreiber
	8.8.5 Arbeitssicherheit
	8.8.6 Planer

*Kategorie 9: Entscheidungskriterien für MRK*

Unter Berücksichtigung der Umsetzungsvoraussetzungen für eine MRK bezieht sich die Kategorie 9 auf die Entscheidungskriterien für den MRK-Einsatz. Hierbei ist eine Unterscheidung zwischen den Kriterien humaner Arbeitsgestaltung, den personalbezogenen und planungsbezogenen Kriterien möglich (siehe Tab. 17).

Bezugnehmend auf die Kriterien humaner Arbeitsgestaltung verweisen einige Experten bei der Auswahl eines MRK-Arbeitsplatzes auf das Ergebnis der Arbeitsplatzbewertung, sofern eines vorliegt, „das sind unsere generellen roten Arbeitsplätze, die wir einfach de facto nicht anders konstruieren können zurzeit und dort müsste man einfach schauen, was macht Sinn (Experte 7)“. Des Weiteren liefern Belastungsspitzen in den vier Hauptbelastungsarten am Arbeitsplatz oder auch „Punktetreiber“ (Experte 2) der Arbeitsplatzbewertung einen wichtigen Ansatz, um den MRK-Einsatz zu bestimmen. „Also ich würde jetzt nicht allein von der Gesamtpunktzahl ausgehen, um einen MRK-Arbeitsplatz auszuwählen, sondern tatsächlich gucken, haben wir diese Einseitigkeit in dem Arbeitsplatz. Ein Arbeitsplatz der beispielsweise gelb ist, wo sich aber die Punkte zu 80 % aus Kräften ergeben, also auch diese Unterampel gelb ist, die sind auffälliger und die sind für uns auch interessanter. (Experte 2)“. Daneben sehen die Experten mit dem MRK-Einsatz eine gute Möglichkeit, um tätigkeitseingeschränkte Mitarbeiter wieder in den Produktionsprozess einzubinden. Dieser Aspekt wird unter den personalbezogenen Kriterien zusammengefasst. Die planungsbezogenen Kriterien wiederum beziehen sich auf die Anzahl der Tätigkeiten im Takt.

Die Tabelle 17 gibt zusammenfassend die erläuterten Entscheidungskriterien für den MRK-Einsatz wieder.

**Tab. 17: Kategorie 9 – Entscheidungskriterien für MRK (eigene Darstellung)**

**9. Entscheidungskriterien für MRK**

Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
9.1 Kriterien humaner Arbeitsgestaltung	9.1.1 Arbeitsplatzbewertung
	9.1.2 Belastungsspitzen
9.2 Personalbezogene Kriterien	9.2.1 Tätigkeitseinschränkungen
9.3 Planungsbezogene Kriterien	9.3.1 Anzahl Tätigkeiten pro Takt

### *Kategorie 10: Gestaltungsaspekte der MRK*

Bei der Gestaltung der MRK spielt den Experten zufolge eine Vielzahl an Aspekten eine wichtige Rolle, die ausschließlich auf der ersten Ebene im Kategoriensystem zu finden sind (siehe Tab. 18).

Dabei werden offene und geschlossene MRK-Systeme unterschieden, wobei die Offenheit immer in Verbindung mit der Einbindung des Roboters in die Produktion verbunden ist. Somit hat der Mitarbeiter in offenen Systemen die Wahl den Roboter als Assistenzsystem zur Hilfe zu nehmen. Hingegen entfällt diese Wahl bei einem geschlossenen System, wo der Mitarbeiter und der Roboter ein fester Bestandteil der Produktion sind. Letzteres wird dabei von den Experten bevorzugt und geht mit der Kontaktvermeidung zwischen Mensch und Roboter einher. Zudem zählt das Aussehen des Roboters zu den Gestaltungsaspekten, das von einem eindeutigen Roboter Design bis hin zum humanoiden Design die Wahrnehmung der Mitarbeiter unterschiedlich beeinflusst. Hierbei kann das Aussehen ebenfalls die Wohlfühlatmosphäre bei der MRK fördern. Allerdings „[...] bis zu welcher Grenze geht es, dass der Mensch das angenehm findet und wo empfindet er dann vielleicht Technologie wiederum bedrohlich, wenn eine Ähnlichkeit zu groß wird (Experte 11)“.

Aus der Expertenbefragung geht ebenfalls hervor, „dass man MRK so organisiert, dass der Mitarbeiter auch weiter Teil eines Teams und einer Organisation ist. Also auch für MRK sollte man Situationen vermeiden, wo vollschichtig dann ausschließlich der Kontakt zum Roboter da ist und eben nicht mehr zu anderen Teammitgliedern oder direkten Vorgesetzten (Experte 8). Demzufolge sollte „Job-Rotation, der Arbeitsplatzwechsel [...], dass der Mitarbeiter häufig andere Tätigkeiten vollzieht, um dann natürlich das Thema Monotonie, Sättigung auch einher zu gehen (Experte 1)“ weiterhin mit MRK möglich sein. Ein weiterer Aspekt spiegelt die Usability des MRK-Systems wieder, indem „die Usability gut ausgelegt ist und den

Erwartungen des Menschen, also was er im Alltag an Technik hat, ähnelt. Dann ist es glaube ich wichtig dafür, dass das funktioniert (Experte 14)“. Zusätzlich sollte die MRK intuitiv gestaltet sein und folglich einfach zu bedienen.

**Tab. 18: Kategorie 10 – Gestaltungsaspekte der MRK (eigene Darstellung)**

10. Gestaltungsaspekte der MRK
Subkategorie Ebene 1
10.1 Offenheit des Systems
10.2 Kontaktvermeidung
10.3 Aussehen des Roboters
10.4 Job-Rotation
10.5 Usability

#### *Kategorie 11: Auswirkungen der MRK*

In der Kategorie 11 beziehen sich die Experten auf die potenziellen Auswirkungen, die durch eine MRK hervorgerufen werden können. Diese Äußerungen lassen sich folglich zum Großteil der ersten Ebene zuordnen und beinhalten Auswirkungen auf die Linienmontage, die Qualifizierung und die Flexibilität. Die Experten sehen allerdings auch Veränderungen bezüglich der Personaldichte, der Teamstruktur, der Qualität der Arbeit und insbesondere des Belastungsempfindens der Mitarbeiter, das zum einen in einer Reduzierung sowie zum anderen in einer Steigerung der Belastung deutlich wird (siehe Tab. 19, S. 88).

Mit Blick auf die Veränderung der *Linienmontage* durch den MRK-Einsatz sehen die Experten die Möglichkeit, anstatt in einer Linie zu arbeiten, eher in kleinen Boxfertigungen zu arbeiten. Des Weiteren wirkt sich die Eintaftung des Roboters in der Linie auf die Möglichkeit des Vorarbeitens aus. „Wenn sie natürlich mit einem Roboter zusammenarbeiten müssen, funktioniert das vielleicht nicht mehr so gut. Also der Roboter wird wahrscheinlich das Vorarbeiten nur begrenzt ermöglichen, weil er natürlich nur in diesem Takt ist und nur in dem Takt auch hantieren kann. Und unsere Mitarbeiter rennen teilweise zehn Takte nach vorne und arbeiten da schon ihren Inhalt ab, den sie erst zehn Takte später machen müssen (Experte 3)“. Dieses Vorarbeiten hat jedoch zur Folge, dass die Mitarbeiter auch nur an dem Arbeitsplatz arbeiten, der ergonomisch so gestaltet wurde, „weil eigentlich ist auch nicht gedacht, dass die Mitarbeiter so weit vorarbeiten, weil die Höhen und etc. dann nicht mehr stimmen (Experte 3)“. Dennoch könnte diese Einschränkungen mit negativen Auswirkungen bezogen auf die Zufriedenheit der Mitarbeiter verbunden sein, „wird natürlich einen Aufschrei geben bei dem

ein oder anderen Produktionssystem, aber wie gesagt, ich selber beobachte nur Menschen und sage immer wieder, es gibt Situationen wo man es zulassen sollte, einfach der Zufriedenheit wegen (Experte 2)“.

Auswirkungen auf die *Qualifizierung* sehen die Experten hinsichtlich der Aufgabenvielfalt, die mit der MRK einhergehen kann. Demnach werden mehr Anlernphasen und folglich höher qualifiziertes Personal benötigt. „Es ist eine Herausforderung, es ist aber auch eine Möglichkeit sich weiter zu verändern und dann auch vielleicht, ja, über die Qualifizierung einer anderen Tätigkeit widmen zu können und dann nicht mehr diese reinen, nur produktiven Tätigkeiten machen zu müssen (Experte 7)“. Dem Gegenüber besteht keine eindeutige Meinung, „ob das jetzt die Qualität der Arbeit so deutlich anhebt (Experte 5)“.

Einigkeit herrscht jedoch bezogen auf die Veränderung der *Personaldichte*, wenn MRK eingeführt wird. Zum einen könnte der Roboter einen Mitarbeiter ersetzen und folglich wäre „weniger Personal erforderlich (Experte 11)“. Zum anderen stellt MRK eine Möglichkeit dar, um den Auswirkungen des demografischen Wandels entgegenzuwirken. „[...] wir sind im Zeitalter der Babyboomer und in ein paar Jahren können wir vielleicht gar nicht so viele Fachkräfte einstellen, wie heute in Vorruhestand oder in die Altersteilzeit oder in die Rente gehen.

In diesem Zusammenhang spielt die *Teamstruktur* bei der Volkswagen AG eine wesentliche Rolle. „Dafür hatten wir ja gute Gründe, die ganze Organisation auch so aufzubauen, wie sie jetzt dann heute funktioniert, eben als Arbeit in einem Team, wo auch das Team für ein Arbeitsergebnis verantwortlich ist und sich selbst organisiert und ich finde diese Grundsätze sollte man auch mit MRK nicht über Bord werfen (Experte 8)“. Um diesbezüglich die Teamstruktur mit der MRK aufrechtzuerhalten, „müsste dann jeder Mitarbeiter ja für diesen Arbeitsplatz qualifiziert sein. [...], wenn das sichergestellt ist, sollte es eigentlich keine Probleme für den Rotationswechsel geben (Experte 13)“. Im Fall, dass Mitarbeiter nicht mit dem Roboter arbeiten möchten, hätte das dagegen negative Auswirkungen auf die Teamarbeit, indem nur eine begrenzte Anzahl an Mitarbeitern in der MRK arbeiten können und sich dadurch die Rotationsmöglichkeit verringert.

Die größte Veränderung sehen die Experten jedoch in dem *Belastungsempfinden* der Mitarbeiter, das sich durch die MRK entweder reduziert oder erhöht. Bezugnehmend auf die Belastungsreduzierung durch MRK wird hervorgehoben, dass sich die körperlichen Belastungen am Arbeitsplatz verringern können, wenn der Roboter zukünftig die körperlich schweren Tätigkeiten und Belastungsspitzen, wie Lastenhandhabung oder das Clipsen, übernimmt. Zudem kommt dadurch eine Reduzierung der Monotonie aufgrund von repetitiven und eintönigen Tätigkeiten in Frage.



Im Gegensatz dazu sind die Experten allerdings auch der Meinung, dass sich eine Belastungssteigerung durch MRK abzeichnen wird. Hierbei wäre eine mögliche Folge die Bewegungsarmut, die mit dem Einsatz der MRK gefördert wird, wenn der Roboter die Laufwege zum Bauteil übernimmt. Diesbezüglich sollte sichergestellt sein, dass bei den anderen Tätigkeiten ausreichend Bewegungen für den Mitarbeiter vorliegen. Weiterhin verweisen die Experten darauf, dass die Teileübergabe vom Roboter an den Mitarbeiter in einer ergonomisch günstigen Lage erfolgen muss, weil sonst eine ungünstige Körperhaltung für den Mitarbeiter daraus resultieren könnte. Sollte der Roboter dann lediglich durch einen Manipulator bewegt werden, kann das folglich neue körperliche Belastungen beim Mitarbeiter hervorrufen. Zusätzlich vermuten die Experten eine neue Geräuschkulisse durch den Roboter, welche schließlich eine weitere Belastung für den Mitarbeiter darstellen kann.

Vor dem Hintergrund der Belastungssteigerung sind außerdem psychische Belastungen durch die MRK denkbar, „dass ich natürlich den Mitarbeiter in seinem Arbeitsablauf, in seiner individuellen Gestaltung des Arbeitsablaufes noch mehr einschränke und [...], in dem Prozess natürlich gebunden ist. Und das kann natürlich bei dem Mitarbeiter dann eher das Thema Stress hervorrufen (Experte 1)“. Des Weiteren könnte durch das Unbekannte bezüglich der neuen Technologie Stress entstehen, „aber irgendwie habe ich so den Eindruck, dass man das, ja, auch erlernen kann. Also nur, weil es etwas Neues ist, mit einem Roboter gemeinsam zu arbeiten, [...], glaube ich nicht, dass das auf lange Frist deswegen immer ein Stressfaktor sein muss (Experte 5)“.

Bezugnehmend auf die Aufgabenaufteilung in der MRK, zählen die Experten ebenfalls die Erhöhung der Monotonie auf, wenn der Mitarbeiter lediglich die Restumfänge ausführen soll und der Roboter die Hauptaufgaben übernimmt. Hierbei fördern ebenfalls die eingeschränkten Handlungsspielräume des Mitarbeiters in der MRK das Stressempfinden. Hinsichtlich der Gefahr von Isolation durch MRK verweisen die Experten auf die fehlenden Interaktionsmöglichkeiten für den Mitarbeiter, wenn der vorherige Kollege im Takt durch einen Roboter ersetzt wurde. Ein weiterer Punkt bezieht sich auf die Anerkennung im Team, wenn nur eine gewisse Anzahl an Mitarbeitern mit dem Roboter arbeiten kann, besteht hierbei die Gefahr des Mobbings, „wenn manche Leute, [...], ein bisschen tollpatschig sind, nach zwei, drei Malen und der geht immer in Störung der Roboter und [...] wirst du nur gemobbt (Experte 10)“.

Die gesamte Darstellung der genannten Auswirkungen der MRK ist der folgenden Tabelle 19 zu entnehmen.

**Tab. 19: Kategorie 11 – Auswirkungen der MRK (eigene Darstellung)**

## 11. Auswirkungen der MRK

Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
11.1 Linienmontage	
11.2 Qualifizierung	
11.3 Personaldichte	
11.4 Teamstruktur	
11.5 Belastungsempfinden	11.9.1 Belastungsreduzierung
	11.9.2 Belastungssteigerung

Die dargestellten Erkenntnisse und Kategorien der Expertenbefragung werden nun in der anschließenden Gruppenbefragung herangezogen und beeinflussen die einzelnen Schritte in der Durchführung der Nutzwertanalyse, die im Folgenden näher beschrieben werden.

## 4.2 Teilstrukturierte Gruppenbefragungen mit Experten

### 4.2.1 Durchführung der teilstrukturierten Gruppenbefragung mittels Nutzwertanalyse und Auswertung

Wie bereits im Kapitel 3.1 beschrieben, erfolgt die Teilstrukturierung der Gruppenbefragung mittels einer Nutzwertanalyse. „Die Nutzwertanalyse ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte der Alternativen (Zangemeister 2014, S. 20).“

Das Instrument der Nutzwertanalyse stellt dabei eine systematische Entscheidungshilfe der Alternativenauswahl anhand der Quantifizierung qualitativer und quantitativer Kriterien dar. Diese Methode ermöglicht die Zuordnung von Zahlenwerten (Nutzwerten) zu nicht-monetären und nicht-technischen Kriterien und damit die Vergleichbarkeit dieser Kriterien. Nach der Zusammenstellung der einzelnen Kriterien werden diese gewichtet und im Anschluss den Zahlenwerten zugeordnet. Die Gewichtung der Kriterien sowie die Nutzung gestufter Bewertungsskalen grenzen die Nutzwertanalyse von einfachen Checklisten ab (Koppelman 2004). Die aufsummierten Zahlenwerte ergeben folglich den Gesamtnutzwert und dienen der direkten Vergleichbarkeit einzelner Alternativen (Wolke 2008). Das Vorgehen der Nutzwertanalyse gliedert Kühnappel (2014) in drei Phasen und insgesamt neun Schritte, die in der Tabelle 20 dargestellt sind.

**Tab. 20: Vorgehen bei der Nutzwertanalyse (in Anlehnung an Kühnapfel 2014)**

Phase	Arbeitsschritte	
<b>Konzeptionsphase</b>	1	Organisation des Arbeitsumfeldes
	2	Benennung des Entscheidungsproblems
	3	Auswahl der Entscheidungsalternativen
	4	Sammlung von Entscheidungskriterien
<b>Bewertungsphase</b>	5	Gewichtung der Entscheidungskriterien
	6	Bewertung der Entscheidungskriterien
<b>Ergebnisphase</b>	7	Nutzwertberechnung
	8	Sensibilitätsanalyse
	9	Dokumentation des Ergebnisses

Im Rahmen der *Konzeptionsphase* sind vier Arbeitsschritte ausschlaggebend. Zu Beginn sollte zunächst, aufgrund des erhöhten Zeitaufwandes, das Arbeitsumfeld organisiert (Schritt 1) werden. Hierzu zählen die Organisation des Moderators, des Teilnehmerkreises sowie die Terminierung der Gruppenbefragung. In der vorliegenden Untersuchung begibt sich der Forscher in die Rolle des Moderators und verfügt über das notwendige Wissen hinsichtlich der Anwendung dieser Methode. Die Stichprobenauswahl der Experten orientiert sich an den gleichen Kriterien, wie bei der Expertenbefragung, die bereits in 4.1.1 detailliert erläutert wurden. Flick (2002) und Kühnapfel (2014) verweisen diesbezüglich auf eine optimale Gruppengröße zwischen fünf und zwölf Teilnehmern. Der Empfehlung entsprechend setzt sich der Teilnehmerkreis aus neun Teilnehmern auf Grundlage der Expertise aus den Bereichen Personal, Gesundheit, Arbeitssicherheit, Robotertechnologie, Industrial Engineering und Planung zusammen.

Im zweiten Schritt steht die Festlegung des Entscheidungsproblems im Fokus. Dabei werden zwei Arten von Entscheidungsproblemen unterschieden: Die Nutzwertanalyse ist demnach bei Auswahlproblemen anzuwenden (entweder, oder) und bei der Sortierung mehrerer Alternativen nach Nutzwerten, die in einer Intervallskala einzuordnen sind (Kühnapfel 2014). Das zu bearbeitende Entscheidungsproblem resultiert aus der formulierten Forschungsfrage (Kap. 2.4), welche Arbeitsplätze das größte ergonomische Verbesserungspotenzial durch den Einsatz einer MRK aufweisen.

Diesbezüglich werden im weiteren Verlauf die Entscheidungsalternativen und somit die ergonomisch kritischen Arbeitsplätze ausgewählt (Schritt 3). Kühnapfel (2014) empfiehlt hierbei eine Größenordnung von ca. fünf Alternativen. Eine höhere Anzahl birgt die Gefahr, dass die Konzentration bzgl. der Individualität der einzelnen Alternativen mit steigender Zahl abnimmt. Die Auswahl der Tätigkeiten bzw. Arbeitsplätze wurde in besonderem Maße auf der

Grundlage der zuvor durchgeführten Expertenbefragung gesteuert. Zum einen wurde der Bereich der auszuwählenden Arbeitsplätze auf die Automobilmontage beschränkt, mit der Begründung, dass dort bisher der geringste Automatisierungsumfang vorliegt und dieser Bereich von den Experten am häufigsten genannt wurde. Zudem diene das Endergebnis der EAWS-Bewertung als erste Orientierung, um in einem zweiten Auswahlschritt die Tätigkeiten einer Montagelinie in einem automobilproduzierenden Werk zu identifizieren, bei denen der Großteil der EAWS-Punkte in einer bestimmten Belastungskategorie zu verorten ist.

Dieses Vorgehen resultiert aus den Ergebnissen der Kategorie „9.1.2 Belastungsspitzen“ (siehe Tab. 17, S. 84) der Expertenbefragung, wonach die Experten darauf hinweisen, insbesondere die Belastungsspitzen zur Auswahl eines MRK Arbeitsplatzes zu berücksichtigen. Demnach lag der Schwerpunkt der Auswahl der Tätigkeiten für die Nutzwertanalyse nicht auf dem EAWS-Endergebnis (z. B. min. 50 Punkte = „roter“ Arbeitsplatz), sondern auf den Teilergebnissen der Sektionen und demzufolge auf den Belastungsspitzen in den Kategorien Körperhaltung, Lasten, Aktionskräfte und Repetition (siehe Kap 2.3.4). Aus dieser Analyse gingen die folgenden fünf Arbeitsplätze aus der Automobilmontage hervor, die in der Ergebnisphase der Nutzwertanalyse hinsichtlich der ergonomischen Verbesserung durch eine MRK bewertet wurden:

- a) Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken,
- b) Leitungsstrang im Motorraum verlegen,
- c) Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum anbringen,
- d) Frontscheibe in Klebeanlage legen und
- e) Warenkorb auf das Montageband ziehen.

Die detaillierte Bewertung der einzelnen Sektionen für jeden Arbeitsplatz ist dem Anhang F (siehe S. 166 ff.) zu entnehmen.

Im weiteren Verlauf werden die Entscheidungskriterien (Schritt 6) gesammelt, die für die Entscheidung des Problems notwendig sind. Dabei sollte ein Set von ca. 10 bis 20 Kriterien herangezogen werden. Diese Anzahl ist ausreichend umfangreich zur Problembewertung und dennoch nicht zu groß, um die Teilnehmer bei der Bewertung zu überfordern (Kühnapfel 2014). Die 15 Entscheidungskriterien, die bei der Bewertung der fünf Arbeitsplätze herangezogen wurden, resultieren ebenfalls zum einen aus der Literaturrecherche sowie zum anderen aus den Ergebnissen der Expertenbefragung (siehe Tab. 17, S. 84) und unterliegen der folgenden Einteilung (siehe Tab. 21).

**Tab. 21: Übersicht der Entscheidungskriterien (eigene Darstellung)**

---

Kriteriengruppe	Entscheidungskriterien	
<b>1. Kriterien humaner Arbeitsgestaltung</b>	1.1	Ausführbarkeit
	1.2	Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit
	1.3	Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit
	1.4	Ergonomische Belastung
<b>2. Persönlichkeitsförderliche Kriterien</b>	2.1	Ganzheitlichkeit
	2.2	Gleichförmigkeit
	2.3	Soziale Interaktion
	2.4	Autonomie
	2.5	Komplexität
<b>3. Personalbezogene Kriterien</b>	3.1	Hohe Arbeitsunfähigkeiten
	3.2	Einsatzpotenzial für TTKE-Mitarbeiter
	3.3	Rotation
<b>4. Planungsbezogene Kriterien</b>	4.1	Hohes Vorkommen der Tätigkeit in der Linie
	4.2	Technische Machbarkeit
	4.3	Geringe Investitionskosten

Die *Bewertungsphase* (gemäß Tab. 20, S. 89) setzt sich aus zwei Schritten zusammen und findet unter Einbeziehung der Teilnehmer statt. Sofern alle Kriterien festgelegt wurden, erfolgt die Gewichtung der Entscheidungskriterien. Dieses Gewicht gibt die relative Bedeutung jedes einzelnen Kriteriums an, wobei die Summe aller Gewichte der Kriterien 100 % beträgt. Um der Objektivität der Gewichtung gerecht zu werden, wird die Methode des Paarvergleichs angewendet, in der die Kriterien in einer Kreuztabelle aufgelistet sind. Hierfür müssen sich die Teilnehmer einzeln entscheiden, ob z. B. Kriterium A wichtiger ist als Kriterium B, als Kriterium C usw., bis zur letzten Entscheidung. Die Gegenfrage wird dabei nicht gestellt, weil durch die Erstbewertung z. B. Kriterium B immer unwichtiger sein wird als Kriterium A. Zudem wird ein Vergleich der gleichen Kriterien ebenfalls ausgeschlossen und diese Felder in der Kreuztabelle grau hinterlegt. In die Kreuztabelle wird nun eingetragen, von wie vielen Teilnehmern das eine Kriterium als wichtiger erachtet wird als das andere. Aus der Summe der Nennungen der einzelnen Kriterien lassen sich nun durch den Dreisatz die Gewichte in Prozent ermitteln (Kühnapfel 2014). Die Gewichtung wurde aufgrund der zeitlichen Begrenzung der Experten vor der Gruppenbefragung per Datei angefordert und die Gewichtungen der Experten durch den Moderator zusammengeführt.

Sobald die Gewichte der einzelnen Entscheidungskriterien vorliegen, erfolgt die Bewertung der Entscheidungskriterien bezogen auf die zu Beginn festgelegten Alternativen im Rahmen der Gruppenbefragung, die insgesamt einen zeitlichen Aufwand von acht Stunden in Anspruch nahm. Der Gesamtaufwand erstreckte sich dabei über zwei separate Termine mit je vier

Stunden, in denen außerdem die ausgewählten fünf Arbeitsplätze der Montagelinie mit allen Teilnehmern besichtigt wurden.

Vorbereitend auf diese Bewertung muss jedoch die geeignete Skala zur Bewertung ausgewählt werden. Dabei unterliegen die Anforderungen an eine Skala den Prämissen der Eindeutigkeit und Praktikabilität. Mit der Skala soll die Beantwortung der folgenden Fragen möglich sein: „In welchem Maße ist das jeweilige Kriterium bei der zu bewertenden Handlungsoption erfüllt?“ bzw. „In welchem Maße trifft das Kriterium bei der zu bewertenden Handlungsoption zu?“ (Kühnapfel 2014, S. 16). Dabei wird eine weit gespreizte Skala von bspw. Null bis 1000 mit der Gefahr einer zu starken Polarisierung nicht empfohlen. Im Gegensatz dazu ist eine sehr kleine Skala, z. B. eine Drei-Punkte-Skala, aufgrund der mangelnden Differenzierungsmöglichkeiten ebenfalls nicht geeignet.

Kühnapfel (2014) schlägt zur Bewertung entweder die 10er-Skala, die Schulnotenskala oder die Oberstufen-Punktwertskala vor. Der Nachteil der Schulnotenskala liegt jedoch in der anschließend erforderlichen Umrechnung der Noten bezogen auf den Punktwert, der letztendlich mit dem Gewicht multipliziert wird. Demzufolge liegt der Vorteil der letztgenannten Skala darin, dass die Umrechnung des Punktesystems an dieser Stelle entfällt, weil die Punktzahl 15 gleichzeitig der Schulnote 1+ entspricht. Zudem ist es hilfreich den Teilnehmer zur Bewertung Punktwertkorridore vorzugeben, sodass die Orientierung in der Skala vereinfacht wird. Diese Punktkorridore sind in der Oberstufen-Skala bereits vorgegeben, somit entsprechen die Punkte 15 bis 13 der Schulnote 1 und 12 bis 10 der Schulnote 2 usw. Demnach birgt die Oberstufen-Skala (siehe Abb. 9) die meisten Vorteile und wird für die vorliegende Nutzwertanalyse ausgewählt.

sehr gut			gut			befriedigend			ausreichend			mangelhaft			ungenügend
+	1	-	+	2	-	+	3	-	+	4	-	+	5	-	6
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

**Abb. 9: Oberstufen-Punktwertskala (eigene Darstellung in Anlehnung an KMK 1972)**

Anschließend bewertet die Teilnehmergruppe anhand der gewählten Skala jedes Kriterium einzeln mit Bezug zu jeder Alternative. Dabei besteht die Möglichkeit, dass einige Kriterienwerte mithilfe mathematischer Korrelationen berechnet werden, andernfalls ergibt sich der Punktwert aus der Diskussion der Teilnehmer, die sich gemeinsam auf einen Punktwert einigen (Kühnapfel 2014).

Um den Diskussionsverlauf der Experten sowie die Punktbewertung für die weitere Auswertung sicherzustellen, wurde die gesamte Gruppenbefragung mit dem Einverständnis der Teilnehmer mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet. Auf der Grundlage der Audioaufzeichnung entstand folglich ein Transkript, das die Diskussion im Rahmen der

Bewertungsphase und die Punktbewertung beinhaltet. Die anschließende Auswertung des Transkriptes folgt dabei dem bereits erläuterten Vorgehen und demnach dem Codieren der Aussagen und dem Analysieren in Bezug auf dahinterstehende Theorien (Mayerhofer 2009).

Wurde nun jedes Kriterium für jede Alternative in der Gruppe bewertet, schließt sich die *Ergebnisphase* (gemäß Tab. 20, S. 89) mit drei weiteren Schritten an. Die Nutzwertberechnung (Schritt 7) findet im Nachgang an die Gruppenbefragung statt. Der Moderator hat hierbei die Aufgabe die Punktwerte der Kriterien je Alternative mit den Gewichten zu multiplizieren und die Summe aller Punktwerte zu berechnen, welche als Nutzwert bezeichnet wird. Aus der Berechnung der einzelnen Nutzwerte der Alternativen erfolgt nun der Vergleich der Nutzwerte, um die Alternative zu identifizieren, die den höchsten Nutzwert ausweist. Andernfalls ermöglicht die Nutzwertberechnung eine Rangfolge der Alternativen aufzustellen, um die Alternative mit der höchsten Priorität zu verdeutlichen (Kühnapfel 2014).

Stellt der Moderator fest, dass die Teilnehmerurteile während der Diskussion durch die Dynamik der Gruppe beeinflusst wurden, sollte sich die Sensibilitätsprüfung (Schritt 8) anschließen. Der Schwerpunkt dieser Prüfung liegt darin, die Kriteriengewichte und -bewertung zu variieren, um die Veränderung der Nutzwerte und somit die Präferenzprüfung zu ermitteln. Schließlich ist mit der Dokumentation der Ergebnisse (Schritt 9) z. B. in Form einer Präsentation die Nutzwertanalyse vollständig abgeschlossen (ebd.).

Auf die Ergebnisse der Bewertungs- sowie Ergebnisphase der Nutzwertanalyse der vorliegenden Untersuchung wird im folgenden Kapitel näher eingegangen.

## 4.2.2 Ergebnisdarstellung der Gruppenbefragung

Nachdem die Konzeptionsphase der Nutzwertanalyse bereits näher beschrieben und auf den aktuellen Forschungsschwerpunkt angewendet wurde, geht es nun um die Ergebnisdarstellung der Bewertungs- sowie Ergebnisphase der Nutzwertanalyse.

Die Bewertungsphase erfolgte dabei unter Einbeziehung der Teilnehmer der Gruppenbefragung. Angesichts der Zeitknappheit der Teilnehmer, wurde die Gewichtung (Schritt 5) der 15 Entscheidungskriterien mittels Paarvergleichsmethode vorab von jedem Teilnehmer einzeln angefordert und in einer Gesamtübersicht zusammengetragen. Mit dem Ziel, dass die Gewichtung der Kriterien auf der gleichen Wissensbasis der Teilnehmer stattfindet, wurde dafür ebenfalls ein Definitionskatalog (siehe Tab. 22) der Kriterien zur Verfügung gestellt.

**Tab. 22: Definitionen der Entscheidungskriterien (eigene Darstellung)**

Gruppe	Entscheidungskriterien	Definitionen
<b>1. Kriterien humaner Arbeitsgestaltung</b>	1.1 Ausführbarkeit	Die Arbeitsbedingungen sind so gestaltet, das die Arbeit ausführbar ist (z. B. klare Anweisungen, geeignete Arbeitsmittel).
	1.2 Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit	Die Arbeit darf keine gesundheitlichen Schäden im Sinne der Arbeitssicherheit verursachen (z. B. Vermeidung von Unfällen).
	1.3 Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit	Belastungen und Beanspruchungen der Tätigkeit führen langfristig zu keinen psychischen Beeinträchtigungen.
	1.4 Ergonomische Belastung	Es liegt ein hohes ergonomisches Gesundheitsrisiko laut EAWS-Bewertung vor.
<b>2. Persönlichkeitsförderliche Kriterien</b>	2.1 Ganzheitlichkeit	Die Aufgaben enthalten planende, ausführende und kontrollierende Anteile.
	2.2 Gleichförmigkeit	Die Arbeit beinhaltet Wiederholungen der gleichen Arbeitsabläufe und / oder kurzzyklische Tätigkeiten im Takt.
	2.3 Soziale Interaktion	Die Aufgaben ermöglichen Kooperation und Kommunikation. Es liegt keine Isolation vor.
	2.4 Autonomie	Handlungsspielräume sind kaum vorhanden.
	2.5 Komplexität	Bearbeiten unterschiedlicher Tätigkeiten, parallele Ausführung liegt vor, flexibles Handeln erforderlich.
<b>3. Personalbezogene Kriterien</b>	3.1 Hohe Arbeitsunfähigkeiten	Mitarbeiter an diesem Arbeitsplatz sind häufig arbeitsunfähig.
	3.2 Einsatzpotenziale für TTKE-Mitarbeiter	Durch den MRK-Einsatz werden tätigkeitseingeschränkte Mitarbeiter wieder in die Arbeit integriert.
	3.3 Rotation	Systematischer Arbeitsplatzwechsel innerhalb eines Teams ist möglich.
<b>4. Planungsbezogene Kriterien</b>	4.1 Hohes Vorkommen einer Teiltätigkeit in der Linie	Teiltätigkeiten treten vermehrt in der Montagelinie auf.
	4.2 Technische Machbarkeit	Technische Umsetzung der MRK für min. eine Teiltätigkeit ist nach heutigem technischem Stand möglich.
	4.3 Geringe Investitionskosten	Die Investition für die Umsetzung der MRK für mindestens eine Teiltätigkeit ist gering.

Aus der Abbildung 10 (siehe S. 96) geht hervor, dass insgesamt 9 Teilnehmer den paarweisen Vergleich vornahmen und dem Kriterium, dass ein Arbeitsplatz für den Mitarbeiter erträglich und damit frei von gesundheitlichen Schäden sein muss, das größte Gewicht mit 11 % zuschreiben. Dem anschließend wird der gesamten Kriteriengruppe der humanen Arbeitsgestaltung (1.1 bis 1.4) der größte Stellenwert zugeordnet. Entgegen dazu bewerten



die Teilnehmer sowohl die Gleichförmigkeit, die Komplexität als auch das Vorkommen der Tätigkeit in der Linie mit einem Gewichtungswert von 3 % als unwichtigste Kriterien.

Gruppe	Entscheidungskriterien	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	Zeilen-Σ	Gewichtungswert
1.	1.1 Ausführbarkeit	5	4	4	8	7	8	8	8	9	6	7	9	9	5	6	95	0,10
	1.2 Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit	4	8	7	9	8	9	9	9	9	7	6	9	9	6	7	107	0,11
	1.3 Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit	5	1	3	5	7	7	8	8	8	4	6	7	7	5	6	79	0,08
	1.4 Ergonomische Belastung	5	2	6	6	8	7	8	8	8	7	7	8	8	6	7	93	0,10
2.	2.1 Ganzheitlichkeit	1	0	4	3	8	3	4	6	3	2	3	7	4	4	52	0,05	
	2.2 Gleichförmigkeit	2	1	2	1	1	5	3	2	1	2	1	3	1	2	27	0,03	
	2.3 Soziale Interaktion	1	0	2	2	6	4	5	5	3	3	4	6	5	6	52	0,05	
	2.4 Autonomie	1	0	1	1	5	6	4	5	1	0	1	6	2	3	36	0,04	
	2.5 Komplexität	0	0	1	1	3	7	4	4	1	0	0	4	2	3	30	0,03	
3.	3.1 Hohe Arbeitsunfähigkeiten	3	2	5	2	6	8	6	8	8	6	7	7	3	6	77	0,08	
	3.2 Einsatzpotenzial für TTKE-Mitarbeiter	2	3	3	2	7	7	6	9	9	3	6	8	6	8	79	0,08	
	3.3 Rotation	0	0	2	1	6	8	5	8	9	2	3	8	4	6	62	0,07	
4.	4.1 Hohes Vorkommen der Tätigkeit in der Linie	0	0	2	1	2	6	3	3	5	2	1	1	2	2	30	0,03	
	4.2 Technische Machbarkeit	4	3	4	3	5	8	7	7	7	6	3	5	7	8	77	0,08	
	4.3 Geringe Investitionskosten	3	2	3	2	5	7	6	6	6	3	1	3	7	1	55	0,06	
<b>Σ</b>																<b>951</b>	<b>100%</b>	

**Abb. 10: "Ist-wichtiger-als"-Stimmen (eigene Darstellung)**

Im weiteren Verlauf der Bewertungsphase bestand die Aufgabe für die Teilnehmer darin, auf der Grundlage der Besichtigung der fünf Arbeitsplätze der Montagelinie 4 nun die Entscheidungskriterien für jeden einzelnen Arbeitsplatz im Rahmen einer Gruppendiskussion unter Verwendung der Oberstufen-Punktskala zu bewerten (Schritt 6). Demnach regte der Moderator mit den folgenden Fragen, die Punktbewertung der Entscheidungskriterien in der Gruppe an, wobei 15 Punkte der vollen Erfüllung und 0 Punkte keiner Erfüllung entsprechen:

**1. Kriterien humaner Arbeitsgestaltung:**

- 1.1 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ eine mangelnde Ausführbarkeit vor?
- 1.2 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ eine mangelnde Erträglichkeit vor?
- 1.3 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ eine mangelnde Zumutbarkeit vor?
- 1.4 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ eine hohe ergonomische Belastung vor?

**2. Persönlichkeitsförderliche Kriterien:**

- 2.1 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ eine mangelnde Ganzheitlichkeit der Aufgabe vor?

2.2 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ eine hohe Gleichförmigkeit in der Aufgabe vor?

2.3 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ eine gute soziale Interaktion der Kollegen vor?

2.4 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ ein eingeschränkter Handlungsspielraum vor?

2.5 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ eine hohe Komplexität der Aufgabe vor?

### *3. Personalbezogene Kriterien:*

3.1 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ eine hohe Arbeitsunfähigkeit der Mitarbeiter vor?

3.2 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ ein hohes Potenzial zur Reintegration für TTKE-Mitarbeiter vor?

3.3 „Liegt beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ eine eingeschränkte Rotation im Team vor?

### *4. Planungsbezogene Kriterien:*

4.1 „Kommen die Tätigkeiten beim Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ häufiger in der Montagelinie vor?

4.2 Ist technische Umsetzung der MRK für min. eine Teiltätigkeit des Arbeitsplatzes „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ nach heutigem technischem Stand möglich?

4.3 Sind die Investitionskosten für die technische Umsetzung der MRK für min. eine Teiltätigkeit des Arbeitsplatzes „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ gering?

Dem Muster der Fragen folgend, wurde jeder Arbeitsplatz hinsichtlich der 15 Entscheidungskriterien bezogen auf den Erfüllungsgrad in der Gruppe bewertet. Die Auflistung der nachstehenden Abbildungen 11 bis 15 (siehe S. 98 ff.) stellt die Punktbewertung für die fünf Arbeitsplätze der Montagelinie 4 dar:

- a) Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken,
- b) Leitungsstrang im Motorraum verlegen,
- c) Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum anbringen,
- d) Frontscheibe in Klebeanlage legen und

e) Warenkorb auf das Montageband ziehen.

Entscheidungsalternative		Frontklappe öffnen, Gasdruckfeder aufdrücken															
		Punktbewertung															
Entscheidungskriterien		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1.1	Ausführbarkeit										6						
1.2	Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit						10										
1.3	Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit										5						
1.4	Ergonomische Belastung					11											
2.1	Ganzheitlichkeit						10										
2.2	Gleichförmigkeit															1	
2.3	Soziale Interaktion						10										
2.4	Autonomie		14														
2.5	Komplexität		14														
3.1	Hohe Arbeitsunfähigkeiten															2	
3.2	Einsatzpotenzial für TTKE-Mitarbeiter						10										
3.3	Rotation									7							
4.1	Hohes Vorkommen der Tätigkeit in der Linie											5					
4.2	Technische Machbarkeit			13													
4.3	Geringe Investitionskosten												4				

Abb. 11: Punktbewertung für Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ (eigene Darstellung)

Entscheidungsalternative		Leitungsstrang in Motorraum verlegen															
		Punktbewertung															
Entscheidungskriterien		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1.1	Ausführbarkeit							9									
1.2	Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit								7								
1.3	Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit							9									
1.4	Ergonomische Belastung			13													
2.1	Ganzheitlichkeit								8								
2.2	Gleichförmigkeit								8								
2.3	Soziale Interaktion					11											
2.4	Autonomie				12												
2.5	Komplexität							9									
3.1	Hohe Arbeitsunfähigkeiten		14														
3.2	Einsatzpotenzial für TTKE-Mitarbeiter														2		
3.3	Rotation				12												
4.1	Hohes Vorkommen der Teiltätigkeit in der Linie						10										
4.2	Technische Machbarkeit															1	
4.3	Geringe Investitionskosten																0

Abb. 12: Punktbewertung für Arbeitsplatz „Leitungsstrang in Motorraum verlegen“ (eigene Darstellung)

Entscheidungsalternative		Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum anbringen															
		Punktbewertung															
Entscheidungskriterien		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1.1	Ausführbarkeit			13													
1.2	Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit			13													
1.3	Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit					11											
1.4	Ergonomische Belastung		14														
2.1	Ganzheitlichkeit									6							
2.2	Gleichförmigkeit			13													
2.3	Soziale Interaktion					11											
2.4	Autonomie				12												
2.5	Komplexität							9									
3.1	Hohe Arbeitsunfähigkeiten			13													
3.2	Einsatzpotenzial für TTKE-Mitarbeiter														2		
3.3	Rotation				12												
4.1	Hohes Vorkommen der Teiltätigkeit in der Linie			13													
4.2	Technische Machbarkeit													3			
4.3	Geringe Investitionskosten															1	

Abb. 13: Punktbewertung für Arbeitsplatz „Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum anbringen“ (eigene Darstellung)

Entscheidungsalternative		Frontscheibe in Klebeanlage															
		Punktbewertung															
Entscheidungskriterien		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1.1	Ausführbarkeit										6						
1.2	Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit						10										
1.3	Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit											5					
1.4	Ergonomische Belastung						10										
2.1	Ganzheitlichkeit								8								
2.2	Gleichförmigkeit						10										
2.3	Soziale Interaktion									7							
2.4	Autonomie							9									
2.5	Komplexität													3			
3.1	Hohe Arbeitsunfähigkeiten												4				
3.2	Einsatzpotenzial für TTKE-Mitarbeiter					11											
3.3	Rotation												4				
4.1	Hohes Vorkommen der Teiltätigkeit in der Linie										6						
4.2	Technische Machbarkeit			13													
4.3	Geringe Investitionskosten										6						

Abb. 14: Punktbewertung für Arbeitsplatz „Frontscheibe in Klebeanlage einlegen“ (eigene Darstellung)

Entscheidungsalternative		Warenkorb aufziehen															
		Punktbewertung															
Entscheidungskriterien		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1.1	Ausführbarkeit											5					
1.2	Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit						10										
1.3	Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit							9									
1.4	Ergonomische Belastung			13													
2.1	Ganzheitlichkeit								8								
2.2	Gleichförmigkeit											4					
2.3	Soziale Interaktion								8								
2.4	Autonomie					11											
2.5	Komplexität						10										
3.1	Hohe Arbeitsunfähigkeiten											5					
3.2	Einsatzpotenzial für TTKE-Mitarbeiter																0
3.3	Rotation												4				
4.1	Hohes Vorkommen der Teiltätigkeit in der Linie											5					
4.2	Technische Machbarkeit																0
4.3	Geringe Investitionskosten																0

**Abb. 15: Punktbewertung für Arbeitsplatz „Warenkorb aufziehen“ (eigene Darstellung)**

Mit der Punktwertvergabe in der Gruppe ist die Bewertungsphase der Nutzwertanalyse abgeschlossen. Anschließend erfolgt die Ergebnisphase, die durch den Forscher durchgeführt wird. Im Kontext dieser Phase schließt sich die Nutzwertberechnung (Schritt 7) an. Hierbei werden die Punktwerte der einzelnen Entscheidungskriterien mit den Gewichtungswerten aus dem paarweisen Vergleich je Arbeitsplatz multipliziert. Daraus resultierend ergibt jede Zeile ein Teilnutzwert, der in der Summe aller Teilnutzwerte einen Gesamtnutzwert pro Arbeitsplatz ausweist. Eine beispielhafte Nutzwertberechnung wird im Folgenden anhand der Abbildung 16 näher erläutert.

Entscheidungsalternative		Frontklappe öffnen, Gasdruckfeder aufdrücken														Gewichtungs- wert (Gi)	TNW (Gi x Pkt.)	TNW gesamt		
		Punktbewertung																		
Entscheidungskriterien		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
1.1	Ausführbarkeit									6								0,1	0,6	3,30
1.2	Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit					10												0,12	1,2	
1.3	Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit									5								0,08	0,4	
1.4	Ergonomische Belastung				11													0,1	1,1	
2.1	Ganzheitlichkeit					10												0,05	0,5	2,01
2.2	Gleichförmigkeit														1			0,03	0,03	
2.3	Soziale Interaktion					10												0,05	0,5	
2.4	Autonomie			14														0,04	0,56	
2.5	Komplexität			14														0,03	0,42	
3.1	Hohe Arbeitsunfähigkeiten														2			0,08	0,16	1,45
3.2	Einsatzpotenzial für TTKE-Mitarbeiter					10												0,08	0,8	
3.3	Rotation							7										0,07	0,49	
4.1	Hohes Vorkommen der Tätigkeit in der Linie										5							0,03	0,15	1,43
4.2	Technische Machbarkeit			13														0,08	1,04	
4.3	Geringe Investitionskosten											4						0,06	0,24	

**Abb. 16: Teilnutzwertberechnung für Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ (eigene Darstellung)**

Wie aus der Abbildung 16 zu entnehmen ist, wurde das Kriterium 1.1 mit einem Punktwert von „6“ durch die Gruppe bewertet. Das zuvor ermittelte Gewicht dieses Kriteriums liegt bei 10 %. Somit ergibt die Multiplikation des Punktwertes „6“ mit dem Gewicht von 10 % einen Teilnutzwert von 0,6 für das Kriterium 1.1. Diese Berechnung wird demnach für alle Kriterien durchgeführt. Im Ergebnis liegen schließlich 15 Teilnutzwerte für den Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ vor, die in der Summe einen Gesamtnutzwert von 8,19 ergeben. Mit Rückblick auf das zu Beginn der Nutzwertanalyse definierte Entscheidungsproblem, ist festzuhalten, dass bei dem Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ für den Einsatz der MRK zur ergonomischen Verbesserung ein Gesamtnutzwert von 8,19 (von max. 15) vorliegt. Dieses Vorgehen zur Berechnung der Teil- sowie Gesamtnutzwerte wurde ebenfalls für die weiteren vier Arbeitsplätze durchgeführt und ergibt folgendes Ergebnis (siehe Abb. 17, S. 102).

Als Folge dessen ermöglicht die Nutzwertberechnung schließlich die Erstellung einer Rangfolge (siehe Tab. 23) der fünf Arbeitsplätze, die letztendlich aussagt, für welchen Arbeitsplatz MRK das größte ergonomische Verbesserungspotenzial aufweist. Demnach wurde der Arbeitsplatz „Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum anbringen“ mit dem höchsten Nutzwert von 9,86 bewertet. Darauf folgend weisen die Arbeitsplätze „Leitungsstrang in Motorraum verlegen“ und „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ einen ähnlichen Nutzwert mit 8,2 bzw. 8,19 auf. Den vorletzten Rang belegt zudem der Arbeitsplatz „Frontscheibe in Klebeanlage einlegen“ mit einem Nutzwert von 7,76. Dem gegenüber erhält der Arbeitsplatz „Warenkorb aufziehen“ den geringsten Nutzwert von 6,21.

**Tab. 23: Rangfolge der Gesamtnutzwerte (eigene Darstellung)**

Rangfolge der Gesamtnutzwerte		NW
1	Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum anbringen	9,86
2	Leitungsstrang in Motorraum verlegen	8,2
3	Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken	8,19
4	Frontscheibe in Klebeanlage einlegen	7,76
5	Warenkorb aufziehen	6,21

Entscheidungskriterien	Frontklappe öffnen, Gasdruckfeder aufdrücken		Leitungsrang in Motorraum verlegen		Seitenverkleidung anbringen		Frontscheibe in Klebeanlage		- Warenkorb aufziehen	
	TNW	Σ TNW	TNW	Σ TNW	TNW	Σ TNW	TNW	Σ TNW	TNW	Σ TNW
1.1 Ausführbarkeit	0,6		0,9		1,3		0,6		0,5	
1.2 Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit	1,2		0,84		1,56		1,2		1,2	
1.3 Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit	0,4	3,30	0,72	3,76	0,88	5,14	0,4	3,20	0,72	3,72
1.4 Ergonomische Belastung	1,1		1,3		1,4		1		1,3	
2.1 Ganzheitlichkeit	0,5		0,4		0,3		0,4		0,4	
2.2 Gleichförmigkeit	0,03		0,24		0,39		0,3		0,12	
2.3 Soziale Interaktion	0,5	2,01	0,55	1,94	0,55	1,99	0,35	1,50	0,4	1,66
2.4 Autonomie	0,56		0,48		0,48		0,36		0,44	
2.5 Komplexität	0,42		0,27		0,27		0,09		0,3	
3.1 Hohe Arbeitsunfähigkeiten	0,16		1,12		1,04		0,32		0,4	
3.2 Einsatzpotenzial für TTKE-Mitarbeiter	0,8	1,45	0,16	2,12	0,16	2,04	0,88	1,48	0	0,68
3.3 Rotation	0,49		0,84		0,84		0,28		0,28	
4.1 Hohes Vorkommen der Tätigkeit in der Linie	0,15		0,3		0,39		0,18		0,15	
4.2 Technische Machbarkeit	1,04	1,43	0,08	0,38	0,24	0,69	1,04	1,58	0	0,15
4.3 Geringe Investitionskosten	0,24		0		0,06		0,36		0	
Σ NW		8,19		8,2		9,86		7,76		6,21

Abb. 17: Ergebnisübersicht der Nutzwertberechnung (eigene Darstellung)

## 5 Empirie der Studie 2 zur Untersuchung der Mitarbeitersicht auf den Auswahl- und Einführungsprozess der MRK

Während die Studie 1 den Schwerpunkt des Auswahlprozesses der MRK fokussiert, wird in der Studie 2 der Einführungsprozess sowie der Nutzen der MRK durch die Produktionsmitarbeiter, die bereits in einer MRK arbeiten, bewertet. Auf der Basis des in Kapitel 3 vorgestellten Studienformates kommen dabei problemzentrierte Interviews zur Anwendung, um die Mitarbeitersicht auf die ergonomische Verbesserung der Arbeitsplatzbedingungen durch die MRK sowie auf den Auswahl- und Einführungsprozess der neuen Technologie zu untersuchen. Der dafür benötigte Erhebungs- sowie Auswertungsprozess von problemzentrierten Interviews wird im Folgenden beschrieben. Im Resultat schließt die Darstellung der Interviewergebnisse in Form von Kategorien das Kapitel ab.

### 5.1 Durchführung und Auswertung der problemzentrierten Interviews

Mit dem problemzentrierten Interview wird das Ziel verfolgt, individuelle Handlungen und subjektive Wahrnehmungen möglichst unvoreingenommen zu erfassen (Witzel 1982). Bezogen auf diesen Erkenntnisgewinn ist das problemzentrierte Interview durch ein induktiv-deduktives Vorgehen gekennzeichnet. Das auf der Grundlage der Literaturrecherche angeeignete Vorwissen des Forschers dient in der Erhebungsphase als Rahmen der Leitfadenkonstruktion für das Interview. Zudem wird das Prinzip der Offenheit verfolgt, indem narrative Äußerungen durch spezifische Bedeutungsrahmen bezogen auf das Problem angeregt werden (Witzel 2000). Diesbezüglich werden problemzentrierte Interviews durch die drei Grundpositionen Problemzentrierung, Gegenstands- und Prozessorientierung charakterisiert, welche bereits im Kapitel 3.2 näher erläutert wurden. Das zentrale Kriterium der Problemzentrierung „gewährleistet, dass die Forscher den Untersuchungsgegenstand in aktiver Form als üblich explorieren können“ (Witzel 1982, S. 93):

„[...] einmal bezieht es sich auf eine relevante gesellschaftliche Problemstellung und ihre theoretische Ausformulierung als elastisch zu handhabendes Vorwissen des Forschers. Zum anderen zielt es auf Strategien, die in der Lage sind, die Explikationsmöglichkeiten der Befragten so zu optimieren, dass sie ihre Problemsicht auch gegen die Forscherinterpretation und in den Fragen implizit enthaltenen Unterstellungen zur Geltung bringen können“ (ebd., S. 69).“



Zu Beginn der Interviewdurchführung nimmt der Forschende zu potenziellen Interviewpartnern Kontakt auf. In diesem Zusammenhang erfolgt die Versendung der Einladung sowie die Terminvereinbarung mit den potenziellen Interviewpartnern über die Meister der entsprechenden Teams, damit zum Interviewzeitpunkt garantiert werden konnte, dass die freiwilligen Interviewteilnehmer vom Arbeitsprozess freigestellt wurden (siehe Anhang D, S. 164).

Der Erhebungszeitraum der problemzentrierten Interviews erstreckt sich dabei von Januar bis Februar 2017, welche unter ausschließlicher Anwesenheit des Interviewpartners und des Forschers in einer ruhigen Atmosphäre durchgeführt wurden. Jedes Interview wird dabei mit einem Aufnahmegerät unter Beachtung der Datenschutzbestimmungen und mit Zustimmung der Datenschutzkommission der Volkswagen AG sowie der einzelnen Interviewteilnehmer aufgezeichnet. Die Tonbandaufzeichnung ermöglicht dabei im Gegensatz zu Gesprächsprotokollen die detaillierte Erfassung des Kommunikationsprozesses, der anschließend vollständig transkribiert wird. Zudem liegt die Konzentration des Interviewers allein auf dem Gespräch und wird nicht durch das Anfertigen von Stichpunkten unterbrochen.

Bezugnehmend auf den Stichprobenumfang empfehlen Zaltman und Higie (1993) sieben bis 15 Interviews zwischen 90 und 120 Minuten zu führen. Vor dem Hintergrund der begrenzten Anzahl an Produktionsmitarbeitern, die bereits in einer MRK arbeiten, beschränkt sich der Stichprobenumfang der problemzentrierten Interviews auf Sieben. Zudem bringt die taktgebundene Arbeitsorganisation in der Montagelinie eine weitere Einschränkung bzgl. der Interviewdauer mit sich, welche im Durchschnitt 36 Minuten beträgt.

Bei der Intervieweinleitung liegt ein besonderes Augenmerk auf der Zusicherung der Anonymisierung des Transkriptes und der Erläuterung der gewählten Erhebungsmethode und des Untersuchungsschwerpunktes. Dabei wird betont, dass die individuellen Vorstellungen und Meinungen der Interviewpartner über den Einführungsprozess der MRK und die Zusammenarbeit mit dem Roboter von besonderer Relevanz sind. Die anschließende Gestaltung des Interviews erfolgt dann unter Berücksichtigung erzählgenerierender Kommunikationsstrategien zum Einstieg sowie verständnisgenerierenden Nachfragen und Zurückspiegelungen (Witzel 2000).

Um die Vergleichbarkeit der Interviews sicherzustellen, dient der Interviewleitfaden als Orientierungsrahmen und enthält die relevanten Forschungsschwerpunkte. Vorformulierte Fragen vereinfachen hierbei den Gesprächsbeginn und leiten einzelne Themenbereiche im Interview ein. Insgesamt erfüllt der Leitfaden eine Kontrollfunktion, inwieweit die einzelnen Elemente der Forschungsfragen im Laufe des Interviews besprochen wurden (ebd.). Zudem

wurden bei der Leitfadenkonstruktion ebenfalls die vier Grundsätze nach Helfferich (2014) und Schnell et al. (1999) bzgl. der Fragengestaltung, wie in Studie 1 (Kap. 4.1.2), berücksichtigt.

In der vorliegenden Untersuchung setzt sich der Leitfaden aus den folgenden fünf Bereichen zusammen und ist dem Anhang E (siehe S. 165) zu entnehmen:

1. Einstieg,
2. Belastung am Arbeitsplatz vor und nach MRK-Einführung,
3. Bewertung der Zusammenarbeit mit dem Roboter,
4. weitere Einsatzmöglichkeiten der MRK und
5. Zusammenfassung und Ausblick.

Die darin enthaltenen Themenschwerpunkte werden im Rahmen von offenen und geschlossenen Fragen angesprochen. Der offene bzw. geschlossene Fragentyp bezeichnet allgemein den Spielraum, welcher dem Befragten zur Antwort gelassen wird. Bei offenen Fragen sind die Antwortmöglichkeiten nicht vorgegeben und können demnach selbstständig vom Befragten geäußert werden. Hingegen besteht diese Selbstständigkeit in der Antwort bei geschlossenen Fragen nicht, vielmehr werden relevante Antworten zur Auswahl gestellt (Atteslander 2010).

Eine besondere Form der geschlossenen Frage stellt die Skala-Frage dar, mit derer Werte, Meinungen, Gefühle oder Handlungen hinsichtlich ihrer Intensität oder Häufigkeit anhand einer Skala gemessen werden (ebd.). Im Bereich der „Belastung am Arbeitsplatz vor und nach der MRK Einführung“ wurden die Interviewpartner aufgefordert die Skala-Frage: „Wie stark war die Belastung vor und nach der MRK-Einführung auf einer Skala von sehr stark, stark, mittel, gering und sehr gering?“, zu beantworten.

Im Anschluss an die Interviewdurchführung erfolgt die Auswertung der Audiodateien. Im ersten Schritt werden hierbei die Audiodateien in Form von *Transkripten* vollständig verschriftlicht. Die Grundlage der weiteren Auswertungsarbeit liegt Witzel (1996) zufolge in der Fallanalyse, die zunächst die *Vorinterpretation* mit der Markierung des Textes mit Stichworten aus dem Leitfaden (deduktiv) und thematisch neuen Aspekten (induktiv) vorsieht. Diese Markierungen werden folglich für die Entwicklung eines Codiersystems herangezogen (Witzel 1996).

Im weiteren Verlauf schließt sich die *Falldarstellung* an, die es ermöglicht Einzelaussagen oder Textsequenzen in einen Gesamtzusammenhang zu stellen. Darin enthalten sind außerdem Kommentare des Auswerters bezogen auf die Besonderheiten des Falls. Demzufolge stellen fallspezifische zentrale Themen die ersten Ergebnisse des theoriegenerierenden Interpretationsschrittes dar und werden zu prägnanten Aussagen verdichtet (Witzel 2000).

Im Kontext des systematisch kontrastierenden *Fallvergleichs* wird das Ziel verfolgt, fallübergreifende zentrale Themen zu erarbeiten. In diesem Zusammenhang liefert der Vergleich Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Textmaterial, die schließlich in Kernkategorien in Form eines Typologiekonzeptes resultieren. Dieses Konzept ermöglicht demnach im Rahmen des letzten Auswertungsschrittes Deutungshypothesen zu formulieren, die abschließend theoriegeleitet oder deduktiv mit weiterem empirischen Material angereichert werden (ebd.).

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse der problemzentrierten Interviews unter Anwendung der beschriebenen Auswertungsmethodik nach Witzel (1996) deskriptiv dargestellt.

## 5.2 Ergebnisdarstellung der Interviews

Als Ergebnis der einzelnen Auswertungsschritte, Transkription, Vorinterpretation, Falldarstellung sowie des Fallvergleichs der problemzentrierten Interviews werden die Aussagen in Kernkategorien zusammengefasst und das Typologienkonzept deskriptiv dargestellt. Die Definition der Kernkategorien sowie die dabei herausgestellten Gemeinsamkeiten und Unterschiede innerhalb der Kategorien werden im Folgenden beschrieben.

Vor dem Hintergrund der Deduktion auf der Grundlage des Interviewleitfadens und der induktiven Kategorienbildung aus den Transkripten werden die Aussagen zu fünf Hauptkategorien zugeordnet. Zunächst werden die gebildeten Kernkategorien sowie die darin enthaltenen Subkategorien der ersten und zweiten Ebene dargestellt und inhaltlich beschrieben. Die Reihenfolge der Kernkategorien entspricht hierbei der sinnlogischen Abfolge der Themenbereiche und gibt nicht die Reihenfolge des Interviewleitfadens wider.

Des Weiteren unterstreichen Zitate aus den Interviews den Fallvergleich bezogen auf die folgenden fünf Kernkategorien und werden textgetreu und komprimiert dargestellt:

1. Arbeitsbedingungen vor der MRK-Einführung,
2. Veränderungen nach der MRK-Einführung,
3. Einführungsprozess der MRK,
4. Zusammenarbeit mit dem Roboter und
5. Einsatzmöglichkeiten weiterer MRK.

Die Definition und Detaillierung der einzelnen Kernkategorien sowie die darin enthaltenen Subkategorien der ersten und zweiten Ebene werden im Anschluss genauer beleuchtet.

### *Kategorie 1: Arbeitsbedingungen vor MRK-Einführung*

In der ersten Kernkategorie liegt der Fokus auf der Beschreibung der Arbeitsbedingungen bevor der Roboter eingeführt wurde (siehe Tab. 24, S. 108). In diesem Zusammenhang gehen die Interviewpartner sehr ausführlich auf die ursprüngliche Tätigkeitsbeschreibung ein, die hauptsächlich Verschraubungstätigkeiten enthält. „Vor dem Roboter war's so, dass man die Pendelstütze mit einem Akkuschauber selber schrauben musste. Das heißt, man musste sich runterbeugen, den Schrauber vernünftig ansetzen, die schrauben. Und dann noch die andere Arbeit, die wir ja noch zusätzlich haben, wie Starter anschrauben, und den Halter für die Kabelführung anschrauben. [...] Es war ein sehr aufwändiger Takt [...] (MA 2).“

Im weiteren Verlauf berichten die Mitarbeiter davon, dass der Schraubprozess bei der Verschraubung der Pendelstütze häufig nicht richtig vollzogen wurde und demnach eine n.i.O. Verschraubung sowie Nacharbeit daraus resultierte. Zudem sorgt die geringe Akkuleistung des Schraubers dafür, dass der Akku direkt im Takt gewechselt werden muss, was einen gewissen zeitlichen Anteil in Anspruch nimmt, der nicht eingeplant ist. Hinzu kommt, dass der Schrauber eine „Spezialanfertigung ist, die man auch nicht einfach so bekam, das heißt, wenn er ausfiel, mussten wir lange warten bis wir den zurückkriegen (MA 6)“.

Hinsichtlich der ergonomischen Belastungen bei der Tätigkeit bevor der MRK-Einsatz erfolgte, zählen die Mitarbeiter eine Vielzahl an Belastungsarten, wie verdrehte oder gebückte Körperhaltung, das Gewicht des Schraubers, der enge Arbeitsraum sowie der schwer einsehbare Arbeitsbereich, die standardisierte Höhe des fahrerlosen Transportsystems (FTS) und der aus den Belastungsarten resultierende Zeitdruck, auf. Insbesondere die gebückte Körperhaltung bei der Verschraubung bewerteten die Mitarbeiter als sehr belastend: „Es war schon sehr belastend, dadurch, dass man sich immer bücken musste und wieder grade stellen musste, dann wieder beim nächsten Motor. Es war ja bei jedem Motor dann wirklich so der Fall und das war extrem (MA 2).“ Zusätzlich „[...] dieser Schrauber ist ja elendslang, so lang wie der Tisch hier und wenn man hier den Griff hat und die Nuss dann da unten, auf die 30 oder 40 cm Höhe hinzukriegen, da muss man sich ja schon bücken (MA 3)“. Ein weiterer Punkt bezieht sich auf die standardisierte Arbeitshöhe des FTS unabhängig von der Tätigkeit, die von den Mitarbeitern ausgeführt wird. Denn „Sie sind alle ergonomisch ungünstig, weil eigentlich sollten die FTS mal für jeden individuell rauf- und runterfahren, dass man sich nicht bücken muss, dass man das in der idealen Höhe hat, aber [...] individuell einstellbar ist da nichts, leider (MA 2)“. Die Mitarbeiter waren ebenfalls der Meinung, „wenn der Schrauber ausfiel, gab es noch einen kleineren Schrauber, der auch noch langsamer war, dann war man wieder in Sachen Taktung etwas über der Zeit drüber, man hatte mehr Stress, die Austaktung war schon sehr eng (MA 6)“.

Die folgende Tabelle 24 fasst die zuvor beschriebenen Arbeitsbedingungen bzgl. der Tätigkeit, des Schraubprozesses und der Belastungsarten der Mitarbeiter am Arbeitsplatz, vor dem Robotereinsatz, zusammen.

**Tab. 24: Kategorie 1 – Arbeitsbedingungen vor MRK-Einführung (eigene Darstellung)**

1. Arbeitsbedingungen vor MRK-Einführung	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
1.1 Tätigkeitsbeschreibung	1.1.1 Verschraubungstätigkeiten
1.2 Schraubprozess n.i.O.	1.2.1 Fehlerhafte Verschraubung
	1.2.2 Nacharbeit erforderlich
	1.2.3 Schnelle Akkuminderung
	1.2.4 Schrauber als Spezialanfertigung
1.3 Belastungsarten	1.3.1 Verdrehte Körperhaltung
	1.3.2 Gebückte Körperhaltung
	1.3.3 Gewicht des Schraubers
	1.3.4 Enger Arbeitsraum
	1.3.5 Schwer einsehbarer Arbeitsbereich
	1.3.6 Standardisierte Arbeitshöhe
	1.3.7 Zeitdruck und Stress
1.4 Unbeliebter Arbeitsplatz	

Insgesamt bewerten die Mitarbeiter den Arbeitsplatz allgemein als unbeliebt aufgrund der ergonomischen Belastungen, die dort vorherrschen. Diese Bewertung spiegelt sich ebenfalls in der Abbildung 18 wieder, welche die Ergebnisse der Skala-Frage zum Belastungsempfinden vor und nach der MRK-Einführung thematisiert. Hierbei wird deutlich, dass 72 % der befragten Mitarbeiter die Belastung als sehr stark und 14 % jeweils die Belastung als stark oder mittel einstufen.

*Kategorie 2: Veränderungen nach MRK-Einführung*

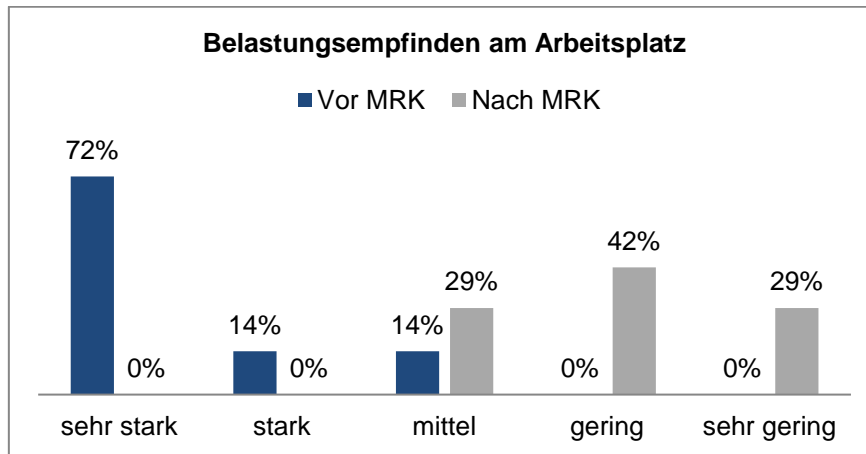
Während die Kategorie 1 die Arbeitsbedingungen vor dem MRK-Einsatz fokussierte, bilden in der zweiten Kernkategorie die Veränderungen nach der MRK-Einführung den Schwerpunkt. Hierbei sehen die Mitarbeiter Veränderungen bezogen auf die Tätigkeit an sich, auf das

Zufriedenheit empfinden, den Schraubprozess, die Ergonomie sowie die Belastungsarten und auf den Störfall (siehe Tab. 25, S. 111).

„Er nimmt uns natürlich ein bisschen Arbeit weg, dafür kriegen wir wieder Arbeit da rein in den Takt (MA 1).“ Diesbezüglich geben die Mitarbeiter an, dass der Roboter nun die Verschraubung der Pendelstütze übernimmt und folglich neue Tätigkeitsanteile für den Mitarbeiter in diesem Takt hinzugefügt wurden. „Jetzt machst du den Starter und dazu machst du noch die Kabelführung und Kabelhalter dran (MA 1).“

Bezugnehmend auf die eingangs beschriebene Problematik, dass vor MRK häufig n.i.O. Verschraubungen erfolgt sind, äußern die Mitarbeiter nun, dass „mit dem Robi scheint das ja ganz gut zu gehen (MA 3)“ und „der schraubt fast jeden i.O. (MA 1)“. Die Reduzierung der fehlerhaften Verschraubung durch den Robotereinsatz wirkt sich ebenfalls auf die Zufriedenheit der Mitarbeiter aus, „wenn man so sieht, läuft wunderbar, also wie gesagt zu 99,99 % sind alle Mitarbeiter echt wirklich zufrieden (MA 7).“ Einen großen Stellenwert nimmt außerdem die Tatsache ein, dass die Mitarbeiter die Aktionen des Unternehmens erkennen. „Sie haben das Gefühl außerdem dabeigehabt, dass das Unternehmen die Probleme gesehen hat und etwas gemacht hat. Also sehen, dass man sich um sie kümmert (MA 6).“

Dass „die Ergonomie sehr viel besser an diesem Arbeitsplatz (MA 2)“ ist, bestätigen die Mitarbeiter und heben dabei hervor, dass zum einen die Entlastung bei der Arbeit spürbar ist, weil der belastende Anteil der Verschraubung der Pendelstütze nun durch den Roboter ausgeführt wird. Zum anderen „hat man nicht mehr diesen psychischen Stress von wegen ich muss in der Taktzeit bleiben und es ist einfach bequemer jetzt, man fühlt sich da wohler, man kann da auch mal quatschen und nicht sich nur stur auf die Arbeit konzentrieren (MA 2)“ und „der Druck ist weg in dem Arbeitsplatz, der enorm war (MA 6)“. In diesem Zusammenhang ergänzen die Mitarbeiter, dass außerdem der Druck reduziert wurde, weil die Verantwortung für die Pendelstütze nicht länger bei den Mitarbeitern gesehen wird. Dazu wird die ergonomische Verbesserung darin deutlich, dass das Bücken bei der Verschraubung der Pendelstütze nun entfällt und die Mitarbeiter ausschließlich in einer aufrechten Körperhaltung arbeiten können. „Ich bin halt froh, dass ich mich nicht mehr bücken muss und die schrauben muss (MA 3).“ Diese Bewertung spiegelt sich außerdem in der Abbildung 18 wider, wobei die Mitarbeiter die Tätigkeit vor der MRK-Einführung zu 72 % als sehr stark, 14 % als stark und 14 % als mittel einstufen.



**Abb. 18: Ergebnis der Skala-Frage zum Belastungsempfinden (eigene Darstellung)**

Im Gegensatz dazu ordnen die Interviewpartner das Belastungsempfinden nach der MRK-Einführung insgesamt geringer ein. Folglich geben 29 % der Befragten an, dass die jetzige Belastung mittel, 42 % als gering und 29 % als sehr gering wahrgenommen wird.

Dennoch verweisen die Mitarbeiter auf eine Vielzahl an verbleibenden Belastungsarten hinsichtlich der Rückschlagkräfte beim Verschrauben des Anlassers, des Gewichtes des Starters und die Belastung der Hände und Finger bei der Anbringung der Kabelführung. Zudem sind einige Mitarbeiter der Meinung, dass der Arbeitsraum zum Roboter „ein bisschen so beengend (MA 1)“ ist und „du passt schon auf, dass du da nicht gegen kommst (MA 1)“.

Eine große Veränderung durch die MRK sehen die Mitarbeiter im Kontext der Störung. So gab es zu Beginn der Einführung der MRK vermehrt Störungsfälle bei der Verschraubung durch den Roboter. Im Gegensatz dazu betonen sie, dass sich die Störungsanzahl mittlerweile erheblich reduziert hat. Treten dennoch Störungen bei dem Roboter auf, können die Mitarbeiter den Störfall quittieren, „wenn er z. B. eine Störung unten beim Verschrauben hat, dann haben wir da so ein kleines Tastenfeld und da sollen wir dann dreifach oder mehrfach drücken, dass er halt wieder loslässt und neu einmisst (MA 4)“. Liegt eine größere Störung vor, die nicht durch das Quittieren gelöst werden kann, wird der Anlagenführer kontaktiert und der Roboter geht in den Nothalt, welcher dann wieder vom Anlagenführer in Betrieb genommen wird. Diesbezüglich verweisen die Mitarbeiter auf die schlechte Erreichbarkeit des Anlagenführers im Störfall, „der ist auf der anderen Seite von der Linie und man versucht ihn ran zu rufen, aber irgendwann hat man ja auch keine Lust mehr, weil man die Stimme irgendwann weg hat und [...] weil es leider oben an der Anzeige, wo der immer draufguckt, nicht angezeigt wird (MA 2)“ und „bis der dann kommt, das dauert halt immer seine gewisse Zeit (MA 3)“. Hierbei besteht bei den Kollegen der Wunsch, die Erreichbarkeit des Anlagenführers, z. B. über eine Reißleine, „da haste dran gezogen, gab es ein Signal, die

ganze Linie runter, jeder hat es gesehen, wusste es und dann kamen sie gleich an (MA 4)“, zu verbessern.

Sollte der Roboter dennoch ganz ausfallen „müssen wir auf Notstrategie (MA 1)“, „womit wir ja über der Taktzeit sind (MA 5)“ und „dann müssen wir halt so verschrauben, wie wir es früher gemacht haben (MA 4)“. Wenn dieser Fall eintritt, dass der Mitarbeiter wie vor der MRK von Hand die Pendelstütze verschrauben muss, „merkt man schon einen Unterschied. Also was man dann vorher und jetzt nachher das, das sind wirklich Welten (MA 7).“ und „dann bist du schon ein bisschen eher kaputt, [...] weil du das halt auch nicht mehr gewohnt bist (MA 1)“. Erfolgt die Verschraubung der Pendelstütze wieder durch den Mitarbeiter, beschreiben die Mitarbeiter den Takt im Störfall als sehr umfangreich, weil „als der Roboter halt kam, wurden ja noch Arbeitsgänge dazu gesetzt und jetzt muss man dann natürlich alles komplett machen und [...] dann kommt man schon in Stress (MA 4)“.

Aufgrund der Tatsache, dass diese Form der Störung im Vergleich zum Beginn der Einführung der MRK weniger auftreten, beschreiben die Mitarbeiter den MRK-Arbeitsplatz insgesamt als einen sehr beliebten Arbeitsplatz. „Heute macht das, glaube ich, jeder gerne, weil es entspannt ist (MA 2)“ und „mit dem Roboter ist es super, [...], das ist ein schöner Arbeitsplatz geworden (MA 1)“.

Die ausführlich beschriebenen Ergebnisse der Kategorie 2 bezogen auf die Veränderungen der Arbeitsbedingungen nach dem MRK-Einsatz werden schließlich in der folgenden Tabelle 25 zusammenfassend dargestellt.

**Tab. 25: Kategorie 2 – Veränderungen nach MRK-Einführung (eigene Darstellung)**

2. Veränderungen nach MRK-Einführung	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
2.1 Tätigkeitsbeschreibung	2.1.1 Verschraubungstätigkeiten
2.2 Schraubprozess i.O.	
2.3 Verbesserung der Ergonomie	2.3.1 Entlastung bei der Arbeit
	2.3.2 Weniger Stress
	2.3.3 Interaktion möglich
	2.3.4 Weniger Verantwortung
	2.3.5 Aufrechte Körperhaltung und kein Bücken
2.4 Belastungsarten	2.4.1 Rückschlagkräfte beim Anlasser
	2.4.2 Lastenhandhabung beim Starter
	2.4.3 Hand- und Fingerkräfte bei Kabelführung
	2.4.4 Enger Arbeitsraum
2.5 Störfall	2.5.1 Anfangs viele Störungen, jetzt weniger
	2.5.2 Verhalten im Störfall



	2.5.3 Fehlerbehebung durch Anlagenbediener
	2.5.4 Verschraubung durch Mitarbeiter
2.6 Beliebter Arbeitsplatz	

### *Kategorie 3: Einführungsprozess der MRK*

Im Rahmen der dritten Kategorie wird der gesamte Einführungsprozess der MRK durch die Mitarbeiter beschrieben, bewertet und beinhaltet darüber hinaus Optimierungspotenziale, die die Mitarbeiter bei weiteren MRK-Einführungen im Prozess sehen (siehe Tab. 26, S. 113).

Ein Aspekt der Subkategorie der ersten Ebene zur Einführung der MRK thematisiert die Arbeitsplatzauswahl der MRK, die laut Aussagen der Mitarbeiter ohne jegliche Partizipation derer erfolgte, „aber wir werden halt nicht gefragt (MA 5)“.

Auf die Frage nach der Vorstellung des LBR im Team gingen die Äußerungen dahingehend auseinander, dass einerseits eine Vorstellung im Teamgespräch und in der Lernwerkstatt stattgefunden hat, „im Rahmen des Teamgespräches zusammen mit dem anderen Teamsprecher, der auch das bisschen als Projekt so begleitet hat, kommuniziert, mit den Mitarbeitern (MA 6)“. Hierbei wurde mit Unterstützung einer Präsentation durch den zuständigen Planer der neue MRK-Arbeitsplatz vorgestellt und in einem weiteren Teamgespräch der Roboter in der Lernwerkstatt technisch demonstriert. Hierbei stand ebenfalls der Roboterhersteller für Fragen zur Verfügung. Dann „konnten die Leute sehen, was der Roboter überhaupt macht, wie der funktioniert, konnten ihn anfassen, haben ihn schon mal gesehen (MA 6)“. Die Mitarbeiter hätten sich jedoch mehr Zeit gewünscht, als vorgesehen war, um tiefergehende Fragen zu stellen. Insbesondere Fragen nach dem Umsetzungszeitpunkt der MRK blieben offen. Die Mitarbeiter gaben ebenfalls an, dass durch die Vorstellung des Roboters im Team die Neugierde bezogen auf die Funktionalität des Roboters geweckt wurde. „Dann war man auch ganz gespannt, wie das funktioniert, wie das überhaupt klappt, weil viele auch gesagt haben, das klappt eh nicht, der wird nur Störungen haben (MA 1).“

Andererseits geben Mitarbeiter auch an, dass sie an keiner Einweisung teilgenommen haben. In diesem Fall war der Mitarbeiter während des Einführungstermins abwesend. Hierbei hätten sich die Mitarbeiter eine nachträgliche Einweisung gewünscht. Für Kollegen, die nach der Ersteinführung der MRK ins Team kamen, fand ebenfalls keine gesonderte Einweisung statt. Diese Mitarbeiter gelangten wiederum durch Nachfragen beim Anlagenführer oder bei anderen Kollegen im Team an die notwendigen Informationen zum Roboter. „Na so bei den Kollegen und unserem Anlagenführer halt, was er halt so weiß, ja und da so ein bisschen nachgehakt (MA 4).“

Angesichts der Qualifizierung für den Umgang mit dem Roboter im Störfall wurden die Anlagenführer geschult. „Die direkt an der Linie arbeiten, nicht (MA 7)“, „weil der Lehrgang auch ziemlich teuer ist (MA 1)“. Aus den Interviews ging außerdem hervor, dass sich die Mitarbeiter weiterführende Informationen wünschen, die der Anlagenführer erhalten hat. „Das heißt ja nicht nur, dass der Anlageführer das wissen muss. Lass den mal krank sein, lass den mal zum Sani gehen. [...] wenn du Anlagenführer bist, kriegst du darüber Information, bist du keiner, kriegst du keine, aber du bist derjenige, der da tagtäglich arbeitet (MA 1).“ Im Gegensatz dazu ist „das auch eine Haftungsfrage, in dem Fall. [...] Ich würde ungerne sehen, [...] dass da jetzt jeder dran rumspielen könnte. Das sollte lieber in den Händen der Leute bleiben, die dafür qualifiziert sind (MA 6)“.

Schließlich nennen die Mitarbeiter in den Interviews eine Vielzahl an Optimierungspotenzialen, die bei zukünftigen MRK-Einführungen Berücksichtigung finden sollen. Demnach legen die Mitarbeiter großen Wert auf eine ausführliche Information und Vorstellung des Roboters, die über das Teamgespräch hinausgeht und den Umsetzungszeitpunkt rechtzeitig ankündigt. Diesbezüglich verweisen die Interviewpartner auf die Notwendigkeit der Vorstellung des Roboters für neue Kollegen, die nach der Einführung des Roboters dem Team zugeordnet wurden.

Zudem schlagen die Mitarbeiter vor, dass außerhalb des Teamgespräches ebenfalls Informationen in Form von Broschüren oder Flyern ausgeteilt werden bzw. im Teamraum ausliegen, sodass sich jeder Mitarbeiter individuell über diese Technik informieren kann, „dass sich mal einer das durchlesen kann oder so, der sich damit – es sind ja auch viele Leute die interessiert das ja nicht, aber ich bin so ein Mensch, [...] mich interessiert das (MA 1)“.

Darüber hinaus wird der frühzeitigen Partizipation der Mitarbeiter bei MRK-Projekten ein großer Stellenwert zugeordnet, „dass vielleicht nicht die Teamsprecher mit in die Planung reingezogen werden, sondern Mitarbeiter, die damit arbeiten müssen später (MA 2)“ und die Planer „mit uns reden, das macht nämlich gar keiner (MA 5)“. Insgesamt wird deutlich, dass sich die Mitarbeiter mehr Präsenz des Planers an der Linie und vor Ort wünschen oder auch „mal eine Woche mithelfen und dann kann er sich das auch viel besser vorstellen (MA 1)“.

Insgesamt ist im Rahmen des Einführungsprozesses der MRK eine Vielzahl an Aspekten für die Mitarbeiter von besonderer Relevanz, welche in der aufgeführten Tabelle 26 übersichtlich dargestellt werden.

**Tab. 26: Kategorie 3 – Einführungsprozess der MRK (eigene Darstellung)**

3. Einführungsprozess der MRK	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
3.1 Einführung der MRK	3.1.1 Fehlende Partizipation bei Arbeitsplatzauswahl

	3.1.2 Vorstellung im Teamgespräch und Lernwerkstatt
	3.1.3 Fehlende Information bzw. Einweisung
	3.1.4 Neugierde und Vorurteile bei Mitarbeitern geweckt
3.2 Qualifikation	3.2.1 Schulung für Anlagenführer
3.3 Optimierungspotenzial	3.3.1 Einarbeitung und Vorstellung des Roboters
	3.3.2 Einweisung für neue Kollegen notwendig
	3.3.3 Weiterführende Informationsmaterialien
	3.3.4 Frühzeitige Partizipation der Mitarbeiter
	3.3.5 Präsenz der Planer an der Linie

#### *Kategorie 4: Zusammenarbeit mit dem Roboter*

Die vierte Kategorie fokussiert die Bewertung der Mitarbeiter bezogen auf die Zusammenarbeit mit dem Roboter. Hierbei lassen sich die Aussagen den allgemeinen Subkategorien der positiven und negativen Aspekte bei der Zusammenarbeit mit dem Roboter zuordnen (siehe Tab. 27, S. 116). Des Weiteren gehen die Mitarbeiter auf die Form der Zusammenarbeit, auf die Aneignung des Roboters im Team sowie auf die Eigenschaften ein, die ein guter Roboter mitbringen sollte.

Im Hinblick auf die positiven Aspekte bei der Zusammenarbeit mit dem Roboter heben die Mitarbeiter insbesondere hervor, dass sie die ergonomische Verbesserung des Arbeitsplatzes als positiv bewerten, indem der Roboter ihnen ebenfalls Arbeit abnimmt. Zusätzlich spielt der Kontext der Beschäftigungssicherung eine weitere wichtige Rolle: „[...] in dieser Situation, wo wir uns gerade befinden, [...], denke ich, ist es eine gute Lösung, um weiterzukommen. Hauptsache mein Arbeitsplatz ist gerettet, ob ich nun diese Arbeit mache oder eine andere hier im Werk, das ist mir im Endeffekt egal (MA 6)“. Daneben ist der Effekt der Qualitätssteigerung bei der Verschraubung der Pendelstütze ein weiterer positiver Aspekt, der mit der MRK in Verbindung gesetzt wird, „und wenn der fertig ist, meistens, muss ich sagen, verschraubt der auch, also zu 100 %, wenn er gut eingestellt ist (MA 7)“. Resultierend daraus treten ebenfalls weniger Taktzeitüberschreitungen aufgrund von Fehlverschraubungen durch den Roboter auf, der insgesamt als produktiver gewertet wird. „Maschinen, die sind ja dann auch mehr, also produktiver und geben dann acht Stunden 100 %. Der Mensch fällt irgendwann zusammen, Ende der Woche, Frühschicht, Freitagmorgen und dann sind alle nicht mehr so motiviert. Vielleicht fürs Wochenende noch, aber dann ist der Akku halt alle und eine Maschine buckelt halt durch, macht ihre Stückzahlen (MA 5)“. Diesbezüglich verweisen die

Mitarbeiter außerdem auf den krankheitsbedingten Ausfall der Mitarbeiter, der im Vergleich zum Roboter entfällt, weil „Der nicht krank wird (MA 1)“.

Darüber hinaus führen die Mitarbeiter die relativ kleine Größe des Roboters an, „dass der wirklich so klein handlich ist, wie so ein Spielzeugrobi, schön klein, handlich und ja, das gefällt mir (MA 7)“. Die Kennzeichnung des Arbeitsbereiches des Roboters durch Abgrenzungstreifen auf dem Boden trägt, ist außerdem für das sichere Gefühl bei der Zusammenarbeit hilfreich, „damit man da nicht reinlatscht und selbst wenn du dagegen kommst, dann macht er sofort „tüt“ und dann ist er aus und gut ist (MA 5)“. Hierbei wird zusätzlich die Selbständigkeit des Roboters im Vergleich zu anderen Hilfsmitteln hervorgehoben, denn „um den Robi oder um die MRK brauchst du dich nicht kümmern (MA 1)“. Bis auf die Tatsache, wenn der Roboter eine Störung aufweist. Insgesamt beschreiben die Mitarbeiter den Roboter jedoch als wenig störanfällig. „[...] Im Gegenteil, der macht seine Arbeit ja noch besser denke, ich jedenfalls. Nein, ist auch nicht so groß störanfällig (MA 4).“

Im Gegensatz dazu sehen die Interviewpartner die langsame Geschwindigkeit des Roboters als einen negativen Aspekt, „Man macht seine eigene Arbeit und wartet dann eher da drauf, dass der Robi endlich fertig wird (MA 2).“ „Also ein Mensch ist natürlich schneller als der Robi, wir haben das natürlich von Hand viel schneller gemacht, also der Robi, der bremst das halt natürlich, der ist ja viel zu langsam (MA 3).“ Der relevanteste Aspekt, den die Mitarbeiter als negativ betrachten, ist dennoch der Arbeitswegfall durch den Einsatz des Roboters. Diese Einschätzung wird in einer Vielzahl an Zitaten aus den problemzentrierten Interviews deutlich. Folgend einige Beispiele dazu: „Die einzige Befürchtung, die ich habe, ist, dass irgendwann alles da unten nur noch voller Robis steht, wir Mitarbeiter völlig raus sind hier und es alles nur noch per Robis gemacht wird (MA 2).“ und „Das haben ja alle so gesagt, dann übernehmen die halt unsere Arbeit. Dann sitzt noch einer, der passt dann auf zehn Robis auf und wenn was ist, dann werden die quittiert oder sonst irgendwas (MA 5).“ sowie „[...] wenn mal ein Arbeitsplatz dadurch gefährdet wird, das wäre halt negativ (MA 7)“.

Mit Bezug auf die Form der Zusammenarbeit führen die Mitarbeiter an, dass es sich zum einen eher um eine Zusammenarbeit im Sinne einer Kooperation mit dem Roboter handelt, „Ja, Kooperation. Ich mein, wir arbeiten ja in dem Takt zusammen an einem Motor (MA 3)“. Zum anderen wird der MRK-Arbeitsplatz eher als Koexistenz charakterisiert, „[...] weil er macht seine Arbeit, ich mach meine Arbeit, da ist ja nichts, wo wir interagieren, sozusagen (MA 2)“ und das „im Grunde genommen ja keine Kooperation ist. Der Roboter ist völlig selbständig (MA 6)“.

Im Rahmen der letzten Subkategorie der Kategorie 4 wird die Aneignung des Roboters im Team dargestellt. Hierbei erwähnen die Mitarbeiter, dass sie anfänglich Respekt vor dem Roboter hatten und sogar Skepsis im Team herrschte, „man weiß ja nicht, wie er da rumfährt,

welche Bewegungsabläufe er programmiert bekommen hat und so weiter (MA 2)“. Diesbezüglich wird ergänzt, dass ebenfalls zu Beginn die Nähe zum Roboter als ungewohnt empfunden wurde. Dennoch ist insgesamt festzuhalten, dass der Roboter gut im Team aufgenommen und akzeptiert wurde. Dafür spricht, „dass in der Schicht drei sofort nach einer Woche ein Name für den Roboter gefunden wurde, nach einem ehemaligen Kollegen, der hier mal gearbeitet hat, den alle auch kannten, auch schichtübergreifend. Sie haben ihn Klaus genannt und der Name ist in allen Schichten sofort und sogar bei der Instandhaltung angenommen worden (MA 6)“.

Im Übrigen sprechen die Mitarbeiter im Interview häufig von dem Roboter als Sensation, die mit der Medienpräsenz während der Einführung im Zusammenhang steht, denn „da wurde ein großer Film drüber gedreht, über den Roboter (MA 1)“. „Anfangs war es wirklich so gewesen, gerade so, wenn man in einer Frühschicht gearbeitet hat, kamen so viel Leute und haben gestaunt, geguckt und Fragen gestellt, ob es da irgendwelche Probleme gibt oder so, wie das Ding arbeitet und so. Fand ich schon schön. [...] das war wirklich irgendwie eine Sensation (MA 7).“ Weiterhin stufen die Kollegen den Roboter als ungefährlich ein und geben vermehrt an, dass sie den Roboter bei der Arbeit nicht mehr wahrnehmen: „Du nimmst den Roboter auch gar nicht mehr wahr. Du siehst das gar nicht mehr, also du nimmst den kein bisschen wahr, dass er da ist (MA 1).“

Schließlich sollte den Mitarbeitern zufolge ein guter Roboter sowohl die Ergonomie verbessern, Arbeit abnehmen, dem Menschen helfen und Probleme beseitigen als auch bzgl. seiner Performance schnell und präzise sowie störungsfrei arbeiten.

Im Hinblick auf die Darstellung der Kategorie 4 (siehe Tab. 27) wird deutlich, dass die Zusammenarbeit mit dem Roboter sowohl positive als auch negative Aspekte aufweist. Zusätzlich werden der Aneignungsprozess im Team sowie die Eigenschaften eines guten Roboters von den Interviewpartnern ausführlich beschrieben, welche schließlich die Relevanz des Einführungsprozesses insgesamt unterstreicht.

**Tab. 27: Kategorie 4 – Zusammenarbeit mit dem Roboter (eigene Darstellung)**

4. Zusammenarbeit mit dem Roboter	
Subkategorie Ebene 1	Subkategorie Ebene 2
4.1 Positive Aspekte	4.1.1 Verbesserung der Ergonomie
	4.1.2 Roboter nimmt Arbeit ab
	4.1.3 MRK zur Beschäftigungssicherung
	4.1.4 Qualitätssteigerung bei Verschraubung
	4.1.5 Taktzeiteinhaltung durch MRK
	4.1.6 Produktivität des Roboters

	4.1.7 Kein krankheitsbedingter Ausfall
	4.1.8 Größe des Roboters
	4.1.9 Kennzeichnung des Arbeitsbereiches des Roboters
	4.1.10 Selbstständigkeit des Roboters
	4.1.11 Geringe Störanfälligkeit
4.2 Negative Aspekte	4.2.1 Langsame Geschwindigkeit des Roboters
	4.2.2 Arbeitsplatzwegfall
4.3 Form der Zusammenarbeit	4.3.1 MRK als Kooperation
	4.3.2 MRK als Koexistenz
4.4 Aneignung des Roboters im Team	4.4.1 Respekt vor Roboter
	4.4.2 Anfängliche Skepsis im Team
	4.4.3 Ungewohnte Nähe zum Roboter
	4.4.4 Gute Aufnahme des Roboters ins Team
	4.4.5 Namensvergabe für Roboter
	4.4.6 Roboter als Sensation
	4.4.7 Roboter ist ungefährlich
	4.4.8 Keine Wahrnehmung des Roboters
4.5 Eigenschaften eines guten Roboters	4.5.1 Verbessert Ergonomie
	4.5.2 Nimmt Arbeit ab
	4.5.3 Hilft dem Menschen
	4.5.4 Beseitigt Probleme
	4.5.5 Schnell und präzise
	4.5.6 Störungsfrei

#### *Kategorie 5: Einsatzmöglichkeiten weiterer MRK*

Im Kontext der weiteren Einsatzmöglichkeiten einer MRK im Team wurde von den befragten Mitarbeitern eine Vielzahl an weiteren Anwendungsmöglichkeiten genannt, die in der folgenden Tabelle 28 aufgelistet sind.

Grundsätzlich wäre überall dort MRK geeignet, wo eine hohe Fehlerquote herrscht. Demzufolge sehen die Mitarbeiter potenzielle MRK-Einsätze z. B. bei dem Anbringen der Gelenkwelle, dem Verschrauben des Generators und dem Einbau des Klimakompressors. Abschließend bitten die Mitarbeiter jedoch darum, bei neuen MRK-Projekten frühzeitig informiert zu werden. Informationen wünschen sich die Mitarbeiter ebenfalls in Bezug auf die Vorbereitung der MRK allgemein: „Nach dem Motto: Klaus hat einen Bruder, der steht in Halle 12 oder so (MA 5)“.

**Tab. 28: Kategorie 5 – Einsatzmöglichkeiten weiterer MRK (eigene Darstellung)**

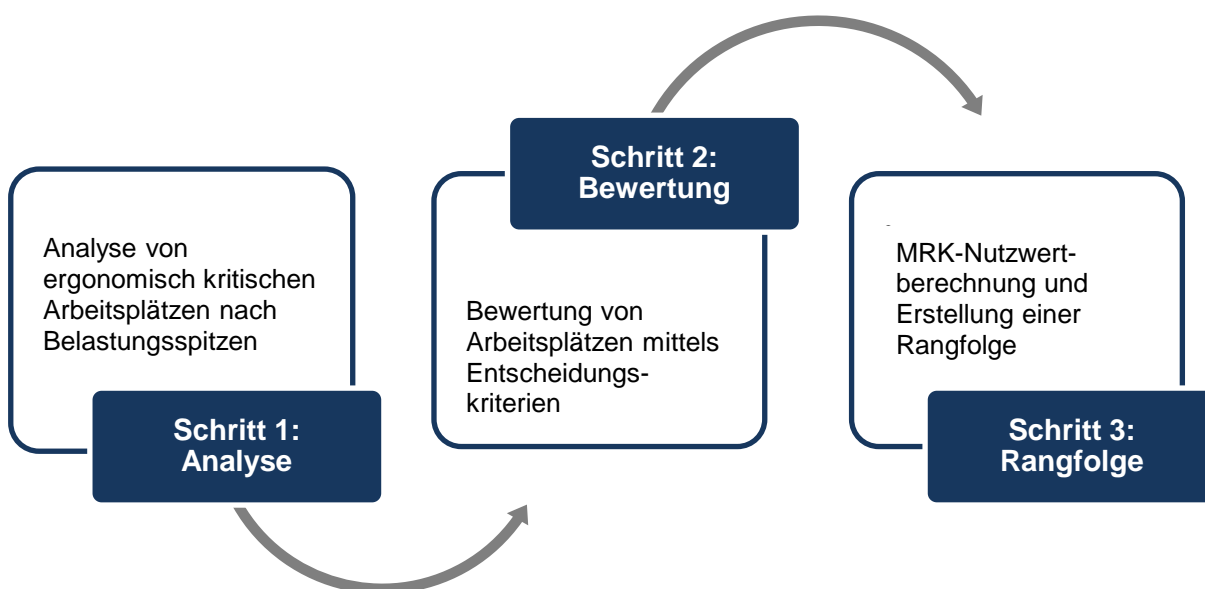
## 5. Einsatzmöglichkeiten weiterer MRK

### Subkategorie Ebene 1

5.1 Gelenkwelle anbringen	5.5 Lichtmaschine einbauen
5.2 Generator schrauben	5.6 Motorblock übersetzen
5.3 Klimakompressor einbauen	5.7 Starter anschrauben
5.4 Kühlwasserschlauch anbringen	5.8 Umwälzpumpe einbauen

## 6 Ableitung einer Vorgehensweise zur kriterienbasierten MRK-Auswahl unter Berücksichtigung der Mitarbeitersicht

In Anbetracht der Ergebnisse aus Studie 1 und 2 (siehe Kap. 4.1.4, 4.2.2 und 5.2) lässt sich eine Vorgehensweise für eine mitarbeiterorientierte Arbeitsplatzauswahl für einen MRK-Einsatz zur ergonomischen Verbesserung empfehlen, die im Folgenden näher beschrieben wird. In Anlehnung an den Ablauf der Nutzwertanalyse nach Kühnapfel (2014) setzt sich die empfohlene Vorgehensweise aus drei Schritten zusammen, die in der folgenden Abbildung 19 dargestellt sind.



**Abb. 19: Arbeitsplatzauswahl für MRK-Einsatz (eigene Darstellung)**

Im ersten Schritt erfolgt die Analyse nach ergonomisch kritischen Arbeitsplätzen, die mit Fokus auf den Belastungsspitzen in den einzelnen Belastungsbereichen identifiziert werden. Der dafür verwendete Linienplan eines Produktionsbereiches stellt die Grundlage der Analyse dar. Demnach setzt sich diese Analyse einerseits aus der Identifikation der Arbeitsplätze zusammen, die laut der EAWS-Bewertung mit gelb oder rot gekennzeichnet sind. Andererseits findet eine Detaillierung der identifizierten gelben und roten Arbeitsplätze statt, bei denen in einer der vier Belastungskategorien Körperhaltung, Lasten, Aktionskräfte und Repetition der Großteil der EAWS-Punkte zu verorten ist.



Im Resultat ergibt die Analyse eine Auswahl an ergonomisch kritischen Arbeitsplätzen und Tätigkeiten, bei denen Belastungsspitzen vorherrschen. Unter Berücksichtigung des Vorgehens in der klassischen Nutzwertanalyse nach Kühnapfel (2014), sollten aus der Analyse nicht mehr als fünf ergonomisch kritische Arbeitsplätze hervorgehen, die anschließend in der Expertengruppe bzgl. eines MRK-Einsatzes diskutiert werden. Grund dafür liegt in der häufig begrenzten Zeitkapazität der einzelnen Experten und in der nachlassenden Konzentrationsfähigkeit mit steigender Anzahl an zu diskutierenden Arbeitsplätzen. Folglich sollten zunächst die Arbeitsplätze in den zweiten Schritt übernommen werden, die die höchste EAWS-Punktzahl in einer Belastungskategorie aufweisen.

Im Rahmen der Bewertung (Schritt 2) schließt sich die Diskussion der ausgewählten Arbeitsplätze unter Anwendung der 15 Entscheidungskriterien (siehe Abb. 20) an, die von mindestens sieben bis maximal 12 Fachbereichsvertretern aus den Bereichen Personal, Gesundheit, Arbeitssicherheit, Planung, Robotertechnologie, Industrial Engineering und Produktionsvertreter der betroffenen Arbeitsplätze, z. B. Meister oder Teamsprecher, bewertet werden.

Arbeitsplatz		1															Gewichtungs- wert (Gi)	TNW (Gi x Pkt.)	TNW gesamt	
		Punktbewertung																		
Entscheidungskriterien		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
1.1	Ausführbarkeit																	0,1		
1.2	Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit																	0,12		
1.3	Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit																	0,08		
1.4	Ergonomische Belastung																	0,1		
2.1	Ganzheitlichkeit																	0,05		
2.2	Gleichförmigkeit																	0,03		
2.3	Soziale Interaktion																	0,05		
2.4	Autonomie																	0,04		
2.5	Komplexität																	0,03		
3.1	Hohe Arbeitsunfähigkeiten																	0,08		
3.2	Einsatzpotenzial für TTKE-Mitarbeiter																	0,08		
3.3	Rotation																	0,07		
4.1	Hohes Vorkommen der Tätigkeit in der Linie																	0,03		
4.2	Technische Machbarkeit																	0,08		
4.3	Geringe Investitionskosten																	0,06		
																	1	Σ (TNW)	Σ (NW)	

**Abb. 20: Bewertungstabelle für Schritt 2 der Arbeitsplatzauswahl für MRK-Einsatz (eigene Darstellung)**

Der Ablauf der Bewertung orientiert sich dabei an den folgenden Leitfragen (siehe Tab. 29, S. 120), die mit einem Punktwert von null bis 15 durch die Fachbereichsvertreter beantwortet werden und den jeweiligen Erfüllungsgrad des Kriteriums widerspiegeln.

**Tab. 29: Leitfragen für die Bewertung mittels Bewertungstabelle (eigene Darstellung)**

Kriterien- gruppe	Entscheidungskriterien	Fragestellung
1. Kriterien humaner Arbeits- gestaltung	1.1 Ausführbarkeit	Liegt eine mangelnde Ausführbarkeit vor?
	1.2 Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit	Liegt eine mangelnde Erträglichkeit vor?
	1.3 Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit	Liegt eine mangelnde Zumutbarkeit vor?
	1.4 Ergonomische Belastung	Liegt eine hohe ergonomische Belastung vor?
2. Persönlich- keitsförderliche Kriterien	2.1 Ganzheitlichkeit	Liegt eine mangelnde Ganzheitlichkeit der Aufgabe vor?
	2.2 Gleichförmigkeit	Liegt eine hohe Gleichförmigkeit in der Aufgabe vor?
	2.3 Soziale Interaktion	Liegt eine gute soziale Interaktion der Kollegen vor?
	2.4 Autonomie	Liegt ein eingeschränkter Handlungsspielraum vor?
	2.5 Komplexität	Liegt eine hohe Komplexität der Aufgabe vor?
3. Personal- bezogene Kriterien	3.1 Hohe Arbeitsunfähigkeiten	Liegt eine hohe Arbeitsunfähigkeit der Mitarbeiter vor?
	3.2 Einsatzpotenziale für TTKE- Mitarbeiter	Liegt ein hohes Potenzial zur Reintegration für TTKE-Mitarbeiter vor?
	3.3 Rotation	Liegt eine eingeschränkte Rotation im Team vor?
4. Planungs- bezogene Kriterien	4.1 Hohes Vorkommen einer Teiltätigkeit in der Linie	Kommen die Tätigkeiten häufiger in der Montagelinie vor?
	4.2 Technische Machbarkeit	Ist technische Umsetzung der MRK für min. eine Teiltätigkeit nach heutigem technischem Stand möglich?
	4.3 Geringe Investitionskosten	Sind die Investitionskosten für die technische Umsetzung der MRK für min. eine Teiltätigkeit gering?

Ist die beschriebene Bewertung für jeden ergonomisch kritischen Arbeitsplatz aus der Analyse erfolgt, schließt sich der Schritt 3 (gemäß der Abb. 19) mit der Erstellung der Rangfolge der Arbeitsplätze nach jeweiligem MRK-Nutzwert an. Dafür ist jedoch vorab die Berechnung der Teil- (TNW) und Gesamtnutzwerte ( $\Sigma$  TNW) erforderlich. Der Teilnutzwert (TNW) ergibt sich wiederum aus dem Gewichtungswert ( $G_i$ ) multipliziert mit dem Punktwert (0-15). Folglich resultieren aus dieser Berechnung 15 Teilnutzwerte, die in der Summe einen Gesamtnutzwert darstellen. Wurde diese Berechnungen für jeden der identifizierten Arbeitsplätze durchgeführt, findet eine Sortierung der Gesamtnutzwerte nach der Größe statt, welche schließlich die Rangfolge für den MRK-Einsatz zur ergonomischen Verbesserung der Arbeitsplätze darstellen.

Letztendlich liefert diese Rangfolge den Arbeitsplatz mit dem höchsten MRK-Nutzwert an erster Stelle und im Vergleich dazu mit dem niedrigsten MRK-Nutzwert an letzter Stelle. Um dem mitarbeiterorientierten Ansatz zu entsprechen ist es an dieser Stelle notwendig, die Entscheidung für einen MRK-Einsatz an einem bestimmten Arbeitsplatz frühzeitig an das Team zu kommunizieren und dieses in den Planungsprozess miteinzubeziehen. Demnach sollte ein produktionsnaher Mitarbeiter, z. B. Teamsprecher, bei den anschließenden Ausplanungen für den zukünftigen MRK-Arbeitsplatz beteiligt werden.

Mit dieser empfohlenen Vorgehensweise zur kriterienbasierten MRK-Auswahl unter Berücksichtigung der Mitarbeitersicht ist es möglich, aus einer Vielzahl an ergonomisch kritischen Arbeitsplätzen, die zu identifizieren, wo der MRK-Einsatz das größte ergonomische Verbesserungspotenzial aufweist. Hinzu kommt, dass dieses Vorgehen lediglich von Erfolg gekennzeichnet ist, wenn die Bewertung durch eine interdisziplinäre Personengruppe unter Einbeziehung der Produktionsmitarbeiter durchgeführt wird.

## 7 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung bestand in der Generierung einer Vorgehensweise zur kriterienbasierten MRK-Auswahl unter Berücksichtigung der Mitarbeitersicht. Vor diesem Hintergrund wurden zwei Studien zur Zielerreichung entwickelt. Zunächst fokussierte die Studie 1 den Auswahlprozess eines MRK-Arbeitsplatzes, indem Entscheidungskriterien für MRK-Einsätze identifiziert wurden. Dabei kamen sowohl halbstrukturierte Experten- als auch Gruppenbefragungen unter Anwendung der Nutzwertanalyse zur Anwendung.

In Anbetracht des Einführungsprozesses der MRK an einem bereits ausgewählten Arbeitsplatz, wurden im Kontext der zweiten Studie problemzentrierte Interviews mit Produktionsmitarbeitern geführt, die einerseits den Einführungsprozess und den ergonomischen Nutzen der MRK beurteilen sollten. Andererseits spielte in den Interviews die Bewertung der Zusammenarbeit insgesamt mit dem Roboter sowie der Aneignungsprozess im Team vor dem Hintergrund der Akzeptanz dieser neuen Technologie eine wichtige Rolle.

Aus diesem Grund erfolgt im Rahmen der Diskussion zunächst die Beurteilung der Ergebnisse aus wissenschaftlicher Sicht bezugnehmend auf die Entscheidungskriterien für MRK-Einsätze, die Mitarbeitersicht auf den ergonomischen Nutzen und die Würdigung der gewählten Verfahren. Anschließend findet die Beurteilung unternehmerischer Gesichtspunkte u.a. hinsichtlich der Potenziale der MRK in der Automobilindustrie statt.

### 7.1 Beurteilung aus wissenschaftlicher Sicht

#### 7.1.1 Bewertung der Entscheidungskriterien für den MRK-Einsatz

In dem folgenden Unterkapitel erfolgt nun die Diskussion der Ergebniskategorien aus den Experten- und Gruppenbefragungen unter Berücksichtigung der Forschungsfragen im Hinblick auf die theoretische Reichweite.

Insgesamt liefert die Studie 1, mit der Zielsetzung Entscheidungskriterien für einen MRK-Einsatz zur ergonomischen Verbesserung zu identifizieren, Ergebnisse zur Beantwortung der in Kapitel 2.4 aufgelisteten Forschungsfragen:

- *Welche Entscheidungskriterien weisen auf einen Ergonomie optimierenden MRK-Einsatz hin?* und
- *Welche Arbeitsplätze weisen das größte ergonomische Verbesserungspotenzial durch den Einsatz einer MRK auf?*

In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass bezugnehmend auf die erste Forschungsfrage nach den Entscheidungskriterien für einen Ergonomie optimierenden MRK-Einsatz die Experteninterviews zusammen mit den Rechercheergebnissen aus Kapitel 2 Entscheidungskriterien liefern, welche im Folgenden zusammengefasst dargestellt und mit Rückschluss zur Theorie diskutiert werden.

Die abgeleiteten Entscheidungskriterien für den Auswahlprozess des MRK-Einsatzes der Studie 1 lassen sich dabei, in vier Gruppen unterteilen, die zum Teil in der Kategorie 9 der Experteninterviews dargestellt sind (siehe Tab. 22, S. 94):

1. Kriterien humaner Arbeitsgestaltung,
2. persönlichkeitsförderliche Kriterien,
3. personalbezogene Kriterien und
4. planungsbezogene Kriterien.

Die erste Gruppe der Kriterien humaner Arbeitsgestaltung beinhaltet Ausführbarkeit, Erträglichkeit / Schädigungslosigkeit, Zumutbarkeit / Beeinträchtigungslosigkeit und ergonomische Belastungsbewertung. Die Zusammenstellung dieser Kriterien fußt auf den mitarbeiterbezogenen Zielen der Arbeitsgestaltung. Denn Hacker und Richter (1984) zufolge sollte ein gut gestalteter Arbeitsplatz die Grundbedingungen Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Beeinträchtigungsfreiheit und Persönlichkeitsförderlichkeit erfüllen. Ausführbar ist demzufolge eine Tätigkeit, wenn diese zuverlässig und anforderungsgerecht zu erledigen ist und die Kräfte des Mitarbeiters langfristig nicht übersteigen. Mit der Schädigungslosigkeit bzw. Erträglichkeit wird die Vermeidung von Gesundheitsschäden bei der Ausführung der Tätigkeit verbunden. Zumutbarkeit und Beeinträchtigungslosigkeit stellt sich ein, wenn Unter- und Überforderung bei Ausführung der Tätigkeit vermieden werden (ebd.). Das letzte Kriterium dieser Gruppe beschreibt das Ergebnis der ergonomischen Arbeitsplatzbewertung mittels EAWS, das einen wichtigen Ansatz laut der befragten Experten liefert, um den MRK-Einsatz aufgrund der vorherrschenden physischen Belastungssituation am Arbeitsplatz zu bestimmen. Sind diese Kriterien nicht erfüllt, ist eine Optimierung der Tätigkeit notwendig, die u. a. durch den MRK-Einsatz erfolgen kann.

Des Weiteren verweisen Hacker und Richter (1984) auf eine ergänzende Gruppe der Kriterien humaner Arbeitsgestaltung, die persönlichkeitsförderliche Gestaltung der Tätigkeit. Demnach sollte der Mitarbeiter seine Potenziale entfalten können und vielfältige sowie ganzheitliche Anforderungen vorfinden. Diese Forderung wird ebenfalls durch Ulich (2011) aufgegriffen, indem Merkmale zur Arbeitsgestaltung definiert wurden, um eine persönlichkeitsförderliche Entwicklung beim Mitarbeiter zu ermöglichen. Zu diesen Gestaltungsmerkmalen zählen Ganzheitlichkeit einer Aufgabe, Anforderungsvielfalt bzw. Komplexität der Aufgaben, Möglichkeit zur sozialen Interaktion und Autonomieerleben (ebd.). Bezugnehmend auf die

Ganzheitlichkeit der Aufgabe, die planende, ausführende und kontrollierende Anteile beinhalten sollte, spielt Ulich (2005) zufolge ebenfalls die Gleichförmigkeit und die dadurch hervorgerufene Monotonie, aufgrund der einseitigen Belastung der sich wiederholenden Tätigkeiten eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Außerdem ordnen die Experten Monotonie als eine der Hauptbelastungsarten ein (siehe Tab. 10, S. 74). Liegt folglich eine mangelnde Ganzheitlichkeit und eine hohe Gleichförmigkeit vor, können daraus gesundheitliche Schädigungen resultieren und die Motivation des Mitarbeiters negativ beeinflussen (Ulich 2005). Mit dem Einsatz der MRK, könnte dem entgegengewirkt werden, indem die Zusammenarbeit mit dem Roboter die Tätigkeit insgesamt anreichert und zur Ganzheitlichkeit der Tätigkeit beiträgt. Demzufolge spricht eine hohe Gleichförmigkeit an einem Arbeitsplatz für Optimierung, die beispielsweise durch MRK erfolgen kann.

Vor dem Hintergrund der Möglichkeit der sozialen Interaktion bei Ausführung der Tätigkeit hebt Ulich (2005) hervor, dass Aufgaben so gestaltet sein sollten, dass eine Kommunikation und Kooperation mit anderen Teammitgliedern erforderlich ist, um auf diesem Weg eine Isolation des Mitarbeiters zu vermeiden. In diesem Zusammenhang sehen die Experten die Gefahr, dass sich der Zustand im Fall eines bereits isoliert existierenden Arbeitsplatzes durch den Einsatz einer MRK und des damit ggf. verbundenen Mitarbeiterersatzes verschlechtern würde. Aus diesem Grund setzen die Experten eine bereits existierende gute soziale Interaktion bei dem MRK-Einsatz voraus. Dem hinzufügend spielt das Autonomieerleben der Mitarbeiter eine weitere wichtige Rolle bei der Gestaltung humangerechter Arbeitsplätze. Hierzu zählen insbesondere die Entscheidungs- und Handlungsspielräume, in denen der Mitarbeiter die Aufgaben erledigt. So bieten selbstgestaltete, vielseitige und teamorientierte Aufgaben mehr Entwicklungsmöglichkeiten und sind folglich motivierender als Tätigkeiten, die fremdbestimmt, monoton und sozial isoliert sind (ebd.). Diesbezüglich sehen die Experten mit dem MRK-Einsatz die Chance, die Tätigkeiten anzureichern, die Handlungsspielräume zu erweitern und folglich der Gleichförmigkeit entgegenzuwirken.

Nicht zuletzt fördern Aufgaben mit unterschiedlichen Anforderungen und Komplexitätsgraden die persönliche Förderung des Mitarbeiters. Denn die individuellen Eigenschaften wie Gesundheitszustand, Ausbildung, Handlungsstrategien oder Interpretationsstil beeinflussen die Art der Bewältigung und die Einordnung als Herausforderung oder als Stress (Semmer & Udris 2007). Ergänzend dazu betonen die Experten, dass mit der MRK eine Möglichkeit entsteht, die Mitarbeiter weiterzuentwickeln.

Im Kontext der personalbezogenen Kriterien sehen die Experten den MRK-Einsatz als eine gute Möglichkeit, um tätigkeitseingeschränkte Mitarbeiter wieder produktiv einbinden zu können. Müller und Fiedler (2016) bekräftigen diese Ansicht, indem auch sie der Meinung sind, dass MRK zur altersgerechten Arbeitsplatzgestaltung einen wichtigen Beitrag leistet, um ältere und leistungsgewandelte Mitarbeiter bis zum Rentenalter wertschöpfend zu beschäftigen.

Zudem liefert das Kriterium der Arbeitsunfähigkeit einen Hinweis darauf, ob die Mitarbeiter an diesem Arbeitsplatz häufig arbeitsunfähig sind oder nicht. Denn Muskel-Skelett-Erkrankungen sind mit 24,7 % aller Fehltage die häufigste Ursache für Arbeitsunfähigkeiten und gehen gleichzeitig mit längeren Arbeitsunfähigkeiten im Vergleich zu anderen Erkrankungen einher (Knieps & Pfaff 2016). Mit der Arbeitsplatzbewertung der einzelnen Belastungsarten können zudem Arbeitsplätze mit einer erhöhten Gefährdung des Muskel-Skelett-Systems identifiziert werden (Hartmann et al. 2007).

Einen weiteren Einfluss auf die personalbezogenen Kriterien übt die Rotation aus, die den Experten zufolge zum Belastungswechsel innerhalb des Teams beiträgt. Ebenso beschreibt Herzberg (1968) job-rotation als eine Systematik, innerhalb derer der Mitarbeiter den Arbeitsplatz oder das Aufgabenfeld bei gleichbleibendem Qualifikationsniveau wechselt, um seinen Tätigkeitsspielraum sowie die fachlichen und sozialen Kompetenzen zu erweitern und einseitige Belastungen zu verhindern. Setzt sich das Team jedoch aus zum Teil leistungsgewandelten Mitarbeitern zusammen, erschwert diese Zusammensetzung die Durchführung der vollständigen Rotation. In der Folge wird die Rotation über mehrere Stationen nur eingeschränkt ermöglicht und der angestrebte Belastungswechsel nicht erreicht. Vor diesem Hintergrund trägt MRK dazu bei, die Rotation in einem Team wieder vollständig durchführen zu können, indem leistungseingeschränkte Mitarbeiter wieder in das Team integriert werden und somit die vollständige Rotation ermöglichen. Zugleich fordern die Experten, dass dieses Arbeitsorganisationsmodell durch MRK nicht verschlechtert werden darf und weiterhin möglich sein muss.

Die letzte Kriteriengruppe der planungsbezogenen Kriterien beinhaltet zum einen das Vorkommen der Tätigkeiten in der Linie. Denn wenn die zu optimierende Tätigkeit häufiger in der Linie vorkommt, wirkt sich diese Häufigkeit positiv auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung der MRK aus, die sich laut Experten in ein bis zwei Jahren rentieren muss. Demnach tritt der Aufwand für die Planung des MRK-Arbeitsplatzes lediglich einmal auf und kann auf weitere Arbeitsplätze dupliziert werden. Hinzu kommt, dass die Experten den vermehrten Einsatz der MRK in der Montage als wirtschaftlichen Potenzialfaktor einstufen, um den Automatisierungsgrad in der Montage zu erhöhen. Nicht zuletzt verweist das ifaa (2017) auf eine entsprechende Mindeststückzahl, um der Wirtschaftlichkeit des MRK-Einsatzes gerecht zu werden.

Als ein weiteres Kriterium ist die technische Machbarkeit aufgeführt, die bezogen auf Bauteilmerkmale einige Einschränkungen nach heutigem technischem Stand aufweist. So gibt das ifaa (2017) an, dass der MRK-Einsatz bei biegeschlaffen Bauteilen nur schwer und bei Bauteilen mit scharfen Kanten oder heißen Oberflächen aus Sicherheitsgründen nicht möglich ist. Den Abschluss der Entscheidungskriterien bilden die Investitionskosten, die für den MRK-Einsatz bei mindestens einer Teiltätigkeit am Arbeitsplatz als gering eingestuft werden sollte.

In Anbetracht dessen, führen Helm & Meyer (2005) an, dass der MRK-Einsatz im Vergleich zu konventionellen Maßnahmen zur Arbeitsplatzgestaltung mit geringen Investitionskosten verbunden ist.

Im Hinblick auf die zweite Forschungsfrage der vorliegenden Untersuchung nach den Arbeitsplätzen, welche das größte ergonomische Verbesserungspotenzial durch den MRK-Einsatz aufweisen, ist festzustellen, dass das dadurch entstehende Entscheidungsproblem mittels der Nutzwertanalyse beantwortet werden kann. Diesbezüglich wird aufgrund der halbstrukturierten Gruppenbefragung mit Experten (siehe Kap. 4.2) deutlich, dass durch die Anwendung der Nutzwertanalyse unter Berücksichtigung der im Rahmen der ersten Forschungsfrage generierten Entscheidungskriterien die Arbeitsplatzauswahl möglich ist. Vorausgesetzt es liegen mehr als zwei Entscheidungsalternativen und somit ergonomisch kritische Arbeitsplätze vor, die für einen MRK-Einsatz in Frage kommen. Trifft dies zu, stellt die Nutzwertanalyse ein geeignetes Instrument dar, um unter den unterschiedlichen Entscheidungsalternativen eine Rangfolge zu bilden, aus der letztendlich hervorgeht, bei welchem Arbeitsplatz die MRK das größte Verbesserungspotenzial bewirken würde. Dabei sollte jedoch die Anzahl der zu diskutierenden Arbeitsplätze nicht zu groß sein, um die zeitintensive Diskussion bezüglich der Bewertungsphase der Nutzwertanalyse nicht zu lang auszudehnen. Die Anzahl von fünf Arbeitsplätzen nach Empfehlung von Kühnapfel (2014) hat sich dabei als handhabbar herausgestellt.

Im Ergebnis der Nutzwertanalyse wurde eine Rangfolge der Gesamtnutzwerte der fünf Arbeitsplätze erstellt, wobei hervorzuheben ist, dass die Tätigkeit „Seitenverkleidung im Fahrzeuginnenraum anbringen“ den höchsten Nutzwert mit 9,86 erhält. Demnach stellt bei diesem Arbeitsplatz die MRK das größte ergonomische Verbesserungspotenzial dar. Hingegen liegt die Tätigkeit „Warenkorb aufziehen“ auf dem letzten Platz der Rangfolge, was darauf zurückzuführen ist, dass bei diesem Arbeitsplatz die MRK keine geeignete Möglichkeit wäre, um den Arbeitsplatz ergonomisch zu verbessern. Vielmehr sollte diesbezüglich eine Veränderung am Produkt erfolgen und somit der Belastungsursprung durch das Gewicht des Warenkorbs reduziert werden.

Schließlich ist die Nutzwertanalyse als Instrument für die Arbeitsplatzauswahl für eine MRK geeignet. Es bleibt jedoch unabdingbar, jeden Arbeitsplatz hinsichtlich seiner individuellen Rahmenbedingungen zu betrachten. Denn nicht in jedem Fall ist MRK die einzige Verbesserungsmaßnahme, um die Mitarbeiter zu entlasten. Wie aus den Experteninterviews hervorgeht, sollte vorab eine Prüfung alternativer Verbesserungsmaßnahmen erfolgen.



## 7.1.2 Bewertung der Mitarbeitersicht auf den ergonomischen Nutzen durch MRK

In Zusammenhang mit der Mitarbeitersicht schließt sich nun die Diskussion der Ergebniskategorien aus den problemzentrierten Interviews vor dem Hintergrund der Forschungsfragen unter Einbeziehung der theoretischen Grundlagen an. Mit Bezug auf die Forschungsfragen (siehe Kap. 2.4) nach:

- dem ergonomischen Nutzen durch die MRK,
- dem Aneignungsprozess des Roboters im Team und
- der Bewertung der Zusammenarbeit mit dem Roboter insgesamt,

tragen die dargestellten Ergebnisse zur Beantwortung dieser Fragen bei.

Demnach ist die Frage, „Wie wird der ergonomische Nutzen durch die Mitarbeiter bewertet, die mit dem Roboter kooperieren?“, als positiv zu bewerten. Denn 72 % der befragten Mitarbeiter geben an, dass der Arbeitsplatz vor der MRK-Einführung sehr stark belastend war und im Nachgang von 42 % der Mitarbeiter als gering und von 29 % als sehr gering eingestuft werden. Im Zuge dessen kann damit die Aussage von Helm und Meyer (2005), dass der MRK-Einsatz die ergonomischen Arbeitsbedingungen verbessert, bestätigt werden. Ergänzend dazu ist ebenfalls die Annahme der Fraunhofer-Gesellschaft (2014) zu bekräftigen, dass der Roboter den Mitarbeiter bei schwierigen Montagearbeiten unterstützt, indem er die ergonomisch ungünstigen Tätigkeiten übernimmt. In der vorliegenden Untersuchung ist genau dieser Fall eingetreten, dass der Roboter die ergonomisch ungünstige Verschraubung der Pendelstütze übernimmt und der Mitarbeiter nicht länger in gebückter Körperhaltung mit dem schweren Schrauber die Tätigkeit ausführen muss. Zudem ist eine Verringerung des Stressempfindens hervorzuheben, das vor der MRK aufgrund der engen Taktung des Arbeitsplatzes als sehr belastend empfunden wurde. Schließlich konnte somit der Forderung von Dunckel (1996) nach einem angemessenen zeitlichen Spielraum nachgekommen werden. Dies entspricht ebenfalls dem Gestaltungsmerkmal von Zeitelastizität und stressfreier Regulierbarkeit nach Ulich (2011), dass unangemessener Arbeitsverdichtung entgegenwirkt und Freiräume für stressfreies Nachdenken und selbst gewählte Interaktionen schafft. Diese neu erworbene Möglichkeit zur Interaktion bewerten die Kollegen außerdem als positiv.

Aufgrund der nach wie vor vorhandenen Taktzeitbindung in der Produktion und der Hierarchie in der Arbeitsorganisation (Produktionsmitarbeiter, Teamsprecher und Meister), kann eine Steigerung des Verantwortungsgefühls, wie es von Kirchner (1972) gefordert wird, bei den Mitarbeitern nicht festgestellt werden. Im Gegenteil beschreiben die Mitarbeiter eher ein verringertes Verantwortungsgefühl dem Roboter und den Störungen gegenüber, die aufgrund dessen im Produktionsprozess vorkommen. Diese Entwicklung wirkt der menschenzentrierten

Automatisierungsstrategie nach Billings (1997) entgegen, wonach der Mensch immer die Verantwortung für das Gesamtsystem und dabei auftretenden Probleme trägt. Vor dem Hintergrund der vorherrschenden Hierarchie und Aufgabenstruktur in der Montage tragen in der vorliegenden Untersuchung nicht die Mitarbeiter selbst, sondern die Anlagenführer diese Verantwortung. Somit übernimmt letztendlich dennoch der Mensch die leitende Kontrolle der Automation, aber lediglich eine ganz bestimmte Personengruppe und nicht der Mitarbeiter in der Kooperation selbst. Dieser Umstand hat zur Folge, dass im Störfall der Anlagenführer kontaktiert werden muss und die Mitarbeiter selbst nicht das Problem des Störfalls lösen können.

Vor dem Hintergrund einer weiteren Forschungsfrage „Wie verläuft die Aneignung des Roboters durch die Mitarbeiter vor dem Hintergrund eines mitarbeiterorientierten Einführungsprozesses?“ ist festzustellen, dass der anfängliche Respekt und die Skepsis bei den Mitarbeitern bezogen auf die Sicherheit des Roboters aus den fehlenden Informationen während des Einführungsprozesses resultiert. Diesbezüglich betonen Schenk & Elkmann (2012), dass die Sicherheit des Roboters ein entscheidender Faktor bei der Kooperation darstellt und insbesondere bei MRK erhöhte Sicherheitsanforderungen vorliegen.

Die anfänglich als ungewohnt charakterisierte Nähe zum Roboter ist damit zu begründen, dass sofern Industrieroboter in der Endmontage der Automobilproduktion auftreten, diese bisher immer mit Schutzzäunen vom Mitarbeiter getrennt sind (Haun 2013). Der Bekanntheitsgrad der Leichtbaurobotik ist wiederum in der Automobilbranche relativ gering und der damit verbundene Wegfall des Schutzzaunes nur Wenigen bekannt (MRK-Systeme GmbH 2012). Somit werden die Leichtbauroboter aufgrund neuer Sicherheitskonzepte ohne Schutzzaun direkt in den Produktionsprozess integriert (Huber 2016). Aufgrund des geringen Verbreitungsgrades von Leichtbauroboter in der Endmontage wird dieser MRK-Einsatz als Sensation bezeichnet, der zudem eine hohe Medienpräsenz in der Anfangsphase erfahren hat. Die dadurch erhaltene Aufmerksamkeit von benachbarten Abteilungen und Fachbereichen kann demzufolge als eine Form der Wertschätzung und Anerkennung gewertet werden. Mittlerweile sinkt jedoch die Wahrnehmung des Roboters bei Ausführung der Tätigkeit, welche mit einem Gewohnheitseffekt der Mitarbeiter zu begründen ist.

Bezugnehmend auf den Aneignungsprozess des Roboters von den Mitarbeitern ist ebenfalls die Namensgebung für den Roboter hervorzuheben, der als „Klaus“ gerufen wird. Diese Namensgebung spricht für einen erfolgreichen Aneignungsprozess sowie die Aufnahme des Roboters als Teammitglied.

Im Kontext der letzten Forschungsfrage „Wie bewerten die Mitarbeiter die Zusammenarbeit mit dem Roboter insgesamt?“, lässt unter anderem der positive Aneignungsprozess darauf schließen, dass die Zusammenarbeit insgesamt als positiv bewertet wird. Gerade vor dem Hintergrund der ergonomischen Verbesserung des Arbeitsplatzes und der empfundenen

Arbeitserleichterung durch den Roboter kann diesbezüglich die Theorie nach Helm & Meyer (2005) bestätigt werden. Zudem lässt sich eine Steigerung bei der Qualität der Verschraubung, der Taktzeiteinhaltung sowie der Produktivität und den Wegfall krankheitsbedingter Ausfallzeiten durch den Roboter verzeichnen, welche ebenfalls einer Aussage des ifaa (2017) entspricht.

Dennoch wird die langsame Geschwindigkeit des Roboters als negativer Aspekt in der Zusammenarbeit aufgelistet, der letztendlich auf das Sicherheitskonzept der normgerechten Programmierung und Verfahrensgeschwindigkeit in der Zusammenarbeit zwischen einem Menschen und einem Roboter zurückzuführen ist. Hierbei beschreiben Spingler und Thiernemann (2001b), dass insbesondere die Geschwindigkeit des Roboters in Abhängigkeit vom Gefährdungsgrad nach DIN EN ISO 10218-1 und 10218-2 (2012), ergänzt durch die ISO/TS 15066 (2016), einzuschränken ist.

Einen weiteren negativen Aspekt in der Zusammenarbeit mit dem Roboter stellt die Angst vor dem Arbeitsplatzverlust dar. Grund dafür könnte in dem in den 1980er Jahren verfolgten Konzept der menschenleeren Fabrik liegen. Diese Entwicklung wurde jedoch aufgrund der mangelnden Berücksichtigung des Menschen als Mitarbeiter und als Kunde vernachlässigt (Deuse et al. 2015). Dennoch sprechen noch heute viele Mitarbeiter von einer menschenleeren Fabrik und verbinden den MRK-Einsatz mit den Anfängen dieser Entwicklung. Um dieser Angst entgegenzuwirken und die positiven Aspekte der Zusammenarbeit mit dem Roboter hervorzuheben, spielt die Kommunikation während des Einführungsprozesses mit den betroffenen Mitarbeitern eine wesentliche Rolle.

Schlussendlich ermöglicht MRK, die wirtschaftlichen, wie z. B. Verbesserung der Produktivität, und die mitarbeiterorientierten Ziele, wie z. B. Verbesserung der Arbeitsbedingungen, nach Wegge (2004) (siehe Tab. 4, S. 41) zu erfüllen.

Diese Erkenntnisse in Verbindung mit den Schlussfolgerungen aus der Studie 1 wird im folgenden Kapitel im Rahmen einer Handlungsempfehlung zur Vorgehensweise bei der MRK-Auswahl unter Berücksichtigung der Mitarbeitersicht verdeutlicht.

### 7.1.3 Würdigung der gewählten Verfahren

Mit Blick auf die Zielsetzung qualitativer Forschung, nach der Entdeckung neuer Zusammenhänge und den daraus resultierenden neuen Theorien, nach der Erfassung komplexer Phänomene sowie nach der Erhebung sozialer Realität (Flick 2002, Lamnek 2005), bewerten dennoch einige Wissenschaftler diese als nicht wissenschaftlich (Saldern 1992). Begründet mit geringer Objektivität, mangelnder Kontrollierbarkeit und fehlender Repräsentativität sowie mit dem hohen Zeitaufwand finden die Gütekriterien quantitativer Forschung dennoch Anwendung innerhalb der qualitativen Forschung (Bortz & Döring 2006).

Im Rahmen der qualitativen Forschung wird folglich der Versuch unternommen, die Anwendung der Gütekriterien der quantitativen Forschung durch Modifikation zu realisieren, was lediglich in Teilen umzusetzen ist (Flick 1991). Diesbezüglich sind im Folgenden die von der quantitativen Forschung geforderten Gütekriterien aufgeführt sowie die Begründung ergänzt, warum die Anwendung dieser Kriterien nur in Teilen möglich ist (Bortz & Döring 2006, Lamnek 2005):

- *Objektivität* bedeutet, dass die Messergebnisse unabhängig vom Forscher generiert wurden, was eine umfassende Detaillierung der Vorgehensweise voraussetzt, die standardisiert erfolgt. Demnach sollte der Forscher beschreiben können, wie er vorgegangen ist, um das Kriterium Objektivität zu erfüllen. Dennoch findet ebenso die Erfassung der subjektiven Sichtweise des Interviewpartners statt. Hierbei bezieht sich die Schaffung vergleichbarer Bedingungen auf die an das Verständnis des Interviewpartners angepassten Fragestellungen (ebd.).
- *Reliabilität* liegt vor, wenn die Ergebnisse bei einer Wiederholung der Datenerhebung reproduzierbar sind. Demnach wird aufgrund der standardisierten Vorgehensweise innerhalb der qualitativen Forschung das Kriterium als erfüllt angesehen werden. Dennoch heben die Vertreter qualitativer Forschung die Einzigartigkeit und inhaltsunabhängige Bedeutung dieser Erhebungsmethode hervor. Das entsprechende Gütekriterium besteht vielmehr darin, die Kontextgebundenheit der Textgenerierung zu berücksichtigen. Demnach soll sowohl der Kontext der Interviewsituation sorgfältig gestaltet, als auch die spezifische kommunikative Entstehung des Textes in der Auswertung aufgegriffen werden. Das Kriterium stellt dabei nicht die identische Replikation der Daten in einer neuen Erhebung dar, sondern eine Einschätzung darüber, wie unterschiedliche Erhebungskontexte welche Änderungen erzeugen (Krebs & Menold 2014).
- *Validität* ist vorhanden, wenn das erhobene, abgebildet und verstanden wird, was erfasst werden soll. Dieses Kriterium lässt sich lediglich durch die Prinzipien der Offenheit und Fremdheit in der Erhebungssituation erfüllen. Je offener die Erhebung gestaltet ist, desto eher wird die Entfaltung des subjektiven Sinns ermöglicht und umso angemessener und valider findet die Erhebung statt (Knoblauch 2014). Zudem bestätigt die von mehreren Personen gesehene Glaubwürdigkeit sowie das Erkennen des Bedeutungsgehaltes des Materials die Validität der Untersuchung (Bortz & Döring 2006).

Insgesamt beziehen sich diese Gütekriterien auf die Datenerhebung und -auswertung, die häufig nicht offen dargelegt werden. Diesbezüglich hebt Loosen (2008, S. 596) hervor, dass nicht die „Subjektzentriertheit qualitativer Methoden“ als Problem angesehen wird, sondern „vielmehr die vielfach mangelnde Transparenz des qualitativ-methodischen Vorgehens,

welche die intersubjektive Nachvollziehbarkeit erschwert, wenn nicht sogar unmöglich macht“. Vor diesem Hintergrund werden in der qualitativen Forschung Gütekriterien angewendet, welche die Vergleichbarkeit und Gültigkeit der qualitativ erhobenen Daten gewährleisten. Dazu zählen insbesondere die Auflistung der Untersuchungsschritte sowie die Dokumentation und Diskussion der Reichweite der Untersuchungsergebnisse (Mayring 2002, Steinke 2004).

In der vorliegenden Arbeit kann der Objektivität Rechnung getragen werden, indem der detaillierte Forschungsprozess sowohl Studie 1 (Kap. 4) als auch Studie 2 (Kap. 5) durch den Forschenden umfassend beschrieben wurde. Zudem ermöglicht die Auswertung des Datenmaterials mittels MAXQDA<sup>12</sup> die Nachvollziehbarkeit der Generierung der Kategorien und führt somit zu der Transparenz des Forschungsprozesses.

Bezugnehmend auf das Kriterium der Reliabilität und der notwendigen Kontextgebundenheit der Textgenerierung, ist auf den Leitfaden zu verweisen, der im Rahmen der Experten- und Gruppenbefragung sowie in den problemzentrierten Interviews verwendet wurde. Die dadurch erzielte Teilstrukturierung der Befragungssituation in den Einzelinterviews also auch durch die Nutzwertanalyse in der Gruppenbefragung schafft die Voraussetzungen, um im Kontext der MRK unterschiedliches Textmaterial zu generieren.

Vor dem Hintergrund der Bewertung der Validität der durchgeführten Studien 1 und 2 ist festzuhalten, dass die Prinzipien der Offenheit und Fremdheit sowohl im Rahmen der Experten- und der Gruppenbefragungen als auch innerhalb der problemzentrierten Interviews stets berücksichtigt wurden. Hierbei wurde im Rahmen jeder Erhebungssituation der Leitfaden lediglich als Orientierung angesehen und nach dem Prinzip der Offenheit individuell auf den Befragten hinsichtlich der Reihenfolge der Leitfragen reagiert.

Darüber hinaus spielen die Problempotenziale der Planung, Durchführung sowie Auswertung von teilstrukturierten Befragungen im Hinblick auf die Bewertung der Methode eine weitere wichtige Rolle. Zunächst ist die häufig unzureichende Begründung, warum Expertenbefragungen im Rahmen der qualitativen Analyse durchgeführt werden, als problematisch einzuordnen. Um dem entgegenzuwirken ist es notwendig, im Voraus den jeweiligen Forschungsstand zu ermitteln, um folglich die Befragungen auf die in der Recherche identifizierten Forschungsdefizite auszurichten (Kaiser 2014).

Weiterhin muss die Plausibilität der methodischen Vorgehensweise überprüft werden. In diesem Zusammenhang ist zu prüfen, über welche Informationen die ausgewählten Experten verfügen und warum diese Informationen mittels alternativer Methoden nicht erhoben werden können. Herausforderungen hinsichtlich der Auswahl der richtigen Experten sowie der Akquise

---

<sup>12</sup> Software der Firma VERBI zur computergestützten qualitativen Daten- und Textanalyse (VERBI GmbH 2018)

dieser können ebenfalls den Forschungsablauf negativ beeinträchtigen. Aus diesem Grund wird empfohlen, eine fundierte Recherche der potentiellen Interviewpartner hinsichtlich der Rolle der Experten in der Organisation durchzuführen. Zudem kann der persönliche Kontakt mit den Experten im Vorfeld der Terminvereinbarung die Teilnahme an den Befragungen erleichtern (ebd.).

In der vorliegenden Untersuchung orientiert sich die Expertenauswahl an der Expertendefinition (Kap. 4.1), nach dieser der Fokus auf dem Betriebswissen der ausgewählten Experten liegt. Außerdem unterstützt der Leitfaden als Erhebungsinstrument der qualitativen Analyse die Generierung des Betriebswissens. Die Orientierung am Leitfaden ermöglicht zusätzlich, dass das Gespräch ausschließlich Themenbereiche umfasst, die Gegenstand des Forschungsinteresses sind. Dem gegenüber können jedoch Risiken auftreten, bspw., dass der Experte sich in einem anderen Sprachspiel bewegt als dem des Leitfadens. In diesem Fall raten Meuser und Nagel (2005) sich auf die Sprache des Experten einzulassen, um einem Zusammenbruch der Situation zu verhindern. Des Weiteren kann die Durchführung eines Pretests den Risiken entgegenwirken und überprüfen, ob die Interviewfragen durch den Experten tatsächlich verstanden und im Resultat entsprechende Antworten geliefert werden (Kaiser 2014).

Abschließend zählt der erste Schritt der Auswertung der Experteninterviews zu einem weiteren Problemfeld. Im Verlauf der Transkription der Experteninterviews können sich Fehler hinsichtlich der Rechtschreibung, aber wesentlich häufiger, der Verfälschung der Originalaussagen durch das Weglassen oder Einfügen von Wörtern auftreten. In diesem Fall empfehlen Dresing und Pehl (2013) erst nach einem zweiten Korrekturlesen erneut die Transkriptionen zu prüfen. Dieser Empfehlung wurde ebenfalls im Rahmen der vorliegenden Arbeit nachgegangen.

Schließlich sind mit der Datenerhebung durch Befragungen und Interviews Vorteile bezüglich der Anpassungsfähigkeit und der Spontaneität, welche eine Befragungstiefe ermöglicht. Zudem ist die Aufnahme der Informationen unmittelbar möglich und fördert die Reflexion des Gesagten. Im Gegensatz dazu zählen die subjektive Verzerrungen und Beeinflussungen durch den Befragten sowie die Abhängigkeit von der Antwortbereitschaft des Befragten zu den negativen Aspekten bei Interviews und Befragungen. Darüber hinaus wird die notwendige Transkription der mündlichen Informationen als sehr aufwändig charakterisiert. Hingegen reduziert die Möglichkeit zur Computerauswertung der Transkripte den Zeitbedarf der Vor- und Nachbereitung der Befragungen (Kromrey 2009; Stier 1999).

In der Gesamtheit sind die Erhebungsmethode sowie Auswertungsmethode der teilstrukturierten Expertenbefragung nach Meuser und Nagel (2005) sowie die problemzentrierten Interviews als adäquat und im Zuge der Ergebnisgenerierung der empirischen Untersuchung bzgl. der Forschungsfrage als sinnvoll zu bewerten.

## 7.2 Beurteilung unternehmerischer Gesichtspunkte

### 7.2.1 Potenziale der MRK in der Automobilindustrie

Resultierend aus den Ergebnissen der Studie 1 ist festzuhalten, dass die Hauptbelastungsarten in der Produktion vielfältig sind. Zum einen zählen organisationale Rahmenbedingungen, wie die taktgebundene Arbeit, dazu. Zum anderen sind sowohl psychische als auch physische Belastungen bei der Arbeit vertreten (Emmermacher 2008). In diesem Kontext spielen die Belastungsspitzen z. B. bei der Lastenhandhabung während der Ausübung der Tätigkeit eine entscheidende Rolle (Schaper 2014). Zur Reduktion der bestehenden Belastungen in der Produktion werden unterschiedliche ergonomische Verbesserungsmaßnahmen in Form von Betriebsmitteln am Arbeitsplatz implementiert. Dazu zählen unter anderem Manipulatoren, Exoskelette, Handwerkzeuge oder Roboter (VDI-Richtlinie 2861 1988).

Wenn Roboter in Form einer MRK eingesetzt werden, stehen neben der Ergonomie weitere Motive im Fokus. Demnach werden Roboter zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, Verbesserung der Qualität und zur Erhöhung der Produktivität sowie aus Wettbewerbsgründen eingesetzt. Dabei sind zwei Formen der MRK als Koexistenz und Kollaboration zu unterscheiden, welche der Einteilung nach Platbrood (2016) entspricht. Entscheidend ist dabei, dass der Mensch auch zukünftig die ausführende Rolle von Montagetätigkeiten und Entscheidungsinstanz in der Produktion übernehmen wird, was auf seine Stärken im Bereich der Feinmotorik und Flexibilität zurückzuführen ist. Dieser Ansatz entspricht ebenfalls der Aussage von Deuse et al. (2015), wonach der Mensch als aktiver Entscheidungsträger im Rahmen von kollaborativen Arbeitsformen agieren wird. Der Roboter hingegen wird ebenfalls Tätigkeiten ausführen, jedoch ohne im Produktionsprozess eine Entscheidung zu treffen. Insbesondere aufgrund seiner Präzision und Wiederholgenauigkeit (vgl. Kap 2.1.3), zählen zu seinen Aufgaben Packvorgänge und die Bereitstellung von Betriebsmitteln sowie Lastenhandhabung oder Verschraubungen.

Neben dem bereits hoch automatisierten Karosseriebau werden zukünftig Roboter vermehrt in der Montage, Komponente und in der Lackiererei vertreten sein (vgl. Kap. 2.1.2). Abhängig vom aktuellen Entwicklungsstand der MRK ist es möglich, den Automatisierungsgrad innerhalb der Prozesse zu erhöhen. Begründet jedoch durch den prototypischen Stand der MRK und der verminderten Prozessgeschwindigkeit aufgrund der Sicherheitskonzepte, z. B. bei Schraubvorgängen, ist es jedoch nicht möglich alle Prozesse zu automatisieren (vgl. Kap. 2.1.4). Dennoch sind mit dem MRK-Einsatz einige Vorteile hinsichtlich der Produktivitätssteigerung und der Platzersparnis auf der Produktionsfläche verbunden, die ebenfalls durch Spingler & Thiemermann (2001b) bestätigt wird. Im Vergleich zum Manipulator stellt jedoch die autonome Aufgabenausführung des Roboters den größten Vorteil dar. Nicht

zuletzt bietet der MRK-Einsatz die Chance für den Mitarbeiter seine individuelle Lernkurve durch notwendige Qualifikationen zu fördern, um zugleich die Aufgabenvielfalt zu erweitern.

In Vorbereitung auf den MRK-Einsatz müssen jedoch gewisse Voraussetzungen erfüllt sein, um eine negative Entwicklung der Belastungssituation für den Mitarbeiter zu verhindern. Zunächst hat dabei die umfassende Analyse des Ausgangszustandes des zu automatisierenden Arbeitsplatzes zu erfolgen. Bezugnehmend auf die Analyse ist die Kommunikation mit allen beteiligten Bereichen, wie Betriebsrat oder Personalwesen, unabdingbar. Unter Berücksichtigung der anspruchsvollen Aspekte der Arbeitssicherheit steht die ergonomische Entlastung durch den Roboter sowie die Akzeptanz der neuen Technologie im Vordergrund, die durch den Kontrollverlust aufgrund der Autorität des Systems zur Nicht-Akzeptanz führen kann (Kaber et al. 2001). Des Weiteren ist die theoretische als auch praktische Schulung bezüglich der Verwendung des Roboters von besonderer Relevanz, um insbesondere im Störfall eingreifen zu können und die von Deuse et al. (2015) beschriebene Entscheidungskompetenz im Prozess zu gewährleisten.

Schließlich stellt die technische Machbarkeit bzgl. der Takteinbindung sowie der Lastgrenzen des Roboters eine weitere Herausforderung zum MRK-Einsatz dar, der in Zusammenarbeit mit einem interdisziplinären Team gestaltet werden sollte. Bezugnehmend auf die Gestaltungsaspekte der MRK werden geschlossene MRK-Systeme bevorzugt, um auf diesem Weg die Kontaktvermeidung zwischen Mensch und Roboter zu fördern. Zudem spielt die Usability des Roboters (vgl. Kap. 2.2.3) eine relevante Rolle, die intuitiv gestaltet sein und der Bedienbarkeit der alltäglichen Technik entsprechen sollte.

Eine deutliche Veränderung durch MRK wird in der Linienmontage erkennbar, die sich von einer starren Linie hin zu einer Boxenfertigung<sup>13</sup> wandeln könnte. Im Gegensatz dazu ist im Hinblick auf die Personaldichte eine Reduzierung zu erwarten, wenn der Robotereinsatz einen Mitarbeiter an der Montagelinie ersetzt. Angesichts der demografischen Entwicklung sind mit dem Robotereinsatz ebenfalls positive Aspekte verbunden, indem der prognostizierte Fachkräftemangel damit ausgeglichen werden kann. Die größte Veränderung wird sich jedoch beim Belastungsempfinden der Mitarbeiter einstellen, das sich einerseits durch den Robotereinsatz in Bezug auf die körperlichen Belastungen reduziert. Andererseits sind ebenfalls Belastungssteigerungen, durch z. B. Bewegungsarmut, zu erwarten, wenn der Roboter die Laufwege zum Bauteil übernimmt.

Des Weiteren ist eine Erhöhung der psychischen Belastungen möglich, welche auf das erhöhte Stressempfinden aufgrund der starren Prozessbindung zurückzuführen ist. Dabei ist

---

<sup>13</sup> Gekennzeichnet durch parallelen Materialfluss, Rotation, Fertigung in Arbeitsgruppen und Produktionsabschnitten (Weber 1999)



die Herausforderung im Umgang mit einer neuen Technologie nicht außer Acht zu lassen, die sich im Hinblick auf den Gewöhnungseffekt relativiert.

Insgesamt sind die Potenziale der MRK in der Automobilindustrie vielfältig, wobei aufgrund der geringen Anzahl an Serienumsetzungen von MRK die Erfahrung im Umgang sowie die Auswirkungen auf die Mitarbeiter weiterhin zu untersuchen sind.

## 7.2.2 Bewertung des ergonomischen Verbesserungspotenzials durch MRK

Angesichts der zuvor dargestellten Ergebnisse der Studie 2 lassen sich die folgenden Haupteckdaten aus den problemzentrierten Interviews vor dem Hintergrund des ergonomischen Verbesserungspotenzials durch die MRK zusammenfassen.

Zunächst wird deutlich, dass die Arbeitsbedingungen vor der MRK-Einführung am untersuchten Arbeitsplatz als sehr belastend eingeschätzt werden und die Tätigkeit insgesamt als unbeliebt bewertet wird. Diese Einschätzung ist auf die verdrehte und gebückte Körperhaltung beim Verschrauben der Pendelstütze am Motorblock sowie auf das Gewicht des Schraubers und den schwer einsehbaren Arbeitsbereich zurückzuführen. Um diesen Arbeitsplatz ergonomisch zu verbessern, wurde eine MRK eingeführt, wobei der Roboter die Verschraubung der Pendelstütze am Motorblock übernimmt.

Nachdem die MRK eingeführt wurde, stellte sich eine Verbesserung hinsichtlich des Belastungsempfindens ein, sodass der Arbeitsplatz heute als beliebt charakterisiert wird. Der Arbeitsplatz wird jedoch weiterhin bezogen auf den Arbeitsbereich als eng beschrieben. Die Verbesserung aufgrund der MRK-Einführung bezieht sich folglich zum Großteil auf die Ergonomie, indem eine Entlastung bei der Arbeit durch den Roboter stattfindet, weniger Stress dadurch vorherrscht, die Körperhaltung sich insgesamt verbessert und die Mitarbeiter ein verringertes Verantwortungsgefühl im Störfall empfinden.

Gerade vor dem Hintergrund der Störungen, die durch den Roboter verursacht werden, und der fehlenden Lösungskompetenz der Mitarbeiter, stellt sich folglich der Ursprungszustand wieder ein und die Mitarbeiter müssen die Verschraubung selbst durchführen. Grund dafür liegt in der ausschließlichen Qualifikation einer bestimmten Personengruppe, der Anlagenbediener, die als Einzige die Fehlerbehebung durchführen können. Dennoch treten heute weniger Störungen auf als zu Beginn der Einführung der MRK. Hinzu kommen allerdings neue Belastungsarten, die mit der Aufgabenanreicherung verbunden sind, wodurch Rückschlagkräfte, die Lastenhandhabung sowie Hand- und Fingerkräfte als ergonomisch belastend empfunden werden.

Im Hinblick auf den Einführungsprozess der MRK ist die fehlende Partizipation bei der Arbeitsplatzauswahl als negativ zu bewerten. Der Einführungsprozess der MRK ist vielmehr

als eine kurze Vorstellung der neuen Technologie zu sehen, die jeweils in den 30-minütigen Teamgesprächen und in der Lernwerkstatt stattfand. Diese kurze Vorstellung resultiert letztendlich darin, dass die Mitarbeiter sich mehr Informationen und eine ausführlichere Einweisung wünschen. Insbesondere wenn neue Kollegen im Team aufgenommen werden, ist eine Einweisung notwendig, die jedoch heutzutage nicht erfolgt. In diesem Fall helfen sich die Kollegen untereinander. Insgesamt ist jedoch die frühzeitige Partizipation der Mitarbeiter bei neuen MRK-Einsätzen hervorzuheben, die ebenso mit der Präsenz der Planer an der Linie einhergeht, sodass eine Kommunikation zwischen Planer und Produktionsmitarbeiter ermöglicht wird.

Bezugnehmend auf die weiteren Einsatzpotenziale der MRK im Linienabschnitt, sehen die Mitarbeiter eine Vielzahl an Möglichkeiten, z. B. beim Anbringen der Gelenkwelle oder beim Verschrauben des Generators. Dass die Mitarbeiter grundsätzlich weitere Einsatzmöglichkeiten sehen, lässt darauf schließen, dass die Zusammenarbeit mit Roboter insgesamt als positiv bewertet und die Kooperation mit einem Roboter nicht ausgeschlossen wird. Vorrangig werden dabei positive Aspekte, wie die Verbesserung der Ergonomie, die Arbeitserleichterung durch den Roboter sowie die Selbstständigkeit und geringe Störanfälligkeit des Roboters durch die Mitarbeiter genannt.

Im Gegensatz dazu sind die Geschwindigkeit des Roboters und die Gefahr des Arbeitsplatzwegfalls als negativ einzustufen. Dennoch findet die Aneignung des Roboters, von anfänglichem Respekt vor der unbekanntem Technologie bis dahin, dass der Roboter nicht mehr wahrgenommen wird, relativ schnell statt. Die Namensgebung „Klaus“ für den neuen „Kollegen Roboter“ resultiert ebenfalls aus dieser guten Aneignung des Roboters im Team und spiegelt die Akzeptanz der MRK wieder.

### 7.2.3 Einschätzung der Veränderungstiefe der Arbeit der Zukunft durch MRK

Die Forderung von Deuse et al. (2009), dass eine Reduzierung des Prozess- und Systemverständnisses der Mitarbeiter innerhalb der MRK vermieden werden sollte, um folglich die Handlungsfähigkeit im Produktionssystem weiterhin zu erhalten, konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht erfüllt werden. Vielmehr findet eine Entwicklung in Richtung der Abnahme des Prozess- und Systemverständnisses der Mitarbeiter statt, die tagtäglich mit dieser neuen Technologie kooperieren. Grund dafür liegt in der mangelnden Einführung der neuen Technologie in das Team und der fehlenden Hintergrundinformation, die den Mitarbeitern nicht zur Verfügung gestellt wurden. Zudem erfolgt die Qualifizierung bezüglich des Prozess- und Systemverständnisses lediglich für eine ausgewählte Zielgruppe. Diese Zielgruppe der Anlagenbediener hat demnach das Alleinstellungsmerkmal inne, im Störfall eingreifen zu können. Die Produktionsmitarbeiter sind wiederum auf diese

Zielgruppe angewiesen und im Störfall nicht selbst handlungsfähig. Demzufolge bietet der Einsatz der MRK keine neuen Entwicklungspotenziale für die Produktionsmitarbeiter.

In diesem Zusammenhang ist erneut auf die CIM-Debatte aus den 1980er Jahren hinzuweisen, bei der ein rationalisierungsbedingter Arbeitsplatzverlust mit der Vision einer menschenleeren Fabrik einherging (Bauernhansl 2013). Aufgrund der mangelnden Berücksichtigung des Menschen in der Rolle als Mitarbeiter und Kunde ist dieses Konzept jedoch gescheitert (Deuse 2015). In Anbetracht dessen, sollte bei dem vermehrten Einsatz der MRK immer der Mensch im Zusammenhang mit der Technik und der Organisation gesehen werden.

Hinzu kommt, dass der flächendeckende Einsatz der MRK in der Automobilindustrie entgegen der Erwartungen der Experten geht. Begründet durch die noch sehr hohen Investitionskosten im Vergleich zu konventionellen Verbesserungsmaßnahmen in der Automobilindustrie, kann die Aussage von Helm und Meyer (2005) nicht bestätigt werden. Vor diesem Hintergrund wird MRK zukünftig lediglich als Einzellösungen für ausgewählte Arbeitsplätze zum Einsatz kommen. Dort wo MRK allerdings eingesetzt wird, ist eine erhebliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen aufgrund der gezielten Aufgabenteilung je nach Stärken und Schwächen von Mensch und Maschine zu erwarten. Gerade im Kontext der Verschiebung der Altersstruktur in Unternehmen, bieten innovative Automatisierungslösungen geeignete Unterstützungssysteme für Mitarbeiter, um die ergonomischen Bedingungen am Arbeitsplatz zu verbessern.

## 8 Fazit und Ausblick

Die Zielsetzung der Forschungsarbeit bestand zum einen in der Identifikation von Entscheidungskriterien für einen MRK-Einsatz zur ergonomischen Verbesserung sowie zum anderen in der Untersuchung der Mitarbeitersicht auf den Auswahl- und Einführungsprozess der MRK. Im Rahmen der Studie 1 konnte eine Vorgehensweise zur kriterienbasierten MRK-Auswahl unter Berücksichtigung der Mitarbeitersicht entwickelt werden. Hierbei konnte festgestellt werden, dass der Grundansatz der Nutzwertanalyse im Rahmen von Gruppenbefragungen anwendbar und im Ergebnis eine Rangfolge von Arbeitsplätzen abzuleiten ist, bei denen das Potenzial zur ergonomischen Verbesserung durch einen MRK-Einsatz besteht. Die anschließenden Interviews der Studie 2 konnten dieses Potenzial ebenfalls bestätigen, indem die dort eingeführte MRK eine ergonomische Entlastung für die Mitarbeiter darstellt. Demzufolge kann das Motiv der MRK zur ergonomischen Verbesserung der Arbeitsplatzbedingungen erfüllt werden.

### 8.1 Fazit zur zukunftsorientierten Arbeitsplatzgestaltung unter Anwendung der Mensch-Roboter-Kooperation

In der vorliegenden Arbeit wird bestätigt, dass die MRK als ein Handlungsansatz zur Verbesserung von ergonomisch kritischen Arbeitsplätzen im Rahmen eines robotergestützten kooperierenden Assistenzsystems geeignet ist. Hierbei wird die ergonomische Entlastung insbesondere die Reduzierung des Stressempfindens von den Mitarbeitern hervorgehoben.

Gerade vor dem Hintergrund des verringerten Verantwortungsgefühls der Mitarbeiter im Falle einer Störung durch den Roboter, tritt diese Stressreduzierung ein. Bei der Kombination der Stärken und Schwächen von Mensch und Roboter ist jedoch darauf zu achten, dass die Gestaltung der MRK nicht zu Über- oder Unterforderungszuständen bei den Mitarbeitern führt. Denn trotz der Stressreduzierung hat der Störfall auch negative Konsequenzen für die Mitarbeiter. Einerseits sind die Mitarbeiter aufgrund der fehlenden Qualifikation nicht in der Lage eigenständig die Störung zu beheben. Dementsprechend sind sie abhängig von der Erreichbarkeit und Reaktionsgeschwindigkeit der Anlagenbediener, die dafür die notwendige Fachkompetenz aufweisen. Andererseits kommt es aufgrund der Störung und des daraus resultierenden Ausfalls des Roboters zu einer Überforderungssituation bei Ausführung der eigenen Tätigkeit und der Aufgabe des Roboters im Rahmen der vorgegebenen Taktzeit.

Zudem wirkt sich diesbezüglich der fehlende Übungsgrad der Tätigkeit, die der Roboter übernommen hat, ebenfalls negativ auf die Belastungssituation aus. Demzufolge bietet der störungsfreie Roboter eine Möglichkeit zur Belastungsreduzierung bei den Mitarbeitern im Rahmen ihrer Tätigkeit. Im Störfall erzeugt die MRK jedoch mehr negative als positive Aspekte für die Belastungssituation der Mitarbeiter. Aus diesem Grund ist der störungsfreie

Ablauf der MRK eine entscheidende Voraussetzung, um sowohl die Belastungssituation der Mitarbeiter nicht zu verschlechtern, als auch die Akzeptanz der Mitarbeiter für diese neue Technologie zu gewinnen. Gelingt die Erfüllung dieser Voraussetzung, findet die Integration des Roboters durch Humanisierung in Form der Namengebung in das Team statt und die Zusammenarbeit mit dem Roboter wird, trotz des Bewusstseins der Mitarbeiter bezüglich des möglichen Arbeitsplatzverlustes durch den Robotereinsatz, als positiv bewertet. In Anbetracht der existierenden Verlustangst des Arbeitsplatzes bei den Mitarbeitern, wenn vermehrt Roboter zum Einsatz kommen, ist die Partizipation und offene Kommunikation unabdingbar, um diesen Ängsten entgegenzuwirken.

In diesem Zusammenhang sollte die Partizipation der Mitarbeiter, die letztendlich mit dem Roboter kooperieren, bereits bei der kriterienbasierten Auswahl des MRK-Einsatzes erfolgen. Hierfür geht aus der vorliegenden Untersuchung eine Vorgehensweise hervor, die drei Schritte beinhaltet: Analyse, Bewertung und Rangfolgenbildung. Hierbei wird empfohlen, risikobehaftete Arbeitsplätze in die Analyse aufzunehmen, welche einen Schwerpunkt in einer Belastungskategorie aufweisen. Hierbei könnte ein Arbeitsplatz in Frage kommen, bei dem der Großteil der Belastungspunkte bspw. in der Sektion 3 „Lastenhandhabung“ zu verorten ist. Zudem wurden 15 Entscheidungskriterien induktiv generiert, die durch eine interdisziplinäre Gruppe bewertet wurden. Dabei ist von besonderer Relevanz, dass diese Gruppe bereits einen produktionsnahen Vertreter, idealerweise ein Mitarbeiter aus der betreffenden Linie, aufweist. Die in Anlehnung an die Nutzwertanalyse erzeugte Rangfolge der zu bewertenden Arbeitsplätze bietet somit eine geeignete Grundlage für die Entscheidungsfindung bzgl. des Roboter-Einsatzes. Schließlich wird mit dieser Vorgehensweise zur kriterienbasierten Auswahl des MRK-Einsatzes der Anspruch der Vergleichbarkeit von risikobehafteten Arbeitsplätzen erfüllt.

Zusammenfassend liefert die vorliegende Forschungsarbeit eine Vorgehensweise zur Auswahl von MRK-Arbeitsplätzen unter Anwendung einer kriterienbasierten Bewertung durch eine interdisziplinäre Gruppe von themenbezogenen Experten und produktionsnahen Mitarbeitern. Kommt der Roboter letztendlich in den kooperierenden Einsatz, ist eine Belastungsreduzierung für die Mitarbeiter aufgrund der Übernahme der risikobehafteten Tätigkeit zu erwarten.

Insgesamt stellt die MRK eine geeignete Maßnahme zur Verbesserung der risikobehafteten Arbeitsplätze dar. Dennoch ist hervorzuheben, dass die MRK lediglich eine Lösung von einer Vielzahl an Verbesserungsmaßnahmen darstellt, die abhängig von den Rahmenbedingungen des Arbeitsplatzes mehr oder weniger geeignet ist. Dabei entspricht die MRK keiner Universallösung für ergonomisch kritische Arbeitsplätze. Der MRK-Einsatz sollte vielmehr individuell und im Vergleich mit anderen Maßnahmen, wie z. B. Manipulatoren, betrachtet werden.

## 8.2 Ausblick in weitere Forschungsbereiche

Vor dem Hintergrund der Ergänzung des Vergleichs von Arbeitsplätzen mittels Nutzwertanalyse bezüglich des MRK-Einsatzes mit weiteren Verbesserungsmaßnahmen zur ergonomischen Gestaltung, ist die vorgestellte Vorgehensweise ebenfalls mit weiteren Maßnahmen, wie z. B. Manipulatoren, durchzuführen. Somit würden die drei Schritte der beschriebenen Vorgehensweise unter Berücksichtigung einer alternativen Maßnahme durchgeführt werden. Dies ermöglicht den direkten Vergleich der Nutzwerte bei einem MRK-Einsatz und dem Manipulator-Einsatz. Letztendlich zählt die MRK zu den robotergestützten Assistenzsystemen und ermöglicht folglich die Anwendung der Vorgehensweise zur Arbeitsplatzauswahl mit alternativen Assistenzsystemen. Dennoch wird im Rahmen dessen auf eine erneute Prüfung durch weitergehende Untersuchungen der Vorgehensweise auf Assistenzsysteme allgemein verwiesen.

Letzten Endes stellt die MRK lediglich eine korrektive Maßnahme zur Verbesserung der ergonomischen Arbeitsbedingungen dar. Grundsätzlich sollte jedoch der Fokus auf der prospektiven Arbeitsgestaltung liegen, bei der persönlichkeits- und lernförderliche Ansätze bereits in der frühen Phase der Planung bzw. Neugestaltung von Arbeitsplätzen zur Anwendung kommen (Bergmann 1996). In diesem Zusammenhang ist ebenfalls auf die Produktionsergonomie zu verweisen, die den Ergonomie gerechten Herstellungsprozess von Produkten und Dienstleistungen in den Vordergrund stellt (Schlick et al. 2010). Dazu zählen ebenfalls Produktionswerkzeuge, Hilfsmittel sowie logistische Regale und Warenkörbe zum Transport der zu verbauenden Bauteile. Hierbei sollte ebenfalls die Ergonomie gerechte Verwendung hervorgehoben werden, die weniger Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitstätigkeit an sich beschreibt, sondern viel mehr die Produktoptimierung in den Fokus der Betrachtung rückt.

Angesichts der Verwendung qualitativer Forschungsmethoden zur Beantwortung der Forschungsfragen, sollten an dieser Stelle weitere Untersuchungen bezüglich der Auswirkungen der Kooperation mit einem Roboter in der Automobilindustrie erfolgen. Aufgrund der bestehenden Interviewanzahl wird empfohlen, ergänzende Interviews mit Produktionsmitarbeitern weiterer sich im Serieneinsatz befindenden MRK durchzuführen. Des Weiteren ist eine Weiterentwicklung des technischen Standes der MRK hinsichtlich der Robotergeschwindigkeit, der Greif- sowie weiterer Schraubfunktionen zu erwarten, welche sich positiv auf den Verbreitungsgrad der Leichtbauroboter in der Automobilindustrie auswirkt.

Der bisherige Verbreitungsgrad von MRK beschränkt sich vielfach auf die Fertigung und Produktion, insbesondere auf den Karosseriebau in der Automobilbranche. Mit Blick in die Zukunft werden jedoch weitere Einsatzfelder der Roboter erwartet (Haun 2013). Hierbei wären zukünftige Einsatzmöglichkeiten im Servicebereich, im Rahmen der Werksicherheit oder sogar

im Büro nicht auszuschließen. Diesbezüglich gelten jedoch ähnliche Handlungsempfehlungen hinsichtlich der Partizipation der Mitarbeiter beim Auswahl- und Einführungsprozess der Roboter. Welche Aspekte genau bei Robotereinstätzen in produktionsfernen Bereichen Beachtung finden sollten, gilt es somit in einer gesonderten Forschungsarbeit zu untersuchen.

In diesem Kontext geht Haun (2013) zudem auf die Verwendung von Freizeitrobotern als Spielzeug oder nützliche Helfer im Haushalt ein. Interessant ist dabei die Frage nach der Akzeptanzentwicklung von Mitarbeitern bezüglich der neuen Kollegen *Roboter*, wenn der Verbreitungsgrad in der in der Produktion und zugleich im häuslichen Umfeld zunimmt. Inwiefern die Verbreitungsgrade in den unterschiedlichen Umgebungen Einfluss auf die grundsätzliche Akzeptanz dieser neuen Form kooperativer Zusammenarbeit ausüben, stellt außerdem einen weiteren Forschungsansatz dar.

Abschließend ist festzustellen, dass die neue Form der Robotik mit Hilfe der Leichtbauweise neue Einsatzfelder ermöglicht, um einer Vielzahl an Herausforderungen im Arbeitsumfeld sowie im privaten Umfeld zu begegnen.

## Literaturverzeichnis

- Antoni, C. H. (1996). Teilautonome Arbeitsgruppen. Ein Königsweg zu mehr Produktivität und einer menschengerechten Arbeit? Weinheim: Psychologie Verlag Union.
- Atteslander, P. (2010). Methoden der empirischen Sozialforschung. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) (1996). Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit. Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 427 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist. Online verfügbar unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/arbschg/gesamt.pdf> (Zugriff: 12.03.2017, 10:00 MEZ).
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19 (6), 775-779.
- Bamberg, E.; Keller, M.; Wohlert, C. & Zeh, A. (2006). BGW-Stresskonzept. Das arbeitspsychologische Stressmodell. Heiligenhafen: Eggers.
- Bauerhansl, T. (2013). Industrie 4.0: Nur ein Medienhype oder die schöne neue Produktionswelt? *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 108, 573-574.
- Bergmann, B. (1996). Lernen im Prozess der Arbeit. In: Arbeitsgemeinschaft betriebliche Weiterbildungsforschung e. V. (Hrsg.). Kompetenzentwicklung 99: Strukturwandel und Trends in der betrieblichen Weiterbildung. Münster: Waxman, S. 153–262.
- Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG) (1972). Betriebsverfassungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. September 2001 (BGBl. I S. 2518), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2509) geändert worden ist. Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/betrvg/BetrVG.pdf> (Zugriff: 15.0.3.2017, 09:00 MEZ).
- BG/BGIA (2009). BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie. Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern. Sankt Augustin: DGUV.
- BIB – Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (2015). Altersaufbau der Bevölkerung in Deutschland, 31.12.2013. Online verfügbar unter: [http://www.bib-demografie.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Download/Abbildungen/02/a\\_02\\_06\\_pyr\\_d\\_2013\\_beschriftet.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](http://www.bib-demografie.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Download/Abbildungen/02/a_02_06_pyr_d_2013_beschriftet.pdf?__blob=publicationFile&v=8) (Zugriff: 15.04.2015 15.00 MEZ).



- Billings, C. E. (1997). *Aviation automation. The search for a human-centered approach.* Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Birg, H. (2004). Chancen und Perspektiven. *Informationen zur politischen Bildung*, 282, 55-56.
- BMI – Bundesministerium des Inneren (2011). *Demografiebericht. Bericht der Bundesregierung zur demografischen Lage und künftigen Entwicklung des Landes.* Berlin.
- Bogner, A.; Littig, B. & Menz, W. (2014). *Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung.* Wiesbaden: Springer.
- Börsch-Supan, A. & Wilke, C. B. (2009). Zur mittel- und langfristigen Entwicklung der Erwerbstätigkeit in Deutschland. *Zeitschrift für Arbeitsmarktforschung*, 42, 29-48.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation.* Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Brauer, R. R.; Fischer, N. M. & Grande, G. (2014). Steigerung der Akzeptanz neuer Technik am Beispiel kooperativer Roboter. In: Weidner, R. & Redlich, T. (Hrsg.), *Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema „Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen“.* Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität, S. 220-228.
- Christoffersen, K. & Woods, D.D. (2002). How to make automated systems team players. In: Salas, E. (Hrsg.), *Advances in human performance and cognitive engineering research.* Burlington: Elsevier, S. 1-12.
- Dehais, F., Sisbot, E., Alami, R. & Causse, M. (2011). Physiological and subjective evaluation of a human-robot object hand-over task. *Applied Ergonomics*, 42, S. 785-791.
- Deuse, J.; Schallow, J. & Sackermann, R. (2009). Arbeitsgestaltung und Produktivität im globalen Wettbewerb. Tagungsband zum 55. Frühjahreskongress „Arbeit, Beschäftigungsfähigkeit und Produktivität im 21. Jahrhundert“ der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA). Technische Universität Dortmund, S. 19-23.
- Deuse, J.; Weisner, K.; Hengebeck, A. & Busch, F. (2015). Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In: Botthof, A. & Hartmann, E. A. (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0.* Berlin: Springer.
- DGUV – Deutsche Gesellschaft für Unfallversicherung (2014). *3D-Schutzraum: Anordnung der BWS. Bestimmung des Sicherheitsabstandes in Anlehnung an DIN EN ISO 13855.* Mainz: Fachbereich Holz und Metall der DGUV.
- DGUV – Deutsche Gesellschaft für Unfallversicherung (2016). *DGUV Information 208-033. Belastungen für Rücken und Gelenke – was geht mich das an?* Online verfügbar unter: <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/208-033.pdf> (Zugriff: 15.04.2017, 11:45 MEZ).

- Dietz, T.; Oberer-Treitz, S. & Kroh, R. (2015). Mensch-Roboter-Kooperation wirtschaftlich einsetzen. Online verfügbar unter: <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/mensch-roboter-kooperation-wirtschaftlich-einsetzen-a-497914/> (Zugriff: 10.08.2015 14.00 MEZ).
- DIN EN 614-1 (2006). Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Gestaltungsgrundsätze -Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze. Berlin: Beuth.
- DIN EN 775 (1993). Industrieroboter – Sicherheit. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 10075-1 (2018). Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeine Aspekte und Konzepte und Begriffe (ISO 10075-1:2017). Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 10218-1 (2012). Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Roboter. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 10218-2 (2012). Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersystem und Integration. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 12100 (2011). Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung. Beuth: Berlin.
- DIN EN ISO 13855 (2010). Sicherheit von Maschinen – Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-1 (2002). Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 1: Allgemeine Einführung (ISO 9241-1:1997) (enthält Änderung AMD 1:2001). Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-11 (1999). Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-110 (2006). Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung. Berlin: Beuth.
- Dresing, T. & Pehl, T. (2013). Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende (5. Aufl.). Marburg.
- Ducki, A. (2000). Diagnose gesundheitsförderlicher Arbeit – Eine Gesamtstrategie zur betrieblichen Gesundheitsanalyse. Mensch, Technik, Organisation. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Dunckel, H. & Volpert, W. (1997). Aufgaben- und Kriterien bezogene Gestaltung von Arbeitsstrukturen. In Luczak, H. & Volpert, W. (Hrsg.). Handbuch Arbeitswissenschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 791-795.
- Dunckel, H. (1996). Psychologisch orientierte Systemanalyse im Büro. Bern: Huber.

- Dzindolet, M. T., Peterson, S. A., Pomranky, R. A., Pierce, L. G. & Beck, H. P. (2003). The role of trust in automation reliance. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58, S. 697-718.
- Ellegast, R. P.; Hermann, I. & Schiefer, C. (2009). Workload Assessment in Field Using the Ambulatory CUELA System. *Proceedings of the Second International Conference Digital Human Modeling*. San Diego: HCI International, S. 221-226.
- Emmermacher, A. (2008). *Gesundheitsmanagement und Weiterbildung*. Wiesbaden: Gabler.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, S. 85-104.
- Endsley, M. R., Bolté, B. & Jones, D. B. (2003). *Designing for situation awareness. An approach to user-centered design*. London: Taylor & Francis.
- Fitts, P.M. (1951). *Human engineering for an effective air navigation and traffic control system*. National Research Council, Washington DC.
- Flick, U. (2000). Design und Prozess qualitativer Forschung. In: Flick, U.; von Kardorff, E. & Steinke, I. (Hrsg.), *Qualitative Forschung*. Reinbek: Rowohlt Taschenbuch Verlag, S. 252-265.
- Flick, U. (2002). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung (8. Aufl.)*, Reinbek: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Fraunhofer Austria Research GmbH (2016). *Sicherheit in der Mensch-Roboter- Kollaboration, Grundlagen, Herausforderungen, Ausblick*. Online verfügbar unter: [https://www.fraunhofer.at/content/dam/austria/documents/WhitePaperTUEV/White%20Paper\\_Sicherheit\\_MRK\\_Ausgabe%201.pdf](https://www.fraunhofer.at/content/dam/austria/documents/WhitePaperTUEV/White%20Paper_Sicherheit_MRK_Ausgabe%201.pdf) (Zugriff am: 03.05.2017, 15:00 MEZ).
- Fraunhofer Gesellschaft (2014). *Roboter – Kollegen mit Kraft. Weiter vorn. Das Fraunhofer-Magazin*, 2.
- Fritzsche, M. & Elkmann, N. (2009). Robo touch – Eine künstliche Haut für Mensch-Roboter-Interaktion. In: VDI (Hrsg.), *Tagung mit Fachausstellung Mechatronik*. Wiesbaden: VDI.
- Früh, W. (2011). *Inhaltsanalyse*. Konstanz und München: UVK Verlagsgesellschaft mbH.
- Grob, R. & Haffner, H. (1982). *Planungsleitlinien Arbeitsstrukturierung*. Berlin, München: Siemens AG.
- Grote, G., Ryser, C., Wäfl er, T., Windischer, A. & Weik, S. (2000). KOMPASS: A method for complementary function allocation in automated work systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, 52, S. 267–287.
- Hacker, W. & Richter, P. (1984). *Psychische Fehlbeanspruchung. Psychische Ermüdung, Monotonie, Sättigung, Stress*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.

- Hacker, W. (1989). Vollständige vs. unvollständige Arbeitstätigkeiten. In S. Greif, H. Holling & N. Nicholson (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie. Internationales Handbuch in Schlüsselbegriffen*. München: Psychologie Verlags Union, S. 463–466.
- Hacker, W. (2006). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten* (2. Aufl.). Bern: Huber.
- Hackman, J. R. & Oldham, G. R. (1976). Motivation through the design of work: Test of a theory. *Organizational Behavior and Human Performance*, 16 (2), S. 250-279.
- Hackman, J. R. & Oldham, G. R. (1980). *Work redesign*. Reading: Addison-Wesley.
- Häder, M. (2015). *Empirische Sozialforschung. Eine Einführung*. Wiesbaden: Springer.
- Hägele, M. & Schäfer, T. (2006). Roboteranwendungen. In: Grünhaupt, G. (Hrsg.), *Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik in der Produktion*. Berlin: Springer, S. 769 – 786.
- Hartmann, B.; Ellegast, R.; Schäfer, K.; Hecker, C.; Kusserow, H.; Steinberg, U.; Ponto, K.; Jäger, M.; Meixner, T. & Neugebauer, G. (2007). Eine Checkliste zur Prüfung des Angebots arbeitsmedizinischer Vorsorge bei körperlichen Belastungen des Muskel-Skelett-Systems. *ASU*, 9, S. 499-507.
- Hartmann, B.; Ellegast, R.; Jäger, M.; Luttmann, A.; Pfister, E. A.; Liebers, F.; Steinberg, U.; Schaub, K.; Kusserow, H.; Bradl, I.; Scholle, H.-C. & Gebhardt, H. (2008). *Bewertung körperlicher Belastungen des Rückens durch Lastenhandhabung und Zwangshaltung im Arbeitsprozess*. Aachen: DGAUM.
- Hartmann, E. (2015). *Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen*. In: Botthof, A. & Hartmann, E. A. (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin: Springer, 9-20.
- Haug, C. V. (2009). *Erfolgreich im Team*, 4. Aufl., München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
- Haun, M. (2013). *Handbuch Robotik*. Berlin: Springer.
- Hauß, Y. & Timpe, K.-P. (2000). Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In: Timpe, K.-P.; Jürgensohn, T. & Kolrep, H. (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*. Düsseldorf: Symposium, S. 41-62.
- Helferich, C. (2014). Leitfaden- und Experteninterviews. In: Bauer, N. & Blasius, J. (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 559-574). Wiesbaden: Springer.
- Helm, E. & Meyer, C. (2005). Assistor – Mensch und Roboter rücken zusammen. Einsatz von sicheren und einfach bedienbaren Assistenzrobotern im Produktionsalltag. *Wt Werkstattstechnik online* (95), 9, S. 677-683.

- Herzberg, F. (1968). One more time: How do you motivate employees? *Harvard Business Review*, 46, S. 53-62.
- Herzberg, F.; Mausner, B. & Snyderman, B. (1959). *The motivation to work*. New-York: Wiley.
- Hitzler, R.; Honer, A. & Maeder, C. (Hrsg.) (1994). *Expertenwissen – Die institutionalisierte Kompetenz zur Konstruktion von Wirklichkeit*. Opladen: Westdeutscher.
- Hölzl, E. (1994). Qualitatives Interview. In: *Arbeitskreis Qualitative Sozialforschung (Hrsg.), Verführung zum Qualitativen Forschen. Eine Methodenauswahl*. Wien: WUV-Universitäts-Verlag, S. 61-68.
- Huber, W. (2016). *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion*. Wiesbaden: Springer.
- IAD & AMI (Institut für Arbeitswissenschaft Darmstadt) & Associazione MTM Italia (2012). *Ergonomic Assessment Worksheet. Version 1.3.3*. Institut für Arbeitswissenschaft Darmstadt und Associazione MTM Italia (Hrsg.).
- IEA (2000). *What is Ergonomics*. Homepage of International Ergonomics Association. Verfügbar unter: <http://www.iea.cc/whats/index.html> (Zugriff: 15.06.2016).
- ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. (2017). *Mensch-Roboter-Kooperation. Zahlen, Daten, Fakten*. Online verfügbar unter: [https://www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Factsheet\\_MRK\\_6.pdf](https://www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/user_upload/Downloads/Factsheet_MRK_6.pdf) (Zugriff: 31.05.2017, 16:00 MEZ).
- IFR – International Federation of Robotics (2013). *Die Robotik Industrie blickt in eine rosige Zukunft*. Pressemitteilung. Online verfügbar unter: [https://rua.vdma.org/documents/105999/2270047/09\\_18\\_2013%20PI\\_IFR\\_WR\\_Industrieroboter%202013.pdf/e2568998-b864-40d4-81a5-5d4a85ac13e4](https://rua.vdma.org/documents/105999/2270047/09_18_2013%20PI_IFR_WR_Industrieroboter%202013.pdf/e2568998-b864-40d4-81a5-5d4a85ac13e4) (Zugriff: 06.05.2017, 15:00 MEZ).
- Ikeura, R., Hagiwara, A., Kosha, T. & Mizutani, K. (2003). *Previous Notice Method of Three Dimensional Robotic Arm Movement for Suppressing Threat to Humans*. In: *Proceedings of the 2003 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*. USA: Millbrae, S. 353-357.
- Inasaki, I. (2004). *Autonome Produktionszellen: Machining Processes in Precision Engineering*. In: *Pritschow, G. & Klocke, F. (Hrsg.), Autonome Produktion*. Berlin: Springer, S. 27–37.
- ISO/TS 15066 (2016). *Robots and robotic devices – Collaborative robots*. Berlin: Beuth.
- Jastrzebowski, B. W. (1857). *Rys Ergonomiji czyli Nauki o Pracy, opartej na prawdach poczerpnietychz Nauki Przyrody*. *Przyroda i przemysl* 29, S. 277 ff.

- Kaber, D. B. & Riley, J. M. (1999). Adaptive automation of a dynamic control task based on secondary-task workload measurement. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 3, S. 169–187.
- Kaber, D. B., Riley, J. M., Tan, K.-W. & Endsley, M. R. (2001). On the design of adaptive automation for complex systems. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 5, S. 37–57.
- Kaiser, R. (2014). *Qualitative Experteninterviews – Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung*. Wiesbaden: Springer.
- Kauffeld, S. & Hoppe, D. (2011). Arbeit und Gesundheit. In: Kauffeld, S. (Hrsg.), *Arbeits-, Organisations- und Personalpsychologie*. Heidelberg: Springer, S. 232-244.
- Kauffeld, S. & Martens, A. (2014). *Arbeitsanalyse und –gestaltung*. In: Kauffeld, S. (Hrsg.), *Arbeits-, Organisations- und Personalpsychologie für Bachelor*. Berlin: Springer, S. 211-240.
- Kirchner, J. H. (1972). *Arbeitswissenschaftlicher Beitrag zur Automatisierung – Analyse und Synthese von Arbeitssystemen*. Berlin: Beuth.
- KMK – Kultusministerkonferenz (1972). *Vereinbarung zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II*. Berlin.
- Knieps, F. & Pfaff, H. (Hrsg.) (2016). *Gesundheitsreport 2016. Gesundheit und Arbeit*. Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Knoblauch, H. (2014). Qualitative Methoden am Scheideweg Jüngere Entwicklungen der interpretativen Sozialforschung. In: Mey, G. & Mruck, K. (Hrsg.), *Qualitative Forschung*. Wiesbaden: Springer Verlag, S. 73-85.
- König, R., (1973). Die Beobachtung. In: König, R. (Hrsg.), *Handbuch der empirischen Sozialforschung*. Band. 2: Grundlegende Methoden und Techniken der empirischen Sozialforschung. Erster Teil, 3. Aufl. Stuttgart: dtv, S. 1-65.
- Kopacek, P. (2009). Robotersysteme. In Landau, K. & Pressel, G. (Hrsg.). *Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen*. Stuttgart: Gentner, S. 669-673.
- Koppelman, U. (Hrsg.) (2004). *Beschaffungsmarketing*. Berlin: Springer.
- Koppenborg, M.; Lungfiel, A.; Naber, B. & Nickel, P. (2013). Auswirkung von Autonomie und Geschwindigkeit in der virtuellen Mensch-Roboter-Kollaboration. 59. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press.
- Krebs, D. & Menold, N. (2014). Gütekriterien quantitativer Sozialforschung. In: Baur, N. & Blasius, J. (Hrsg.), *Handbuch empirischer Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer SV, S. 425-438.

- Kromrey, H. (2009). Empirische Sozialforschung. Modelle und Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung, 12. Aufl. Wiesbaden: Springer SV.
- Kubitschek, S. & Kirchner, J.-H. (2005). Kleines Handbuch der praktischen Arbeitsgestaltung. Grundsätzliches, Gestaltungshinweise, Gesetze, Vorschriften und Regelwerke, weiterführende Literatur. München: Hanser.
- Kühnapfel, J. B. (2014). Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb. Wiesbaden: Springer.
- Kugler, M.; Bierwirth, M.; Schaub, K.; Sinn-Berendt, A.; Feith, A.; Ghezel-Ahmadi, K. & Bruder, R. (2010). KoBRA – Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit. Ergonomie in der Industrie – aber wie? Handlungshilfe für den schrittweisen Aufbau eines einfachen Ergonomiemanagements. München: Meindl Druck.
- Lamnek, S. (2005). Qualitative Sozialforschung, 4. Aufl. Weinheim: Beltz Verlag.
- Laurig, W. (1992). Grundzüge der Ergonomie. Berlin/Köln: Beuth Verlag.
- Lavatelli, I.; Schaub, K.; Caragnano, G. (2012). Correlations in between EAWS and OCRA Index concerning the repetitive loads of the upper limbs in automobile manufacturing industries, *IOS Press*, S. 4436.
- Lawaczeck, M. (2001). Zur ergonomischen Beurteilung von Montagetätigkeiten in der Automobilindustrie. Stuttgart: Ergon.
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors*, 46, S. 50-80.
- Loosen, W. (2008). Die Einheit der Differenz. Zum Verhältnis von Theorie und Empirie in der systemtheoretisch-konstruktivistischen Journalismusforschung. In: Pörksen, B.; Loosen, W. & Scholl, A. (Hrsg.), *Paradoxien des Journalismus: Theorie – Empirie – Praxis*. Wiesbaden: VS Verlag, S. 583-607.
- Luczak, H. & Schlick, C. (2007). Gestaltung des Arbeitsplatzes. In: Schuler, H. (Hrsg.), *Handbuch der Arbeits- und Organisationspsychologie*. Göttingen: Hogrefe, S.175–190.
- Luczak, H. & Volpert, W. (1987). Arbeitswissenschaft. Kerndefinition, Gegenstandskatalog, Forschungsgebiete. Eschborn: Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft.
- Madhavan, P., Diegmann, D. A. & Lacson, F. C. (2006). Automation failures on tasks easily performed by operators undermine trust in automated aids. *Human Factors*, 48, S.241-256.
- Maintz, G. (2003). Arbeit bis 67? Überlegungen aus arbeitsmedizinischer Sicht. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

- Manzey, D. (2012). Systemgestaltung und Automatisierung. In: Badke-Schaub, P.; Hofinger, G. & Lauche, K. (Hrsg.), Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen. Berlin: Springer-Verlag, S. 333-352.
- Manzey, D. & Bahner, J. E. (2005). Vertrauen in Automation als Aspekt der Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen. In Karrer, K.; Gauss, B. & Steffens, C. (Hrsg.), Beiträge zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis. Festschrift für Klaus-Peter Timpe. Düsseldorf: Symposium, S. 93-109.
- Martinez-Fernandez, C.; Kubo, N.; Noya, A. & Weyman, T. (2012). Demographic Change and Local De-velopment: Shrinkage, Regeneration and Social Dynamics, Local Economic and Employment Devel-opment (LEED). Working Paper Series.
- Maschinenrichtlinie (2006). Maschinenrichtlinie Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) (Text von Bedeutung für den EWR). Online verfügbar unter: [http://www.maschinenrichtlinie.de/fileadmin/dokumente/2006-42-EG\\_maschinenrichtlinie\\_de.pdf](http://www.maschinenrichtlinie.de/fileadmin/dokumente/2006-42-EG_maschinenrichtlinie_de.pdf) (Zugriff: 10.04.2017, 9:00 MEZ).
- Mayerhofer, W. (2009). Das Fokusgruppeninterview. In: Buber, R. & Holzmüller, H. H. (Hrsg.), Qualitative Marktforschung (2. Aufl.), Wiesbaden: Gabler, S. 477-490.
- Mayring, P. (2002). Einführung in die qualitative Sozialforschung, 5. Aufl.. München: Psychologie Verlags Union.
- McGrath, J. E. (1981). Stress und Verhalten in Organisationen. In: Nitsch, J. R. (Hrsg.), Stress. Bern: Huber, S. 441-499.
- Merkens, H. (2000). Auswahlverfahren, Sampling, Fallkonstruktion. In: Flick, U; v. Kardorff,
- Merten, K. (1995). Inhaltsanalyse. Einführung in Theorie, Methode und Praxis (2.Aufl.). Wiesbaden: Springer.
- Meuser, M. & Nagel, U. (2005). ExpertInneninterviews – vielfach erprobt, wenig bedacht. Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion. In: Bogner, A.; Littig, B. & Menz, W. (Hrsg.), Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung. Opladen: Verlag für Sozialwissenschaften, S. 71-94.
- Meuser, M. & Nagel, U. (2009). Das Experteninterview – konzeptionelle Grundlagen und methodische Anlage. In: Pickel, S.; Pickel, G.; Lauth, H.-J. & Jahn, D. (Hrsg.), Methode der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft. Neue Entwicklungen und Anwendungen. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften, S. 465-479.
- Mieg, H. A. & Brunner, B. (2004). Experteninterviews. Reflexionen zur Methodologie und Erhebungstechnik. Swiss Journal of Sociology, 30, 199-222.



- Milberg, J. & Hoßmann, J. (1989). Automatische Fertigung nichtformstabiler Bauteile. In: Montage 2, 1, S. 16–24.
- MRK-Systeme GmbH (2012). Mensch Und Roboter – Hand In Hand" MRK- Systeme GmbH präsentiert auf der AUTOMATICA 2012 neue Entwicklungen zur Mensch-Roboter-Kooperation. Online verfügbar unter: <http://www.mrk-systeme.de/artikel17.html> (Zugriff: 10.10.2015 12.30 MEZ).
- Müller, M. & Fiedler, M. (2016). Lean Management der Zukunft: Maßnahmen für ein gesichertes Morgen. In: Künzel, H. (Hrsg.), Erfolgsfaktor Lean Management 2.0. Wettbewerbsfähige Verschlinkung auf nachhaltige und kundenorientierte Weise. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, S. 99-114.
- Müller, T. (2001). Strukturen arbeitswissenschaftlichen Wissens. Würzburg: Deutscher Wissenschafts-Verlag.
- Mussnug, J. (2009). Blickbewegungen. In: Landau, K. & Pressel, G. (Hrsg.), Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen. Stuttgart: Gantner, S. 234-237.
- Naumann, M.; Dietz, T. & Kuss, A. (2017). Mensch-Maschine-Interaktion. In: Vogel-Heuser, B. et al. (Hrsg.), Handbuch Industrie 4.0, Band 4. Deutschland: Springer Verlag GmbH, 201-215.
- Nerdinger, F. W. (2013). Arbeitsmotivation und Arbeitshandeln. Eine Einführung. Kröning: Asanger.
- Nerdinger, F. W.; Blickle G. & Schaper, N. (2008). Arbeits- und Organisationspsychologie. Berlin: Springer-Verlag.
- Ohno, T. (2009). Das Toyota-Produktionssystem. Frankfurt: Campus Verlag.
- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. Human Factors, 39, S. 230-253.
- Parasuraman, R., Mouloua, M. & Molloy, R. (1996). Effects of adaptive task allocation on monitoring of automated systems. Human Factors, 38, S. 665–679.
- Parasuraman, R.; Sheridan, T. B. & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. IEEE Transactions on systems man and cybernetics – Part A: Systems and humans, 30, S. 286-297.
- Patrick, J. (1992). Training. Research and practice. London: Academic Press.
- Peshkin, M. & Colgate, J. E. (1999). Cobots. Industrial Robots: An International Journal, 26 (5), S. 335-341.
- Petruck, H.; Kuz, S.; Mertens, A. & Schlick, C. M. (2016). Untersuchung anthropomorpher Geschwindigkeitsprofile von Roboterbewegungen zur Erhöhung der Arbeitssicherheit bei

- der Mensch-Roboter-Interaktion. 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press.
- Pfadenhauer, M. (2003). Professionalität – eine wissenssoziologische Rekonstruktion institutionalisierter Kompetenzdarstellungskompetenz. Opladen: Leske u. Budrich.
- Pfadenhauer, M. (2009). Auf gleicher Augenhöhe. Das Experteninterview – ein Gespräch zwischen Experte und Quasi-Experte. In: Bogner, A.; Littig, B. & Menz, W. (Hrsg.), Experteninterviews. Theorien, Methoden, Anwendungsfelder. (3. Aufl., S. 99-116). Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Platbrood, F. (2016). Harmonische Zusammenarbeit. Sicherheitslösungen für die intelligente Mensch-Roboter-Kollaboration. KE Next im Fokus Automatisierung, S. 53-55.
- Plorin, D.; Jentsch, D.; Riedel, R. & Müller, E. (2013). Ambient Assisted Production. Konzepte für die Produktion 4.0 unter Berücksichtigung demografischer Entwicklungen. *wt werkstatttechnik* online, 103, S. 135-138.
- ProdSV – Produktsicherheitsgesetz (1993). Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung - 9. ProdSV). Vom 12. Mai 1993 (BGBl. I S. 704) in der Fassung vom 28. September 1995 (BGBl. I S. 1213), zuletzt geändert durch Artikel 19 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178). Online verfügbar unter: [http://www.bgbau-medien.de/qv/prodsv/prodsv\\_9.htm](http://www.bgbau-medien.de/qv/prodsv/prodsv_9.htm) (Zugriff: 15.04.2017, 11:00 MEZ).
- Promotorengruppe (Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft) (Hrsg.) (2013). Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Online verfügbar unter: [http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen\\_Industrie4\\_0.pdf](http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf) (Zugriff: 10.03.2015, 11:00 MEZ).
- Reinhart, G. & Rösel, W. (2010). Interaktiver Assistenzroboter in der Montage. Sicherheitsaspekte in der Mensch-Roboter-Kooperation, ZWF, 105, S. 80–83.
- Richter, G. (2010). Belastungen sind neutral! Das Belastungs-Beanspruchungsmodell. In: Faller, G. (Hrsg.), Lehrbuch Betriebliche Gesundheitsförderung. Bern: Hans Huber, S.70-74.
- Richter, M. & Flückiger, M. D. (2016). Usability und UX kompakt. Berlin: Springer.
- Robot Institut of America (1981). NBS/RIA Robotics Research Workshop : proceedings of the NBS/RIA Workshop on Robotic Research held at Gaithersburg, MD. November 13-15, 1979. Washington: National Bureau of Standards.

- Rohmert, W. & Rutenfranz, J. (1975). Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Bonn: Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung.
- Saldern, M. v. (1992). Qualitative Forschung – quantitative Forschung: Nekrolog auf einen Gegensatz.. Empirische Pädagogik. 6, S. 377-399.
- Sarodnick, F. & Brau, H. (2011). Methoden der Usability Evaluation. Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung. Bern: Hans Huber Verlag.
- Scallen, S. F. & Hancock, P. A. (2001). Implementing adaptive functional allocation. The International Journal of Aviation Psychology, 11, S. 197–221.
- Scerbo, M. W. (1996). Theoretical perspectives on adaptive automation. In: Parasuraman, R. & Mouloua M. (Hrsg.), Automation and human performance: Theory and applications. Mahwah: Lawrence Erlbaum, S. 37-63.
- Schaper, N. (2014). Arbeitsgestaltung in Produktion und Verwaltung. In: Nerdinger, F. W.; Blickle G. & Schaper, N. (Hrsg.). Arbeits- und Organisationspsychologie (3. Aufl.). Berlin: Springer-Verlag, S. 371-391.
- Schaub, K.; Caragnano, G.; Britzke, B. & Bruder, R. (2012). The European Assembly Worksheet. *Theoretical Issues in Economics Science*, S.1-21.
- Scheer, A. (1994). CIM: computer integrated manufacturing: towards the factory of the future. Berlin: Springer.
- Schenk, M. & Elkmann, N. (2012). Sichere Mensch-Roboter-Interaktion: Anforderungen, Voraussetzungen, Szenarien und Lösungsansätze. In: Müller, E. (Hrsg.), Demografischer Wandel – Herausforderungen für Arbeits- und Betriebsorganisation der Zukunft. Berlin: GITO, S. 109-120.
- Scheuch, E. (1973). Das Interview in der Sozialforschung. In: König, R. (Hrsg.), Handbuch der empirischen Sozialforschung, Grundlegende Methoden und Techniken, 1. München: Deutscher Taschenbuch Verlag, S. 66-190.
- Schlick C. M. & Winkelholz, C. (2008). Komplexität und Mensch-Maschine-Interaktion. In Schmidt, L., Schlick, C. M. & Grosche, J. (Hrsg.), Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. Berlin: Springer, S. 353-370.
- Schlick, C. M.; Bruder, R. & Luczak, H. (2010). Arbeitswissenschaft, 3. Aufl. Springer: 2010.
- Schnell, R.; Hill, P. B. & Esser, E. (1999). Methoden der empirischen Sozialforschung, 6. Aufl. München/Wien: Oldenbourg.
- Schnell, R.; Hill, P. B. & Esser, E. (2011). Methoden der empirischen Sozialforschung (9. Aufl.). München: Oldenbourg Verlag.

- Schönpflug, W. (1987). Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit - Konzepte und Theorien. In: Kleinbeck, U. & Rutenfranz, J. (Hrsg.), *Arbeitspsychologie. Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Praxisgebiete, Serie III, Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie*. Göttingen: Hogrefe, S. 130-184.
- Schraft, R. D. & Volz, H. (1996). *Serviceroboter. Innovative Technik in Dienstleistung und Versorgung*. Berlin: Springer.
- Schuh, G. (2007). Lean Innovation – Die Handlungsanleitung. In: G. Schuh & B. Wiegand (Hrsg.), *4. Lean Management Submit*. Aachen: Apprimus Verlag.
- Schumann, M. & Gerst, D. (1997). Innovative Arbeitspolitik – Ein Fallbeispiel. Gruppenarbeit in der Mercedes-Benz AG. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 41, S. 143-156.
- Schütz, A. (1972). Der gut informierte Bürger – Ein Versuch über die soziale Verteilung des Wissens. In Schütz, A. (Hrsg.), *Gesammelte Aufsätze (2. Aufl., S. 85–101)*. Den Haag: Nijhoff.
- Selye, H. (1974). *Stress without distress*. Philadelphia: Lippincott.
- Semmer, N. & Udris, I. (2007). Bedeutung und Wirkung von Arbeit. In: Schuler, H. (Hrsg.), *Lehrbuch Organisationspsychologie, 3. Aufl.* Bern: Hans Huber, S. 157-197.
- Sheridan, T. B. (1997). Supervisory control. In: Salvendy, G. (Hrsg.), *Handbook of human factors*. New York: Willey, S. 1295-1327.
- Spingler, J. & Thiernemann, S. (2001a). Direkte Mensch-Roboter-Kooperation in einer flexiblen Montagezelle. In: *Tagungsband Robotik, Ludwigsburg*, S. 191-195.
- Spingler, J. & Thiernemann, S. (2001b). Direkte Mensch-Roboter-Kooperation. Am Beispiel einer flexiblen Montagezelle. *ZWF (96)*, 11-12, S. 616-620.
- Springer, R. (1999). *Rückkehr zum Taylorismus? Arbeitspolitik in der Automobilindustrie am Scheideweg*. Frankfurt: Campus.
- Statistisches Bundesamt (2015). *Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. Wiesbaden.
- Steinberg U. & Windberg, H. J. (1997). *Leitfaden Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten – Empfehlungen für den Praktiker*. Bremerhaven: NW Wirtschaftsverlag.
- Steinberg, U.; Caffier, G.; Mohr, D.; Liebers, F. & Behrendt, S. (2008). *Modellhafte Erprobung des Leitfadens Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten*. Bremerhaven: NW Wirtschaftsverlag.

- Steinhilper, R.; Westermann, H.; Butzer, S.; Haumann, M. & Seifert, S. (2012). Komplexität messbar machen. Eine Methodik zur Qualifizierung von Komplexitätstreibern und -wirkungen am Beispiel der Refabrikation. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 107, S. 360-365.
- Steinke, I. (2004). Gütekriterien qualitativer Forschung. In: Flick, U.; von Kardorff, E. & Steinke, I. (Hrsg.), Qualitative Forschung. Ein Handbuch. Reinbek: Rowohlt Taschenbuch Verlag, S. 319-331.
- Stier, W. (1999). Empirische Forschungsmethoden. Berlin: Springer Verlag.
- Ulich, E. (2004). Gestaltung von Arbeitstätigkeiten. In: Schuler, H. (Hrsg.). Lehrbuch Organisationspsychologie. Bern: Huber, S. 221–251.
- Ulich, E. (2005). Arbeitspsychologie (6. Aufl.). Stuttgart: Schäffer-Pöschel.
- Ulich, E. (2011). Arbeitspsychologie (7. Aufl.). Zürich: Schäffer-Poeschel.
- VERBI GmbH (2018). MAXQDA – The Art of Data Analysis. Online verfügbar unter: <https://www.maxqda.de/> (Zugriff: 10.04.2017, 10:00 MEZ).
- VDI-Richtlinie 2861 Blatt 1 (1988). Montage- und Handhabungstechnik – Kenngrößen für Industrieroboter, Achsbezeichnungen. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Vogel, C.; Poggendorf, F.; Walter, c. & Elkmann, N. (2011). Towards safe physical human-robot-collaboration: a projection-based safety system. In: IEEE/RSJ International conference on intelligent robots and systems. St. Francisco, USA.
- Volkswagen AG (2016). Auszug aus dem System Arbeitsplan der Volkswagen AG. Seitens Industrial Engineering Methoden zur Verfügung gestellt.
- Volmer, J. (1992). Industrieroboter. Funktion und Gestaltung. Berlin: Technik.
- Volpert, W. (1987). Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. In: Kleinbeck, U. & Rutenfranz, J. (Hrsg.). Arbeitspsychologie. Enzyklopädie der Psychologie. Göttingen: Hogrefe, S. 1–42.
- Weber, W. G. (1997). Analyse von Gruppenarbeit. Kollektive Handlungsregulation in sozio-technischen Systemen. Bern: Huber.
- Weber, W. G. (1999). Gruppenarbeit in der Produktion. In: Zölch, M.; Weber, W. G. & Leder, L. (Hrsg.), Praxis und Gestaltung kooperativer Arbeit. Zürich: vdf, Hochschulverlag.
- Wegge, J. (2004). Führung von Arbeitsgruppen. Göttingen: Hogrefe-Verlag.
- Weidner, R.; Kong, N. & Wulfsberg, J. P. (2013). Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. Production Engineering, 7 (6), S. 675-684.

- Weidner, R.; Redlich, T. & Wulfsberg, J. P. (2015). Technik, die die Menschen wollen - Unterstützungssysteme für Beruf und Alltag – Definition, Konzept und Einordnung. In: Weidner, R.; Redlich, T. & Wulfsberg, J. P. & Jens, P. (Hrsg.), Technische Unterstützungssysteme, Berlin: Springer, S. 11-18.
- Wischmann, S. (2015). Arbeitssystemgestaltung im Spannungsfeld zwischen Organisation und Mensch-Technik-Interaktion- das Beispiel Robotik. In: Botthof, A. & Hartmann, E. A. (Hrsg.), Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin: Springer, 149-160.
- Wittig, P.; Nöllenheidt, Ch. & Brenscheidt, S. (2012). Grundausswertung der BIBB / BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012. Dortmund: BAuA.
- Witzel, A. (1982). Verfahren der qualitativen Sozialforschung. Überblick und Alternativen. Frankfurt: Campus Verlag GmbH.
- Witzel, A. (1996). Auswertung problemzentrierter Interviews. Grundlagen und Erfahrungen. In: Strobl, R. & Böttger, A. (Hrsg.), Wahre Geschichten? Zur Theorie und Praxis qualitativer Interviews. Baden Baden: Nomos, S.49-76.
- Witzel, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 1(1), Art. 22.
- Wolke, T. (2008). Risikomanagement. Oldenburg: Oldenburg Wissenschaftsverlag.
- Zangemeister, C. (2014). Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen (5. Aufl.), Winnemark: Zangemeister & Partner.
- Zaltman, G. & Higie, R. A. (1993). Seeing the Voice of the Customer: The Zaltman Metaphor Elicitation Technique, Working Paper, Report 93-114, Marketing Science Institute.
- Zimmermann, E. (1972). Das Experiment in den Sozialwissenschaften. Wiesbaden: Vieweg & Teubner Verlag.

# Anhang A EAWS-Bewertungsbogen

Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3												
Werk	Geschlecht Werker/in <input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w		Körpergröße									
Linie	MTM-Analyse			Analyst								
Arbeitsplatz/-aufgabe	Takt-/Zykluszeit [sec]			Datum								
<b>Gesamtergebnis der Analyse:</b>												
<input type="checkbox"/> Grün <input type="checkbox"/> Gelb <input type="checkbox"/> Rot	<b>Gesamtkörper</b>	=	<b>Haltung</b>	+	<b>Kräfte</b>	+	<b>Lasten</b>	+	<b>Extra</b>	<b>Obere Extremit.</b>		
		=		+		+		+				
<b>EAWS Bewertung</b>	0-25 Punkte	Grün	Niedriges Risiko: empfehlenswert; Maßnahmen nicht erforderlich									
	>25-50 Punkte	Gelb	Mögliches Risiko: nicht empfehlenswert; Maßnahmen zur erneuten Gestaltung / Risikobeherrschung ergreifen									
	>50 Punkte	Rot	Hohes Risiko: vermeiden; Maßnahmen zur Risikobeherrschung erforderlich									
Extrapunkte "Gesamtkörper" (pro Minute / Schicht)							Extrapunkte					
0a	Beeinträchtigung durch Arbeit an sich bewegenden Objekten	0	3	8	15	Belastungshöhe						
		keine	mittel	stark	sehr stark							
0b	Zugänglichkeit (z. B. Ein-/Aussteigen in Motorraum)	0	2	5	10	Status						
		gut	erschwert	schlecht	sehr schlecht							
0c	Rückschlagkräfte, Impulse, Schwingungen	0	1	2	5	Belastungshöhe x Häufigkeit						
		gering	sichtbar	stark	sehr stark							
		0	1	2,5	4						6	8
		[n]	1 - 2	4 - 5	8 - 10	18 - 20	> 20					
0d	Gelenkstellung (insb. Handgelenk)	0	1	3	5	Belastungshöhe x Dauer oder Häufigkeit						
		neutral	~ 1/3 max	~ 2/3 max	maximal							
		0	2	2,5	4						6	8
		[sec]	3	10	20						40	60
		[n]	1	8	11	16	20					
		[%]	5	17	33	67	100					
0e	Andere körperliche Belastungen (bitte beschreiben)	0	5	10	15	Belastungshöhe						
		keine	mittel	stark	sehr stark							
<b>Extra = Σ Zeilen 0a – 0e</b>		Achtung: Max. Punktzahl = 40 Pkt. (Zeilen 0c, 0d), 15 Pkt (Zeilen 0a, 0e) bzw. 10 Pkt. (Zeile 0b)			Achtung: Werte korrigieren, wenn Takt-/Zykluszeit ≠ 60s			=				
Bitte EAWS Einstufungsanleitung beachten												
<b>Daten für die Bewertung der repetitiven Tätigkeiten</b>							Bemerkungen / Verbesserungsvorschläge					
Beschreibung		Formel	Ergebnis									
Tatsächliche Schichtdauer [min]												
Mittagspause [min]		-										
Andere offizielle Pausen [min]		-										
Nichtrepetitive Tätigkeiten [min] (z. B. Reinigung, Materialbeschaffung, etc.)		-										
Nettodauer der repetit. Tätigkeit/en (a) [min]		=										
Anzahl an Einheiten (od. Takten/Zyklen) (b)												
Netto-Takt-/Zykluszeit [sec]		(a/b x 60) =										
Beobachtete Takt-/Zykluszeit [sec]												
EAWS form v1.3.3							© IAD and AMI 2012		1/4			

Abb. 21: EAWS-Bewertungsbogen, Seite 1 (IAD & AMI 2012)

Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3																			
Körperstellung / Rumpf- und Armhaltungen (pro Schicht)										Körperhaltung									
(inkl. Lasten <3 kg und Aktionskräfte von 30-40 N)  Statische Körperhaltungen >4 sec  Hochfrequente Bewegungen: 2 Rumpfbeugungen oder 10 mal Arme heben >60° pro Minute				Bewertung statischer Körperhaltungen und/oder hochfrequenter Bewegungen des Rumpfes/der Arme							Zeilensumme	Asymmetrie							
				Dauer [sec/min] = $\frac{\text{Dauer Körperhaltung(en)} \times 60}{\text{Taktzeit}}$								Rumpfdrehung 1)	Rumpfneigung 1)	Reichweite (RW) 2)					
			[%]	5	7,5	10	15	20	27	33	50	67	83	Höhe	Dauer	Höhe	Dauer	Höhe	Dauer
			[sec/min]	3	4,5	6	9	12	16	20	30	40	50	0-5	0-3	0-5	0-3	0-5	0-2
			[min/8h]	24	36	48	72	96	130	160	240	320	400	Höhe x Dauer	Höhe x Dauer	Höhe x Dauer			
Stehen (und Gehen)																			
1		Stehen & Gehen im Wechsel, Stehen mit Abstützung		0	0	0	0	0,5	1	1	1	1,5	2						
2		Stehen, keine Abstützung (für andere Einschränkungen s. Extrapunkte)		0,7	1	1,5	2	3	4	6	8	11	13						
3		Nach vorn gebeugt (20-60°) Mit geeigneter Abstützung		2	3	5	7	9,5	12	18	23	32	40						
				1,3	2	3,5	5	6,5	8	12	15	20	25						
4		Stark gebeugt >60° Mit geeigneter Abstützung		3,3	5	8,5	12	17	21	30	38	51	63						
				2	3	5	7	9,5	12	18	23	31	38						
5		Aufrecht, Ellenbogen auf / über Schulterhöhe		3,3	5	8,5	12	17	21	30	38	51	63						
6		Aufrecht, Hände über Kopfhöhe		5,3	8	14	19	26	33	47	60	80	100						
Sitzzen																			
7		Aufrecht mit Rückenstütze, ggf. leicht nach vorne/hinten geneigt		0	0	0	0	0	0,5	1	1,5	2							
8		Aufrecht ohne Rückenstütze (für Einschränkungen s. Extrapunkte)		0	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5,5	7						
9		Nach vorn gebeugt		0,7	1	1,5	2	3	4	6	8	11	13						
10		Ellenbogen auf / über Schulterhöhe		2,7	4	7	10	13	16	23	30	40	50						
11		Hände über Kopfhöhe		4	6	10	14	20	25	35	45	60	75						
Knien oder Hocken																			
12		Aufrecht		3,3	5	7	9	12	15	21	27	36	45						
13		Nach vorn gebeugt		4	6	10	14	20	25	35	45	60	75						
14		Ellenbogen auf / über Schulterhöhe		6	9	16	23	33	43	62	80	108	135						
Liegen & Klettern																			
15		(Liegen auf Rücken, Brust oder Seite) Arme über Kopf		6	9	15	21	29	37	53	68	91	113						
16		Klettern		6,7	10	22	33	50	66										
1) Rumpf Höhe				0	1	3	5	2) Reichweite (RW) Höhe				0	1	3	5	Σ			
				leicht <10°	mittel 15°	stark 25°	extrem >30°					körpermeh	60%	80%	Arm gestreckt	Σ (max.=15)			
				0	1,5	2,5	3					0	1	1,5	2	Σ (max.=10)			
				nie	4 sec	10 sec	13 sec					nie	4 sec	10 sec	13 sec	Σ (max. = 40)			
				0%	6%	15%	20%					0%	6%	15%	20%	(a) (b)			
Achtung: Max. Einstufungsdauer = Taktzeit bzw. Dauer der Tätigkeit oder 100%!													Achtung: Werte korrigieren, wenn Takt-/Zykluszeit ≠ 60s						
Haltung = Σ Zeilen 1 - 16				(a)				+	(b)				=						

Abb. 22: EAWS-Bewertungsbogen, Seite 2 (IAD & AMI 2012)



Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3																						
Aktionskräfte (pro Minute / Schicht)								Kräfte														
17		Fingerkräfte (z. B. Clipse, Stecker)	0	7	15	25	50	Kraftniveau x Dauer oder Häufigkeit	Σ													
			$\sim 1/6 F_{max}$	$\sim 1/3 F_{max}$	$\sim 1/2 F_{max}$	$\sim 2/3 F_{max}$	$F_{max}$															
			0	1	1	1,5	2			3,5	7											
			[sec]	3	6	9	12			20	30											
			[%]	5	10	15	20			33	50											
18		Arm-, Ganzkörperkräfte	0	1	1	1,5	2	4	8,5	Kraftniveau x Dauer oder Häufigkeit	Σ											
			$\sim 1/6 F_{max}$	$\sim 1/3 F_{max}$	$\sim 1/2 F_{max}$	$\sim 2/3 F_{max}$	$F_{max}$															
			0	1	1	1,5	2	4	8,5													
			[sec]	3	6	9	12	20	30													
			[%]	5	10	15	20	33	50													
			0	1,5	2	3	4,5	6,5	10													
			[n]	4	10	15	20															
			0	6	15	25	50															
			[n]	1-2	3	6	8	10	12													
Fmax Arm-, Ganzkörperkräfte (geschlechtsneutral) P15 für Planungs- u. P40 für Ist-Analysen			ST aufrecht	P15	P40	ST gebeugt	P15	P40	ST über Kopf	P15	P40	Fingerkräfte (geschlechtsneutral)										
<p>median plane</p> <p>Daten aus: "Montagespezifischer Kraftatlas" (Wakula, Berg, Schaub, Glitsch, Elegast 2009), so angepasst, dass geschlechtsneutral</p> <p>Die Punktwerte können sich nach Abschluss des Kraftatlasprojektes ändern</p>				A	245	315		A	210	285		A	230	280	A1 (Umfassungsgriff, Zangengriff: OW 70%)	F <sub>max</sub>						
			B	260	325	B	200	240	B	265	320	P15	P40	F <sub>max</sub>								
			C	170	210	C	206	280	C	160	200	150	205									
			A	245	315	A	285	300	A	255	310											
			B	130	155	B	145	200	B	105	140											
			C	110	155	C	90	135	C	100	140											
			KN aufrecht	P15	P40	KN gebeugt	P15	P40	KN über Kopf	P15	P40											
			A	210	270	A	180	245	A	225	275											
			B	225	280	B	190	225	B	265	320											
			C	215	290	C	220	320	C	210	270											
			A	240	325	A	220	290	A	220	275											
			B	145	195	B	140	190	B	130	180											
C	115	150	C	105	135	C	130	190														
SI aufrecht	P15	P40	SI gebeugt	P15	P40	SI über Kopf	P15	P40														
A	205	285	A	190	250	A	215	255														
B	245	285	B	195	245	B	260	295														
C	215	260	C	245	295	C	195	240														
A	205	250	A	215	275	A	210	240														
B	120	155	B	130	175	B	100	130														
C	110	155	C	100	135	C	100	135														
Kräfte = Σ Zeilen 17 – 18			Achtung: Max. Punkte: 350 Zeile 17 500 Zeile 18			Achtung: Werte korrigieren, wenn Takt-/Zykluszeit ≠ 60s			=													
Manuelles Handhaben von Lasten (pro Schicht)								Lasten														
Lastgewichte [kg] für Umsetzen (Heben / Absetzen), Tragen und Halten sowie Ziehen und Schieben																						
Umsetzen, Tragen & Halten		Männer	3	10	15	20	25	30	35	40	>40											
		Frauen	2	5	7	10	12	15	20	25	>25											
Lastpunkte			1	1,5	2	3	4	5,5	7	8,5	25											
+	Ziehen und Schieben	Männer	Karren, Seil-Balancer																			
		Frauen	Karren, Seil-Balancer																			
		Männer	Transportwagen ohne Bockrollen																			
		Frauen	Transportwagen ohne Bockrollen																			
		Männer	Transportwagen mit Bockrollen																			
		Frauen	Transportwagen mit Bockrollen																			
Lastpunkte			Transportmittel																			
			0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	8											
Körperhaltung, Position der Last (charakteristische Körperhaltung wählen)																						
+	Oberkörper aufrecht und nicht verdreht, Last am Körper																					
		geringes Rumpfeigen oder -drehen; Last am Körper oder körpermah			tiefes Beugen oder weites Vorneigen; geringe Vorneigung mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers; Last körperfern o. über Schulterhöhe			weites Vorneigen und Verdrehen; Last körperfern; eingeschränkte Haltungsvermögen beim Stehen, Hocken oder Knien														
Haltungspunkte		1			2			4			8											
Ausführungsbedingungen (nur bei Ziehen und Schieben von Wagen)																						
(+)	sehr geringer Rollwiderstand	Wagen ziehen/schieben auf glattem Boden			auf rauem Boden; über kleine Fugen/Kanten			auf Riffelblech, unebenem Boden oder in/aus LKW			Wagen müssen b. Anfahren losgeriss. werden, stark beschädigter Fahrweg											
	Ausführungspunkte	0-2			3			5			6											
Häufigkeit der Lastenhandhabung [# / Schicht], Haltedauer [min] oder Wegstrecke [Meter / Schicht]																						
x	Häufigkeit Umsetzvorgänge / Ziehen & Schieben kurz		5		25		120		350		750		1000		1500		2000		2500		3000	
	Haltedauer [min]		2,5		10		37		90		180		>240									
	Strecke (Tragen, Ziehen & Schieben) [m]		300		650		2500		6500		12000		16000									
Häufigkeits-, Dauer- bzw. Wegpunkte		1		2		4		6		8		10		11		13		14		15		
Manuelles Handhaben von Lasten (Ergebnis)																						
19	(Last + Haltung + (Ausführung)) x (#, Dauer o. Distanz)	Umsetzen 1)	(	+	)	Halten 1)	(	+	)	Tragen 1)	(	+	)	Ziehen & Schieben 1)	(	+	)					
		x	=	x	=	x	=	x	=	x	=											
Lasten = Σ Zeile 19			1) Summe der Häufigkeits-, Zeit- und Wegpunkte für alle Tätigkeiten von Umsetzen, Halten, Tragen, Ziehen und Schieben maximal = 15																			

Abb. 23: EAWS-Bewertungsbogen, Seite 3 (IAD & AMI 2012)


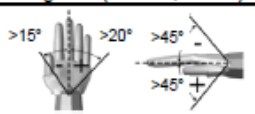

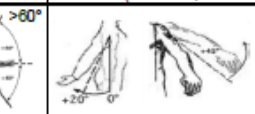
Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3																										
Belastung der oberen Extremitäten bei repetitiven Tätigkeiten																		Obere Extremitäten								
Kraft, Häufigkeit & Greifbedingungen																		Anzahl der realen Aktionen pro Min. bzw. Anteil stat. Aktionen (zu betrachten ist die am meisten belastete Extremität)								
																		Kraft & Dauer Greifbedingungen Relativer Zeitanteil (Kraft & Dauer) + (Griff x Zeitanteil) Sehr lang dauernde stat. Aktionen: fast 75% Lang dauernde statische Aktionen: fast 50% Erheblicher Umfang stat. Aktionen: ~35% Mittlerer Umfang statischer Aktionen: ~15% Geringer Umfang statischer Aktionen: ~10% Sehr geringer Umfang stat. Aktionen <5% Gute Greifbedingungen Mittlere Greifbedingungen Schlechte Greifbedingungen Armbewegungen selten Langsame Armbewegungen; regelmäßige kurze Unterbrechungen Keine sonderlich schnellen Armbewegungen; kurze Unterbrechungen Relativ schnelle Armbewegungen; kurze oder gelegentl. unregelm. Unterbrechungen Schnelle Armbewegungen; gelegentliche und unregelmäßige kurze Pausen Sehr schnelle Armbew.; Mangel an Unter- brechungen erschwert Schritt zu halten Sehr hohe Frequenzen; absolut keine Unterbrechungen Noch höhere Frequenzen (Kraft & Frequenz) + Griff Relativer Zeitanteil ((Kraft & Frequenz) + Griff) x Anteil								
Kraft [N]	Berechnung stat.				Statische reale Aktionen					Greifbeding.				Dynamische reale Aktionen							Berechn. dyn.					
	FFS	GS	%	FFGp	≥45	30	20	10	5	3	0	2	4	20	10	15	20	25	30	35	≥40	FFG	%	FFGp		
0 – 5					1	1	0	0	0	0	abc			0	0	0	1	2	3	4	7					
> 5 – 20					4	2	1	1	0	0	ab	bc		0	0	1	2	3	4	6	9					
> 20 – 35					7	5	3	2	1	1	ab	b	c	0	1	2	3	4	6	8	12					
> 35 – 90					11	8	5	3	2	1	a	b	b	1	2	3	5	7	9	12	18					
> 90 – 135					16	11	7	4	3	2	a	ab	b	2	3	5	7	9	12	15	24					
> 135 – 225					21	14	10	6	4	3	a	a	b	4	5	6	8	11	14	20	32					
> 225 – 300					28	18	12	8	5	4	a	a	b	5	6	7	9	12	16	26	40					
20a	FFGS = Σ FFGp				FFG = FFGS + FFGD					FFGD = Σ FFGp																
Hand- / Unterarm- / Schultergelenkstellungen (Zeitanteil der stärksten Belastung von Hand-, Unterarm- oder Schulter)																										
20b	Handgelenk (Flex/Ext, UI/Rad)			Ellbogen (Sup/Pron, Flex/Ext)					Schulter (Flex/Ext, Abduktion)																	
									 Bei Aktionen auf oder über Schulterhöhe ohne Abstützung oder mit ungünstiger Körperhaltung Punkte verdreifachen!																	
Hand-/Armhaltungspunkte			10%	25%	33%	50%	65%	85%																		
Zusatzfaktoren			0	0,5	1	2	3	4																		
20c	Ungeeignete Handschuhe (welche die Handhabung beeinträchtigen) müssen für über die Hälfte der Zeit verwendet werden																								2	<input type="checkbox"/>
	Arbeitsbewegungen implizieren Rückschläge mindestens 2 Mal pro Minute (z. B. Hämmern, Schlagen auf harter Oberfläche)																								2	<input type="checkbox"/>
	Arbeitsbewegungen implizieren Rückschläge (Hand wird als Werkzeug benutzt), mindestens 10 Mal pro Stunde																								2	<input type="checkbox"/>
	Arbeit bei Kälte oder Kühlung/Kühlströmen (unter 0° C), über die Hälfte der Zeit oder mehr																								2	<input type="checkbox"/>
	Arbeit mit vibrierenden Werkzeugen, über ein Drittel der Zeit oder mehr																								2	<input type="checkbox"/>
	Verwendung von stark vibrierenden Werkzeugen																								4	<input type="checkbox"/>
	Die verwendeten Werkzeuge verursachen Kompressionen der Haut (Rötungen, Schwielen, Blasen etc.)																								2	<input type="checkbox"/>
Präzisionsaufgaben (Aufgaben mit einer räumlichen Genauigkeit von < 2-3 mm), über die Hälfte der Zeit oder mehr																								2	<input type="checkbox"/>	
Zwei oder mehr Zusatzfaktoren treten gleichzeitig und über die ganze Zeit hinweg auf																								3	<input type="checkbox"/>	
Zusatzpunkte (den höchsten auftretenden Wert wählen)																								=		
Dauer der repetitiven Bewegungen																										
20d	Dauer [h/Schicht]		< 1 : 1,5 : 3 : 5 : 7 : > 8 1 : 1,5 : 3 : 5 : 7 : 10																			+				
	Zeitanteilstpunkte																									
	Arbeitsorganisation		Arbeitsunterbrechungen jederzeit möglich : Unterbrechungen möglich innerhalb vorgegebener Rahmenbedingungen : Unterbrechungen führen zu Prozessunterbrechung (i.d.R. Zykluszeit von mehr als 10 min) : (i.d.R. Zykluszeit zwischen 1 und 10 min) : (i.d.R. kürzere Zykluszeit von 1 min)																			+				
	Organisationspunkte		0 : 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 2																							
	Pausen (≥ 8 min) [# / Schicht]		0 : 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : ≥7																							
Pausenpunkte		Takt ≤ 30 sec : 3 : 2 : 1 : 0 : -1 : -2 : -3 : -4 ; Takt > 30 sec : 0 : -0,5 : -1 : -1,5 : -2																			+					
Dauerpunkte																					=					
Gesamtbewertung der Belastung der oberen Extremitäten bei repetitiven Tätigkeiten																										
20	(a) Fingerpunkte	+	(b) Hand- / Armhaltungspunkte	+	(c) Zusatzpunkte	)	X	(d) Dauerpunkte	=	Obere Extremitäten																

Abb. 24: EAWS-Bewertungsbogen, Seite 4 (IAD & AMI 2012)

## Anhang B Anschreiben an die Experten

Sehr geehrte/r Frau/Herr xxx,

die aktuellen Herausforderungen des demographischen Wandels, die u. a. in der Zunahme leistungsgewandelter Mitarbeiter resultieren, erfordern eine ergonomische und altersgerechte Arbeitsplatzgestaltung bei Volkswagen. Eine Möglichkeit der ergonomischen Gestaltung bietet der Einsatz einer „Mensch-Roboter-Kooperation“ (MRK). In der MRK arbeitet der Mensch in einem gemeinsamen Arbeitsraum direkt mit dem Roboter zusammen. Zum Einsatz der MRK an einem Arbeitsplatz bei Volkswagen müssen jedoch zuvor Entscheidungskriterien und Einsatzprämissen definiert werden.

Vor diesem Hintergrund erstellt Frau Dachwitz in der Konzern Produktionsergonomie eine Dissertation zum Thema „Zukunftsorientierte Arbeitsplatzgestaltung unter Anwendung der Mensch-Roboter-Kooperation“. Im Rahmen der Arbeit ist die Durchführung von halbstrukturierten Expertenbefragungen vorgesehen.

Mit Hilfe dieser Interviews sollen Ergonomie-Kriterien bestimmt werden, die der Auswahl eines Arbeitsplatzes zum Einsatz einer Mensch-Roboter-Kooperation dienen. Außerdem sollen Chancen und Risiken ermittelt werden, die im regulären Betrieb einer MRK auftreten können, um diese im Auswahlprozess berücksichtigen zu können.

Das Interview ist in vier Themenkomplexe strukturiert:

- Anwendbarkeit der MRK in der Automobilindustrie,
- Arbeitsplatzauswahl für eine MRK zur Belastungsreduzierung,
- MRK im Vergleich zu herkömmlichen Gestaltungsmaßnahmen und
- Veränderung der Tätigkeit durch MRK.

Zur Ermittlung der Ergonomie-Kriterien ist Ihr spezielles Wissen als Experte in Ihrem Bereich gefragt. Aus diesem Grund möchte Frau Dachwitz mit Ihnen diese Befragung durchführen. Der verwendete Leitfaden zum Interview wurde dazu im Vorfeld mit der Kommission Datenschutz und dem Betriebsrat abgestimmt. Weiterhin wird die Dauer des Interviews ca. 40 Minuten in Anspruch nehmen. Die Teilnahme zum Interview ist selbstverständlich freiwillig und die Daten werden anonym behandelt.

Bei Rückfragen stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung.

Für Ihre Unterstützung bereits an dieser Stelle herzlichen Dank!

# Anhang C Leitfaden der teilstrukturierten Expertenbefragungen

<b>1. Anwendbarkeit der MRK in der Automobilindustrie</b>
<input type="checkbox"/> Welche Erfahrungen haben Sie bisher zum Thema „Ergonomie in der Produktion“ gemacht? <input type="checkbox"/> Beschreiben Sie bitte Ihre bisherigen Berührungspunkte mit dem Thema MRK. <input type="checkbox"/> Welche Fertigungsbereiche zeigen aktuell einen Bedarf für den Einsatz einer MRK? <input type="checkbox"/> Welche unterschiedlichen Gründe oder Motive gibt es Ihrer Meinung nach, um eine MRK einzuführen?
<b>2. Arbeitsplatzauswahl für eine MRK zur Belastungsreduzierung</b>
<input type="checkbox"/> Welche Belastungsarten können für einen Produktionsmitarbeiter in der Automobilmontage auftreten? <input type="checkbox"/> Welche davon weisen ein besonders hohes gesundheitliches Gefährdungspotenzial auf? <input type="checkbox"/> Welche ergonomisch kritischen Tätigkeiten könnten durch eine MRK eliminiert werden? <input type="checkbox"/> Wie schätzen Sie den technischen Stand der Roboterentwicklung ein, um diese Tätigkeiten durch den Roboter ausführen zu lassen? <input type="checkbox"/> Welche Tätigkeiten lassen sich heutzutage einfach und welche schwierig automatisieren? <input type="checkbox"/> Fällt Ihnen aus Ihrer beruflichen Praxis ein Arbeitsplatz oder eine Tätigkeit ein, wo eine MRK zur Belastungsreduzierung eingesetzt wurde?
<b>3. MRK vs. traditionelle ergonomische Gestaltungsmaßnahmen</b>
<input type="checkbox"/> Welche weiteren Gestaltungsmaßnahmen sind Ihnen neben der MRK bekannt, um Produktionsarbeitsplätze ergonomisch zu verbessern? <input type="checkbox"/> Nennen Sie Vorteile einer MRK gegenüber den genannten Gestaltungsmaßnahmen. <input type="checkbox"/> Welche Nachteile der MRK sehen Sie gegenüber den genannten Alternativen? <input type="checkbox"/> Wie schätzen Sie die Akzeptanz der Mitarbeiter für die traditionellen Gestaltungsmaßnahmen ein? Wie für die MRK? <input type="checkbox"/> Wird die MRK zukünftig die traditionellen Gestaltungsmaßnahmen ablösen?
<b>4. Veränderungen der Tätigkeiten durch MRK und daraus resultierende Belastungen</b>
<input type="checkbox"/> Wie verändern sich die Tätigkeiten des Produktionsmitarbeiters in einer MRK? <input type="checkbox"/> Ordnen Sie den Tätigkeiten des Produktionsmitarbeiters zukünftig eher kognitive oder körperliche Tätigkeiten zu? <input type="checkbox"/> Ist eine Belastungsverlagerung von den ergonomischen Belastungen hin zu anderen denkbar? <input type="checkbox"/> Welche neuen Belastungen könnten durch den Einsatz einer MRK entstehen? <input type="checkbox"/> Wie könnte man dem entgegenwirken?
<b>Sonstiges / Abschluss</b>

- Würden Sie den Einsatz einer MRK in der Automobilproduktion zur Belastungsreduzierung empfehlen?
- Wie schätzen Sie den flächendeckenden Einsatz der MRK in der Automobilmontage ein?
- Gibt es sonst noch etwas, was Sie zu diesem Thema ergänzen oder fragen möchten?

## Anhang D Anschreiben an die Mitarbeiter

Sehr geehrte/r Frau/Herr xxx,

die aktuellen Herausforderungen des demographischen Wandels, die u. a. in der Zunahme leistungsgewandelter Mitarbeiter resultieren, erfordern eine ergonomische und altersgerechte Arbeitsplatzgestaltung bei Volkswagen. Eine Möglichkeit der ergonomischen Gestaltung bietet der Einsatz einer „Mensch-Roboter-Kooperation“ (MRK). In der MRK arbeitet der Mensch in einem gemeinsamen Arbeitsraum direkt mit dem Roboter zusammen. Zum Einsatz der MRK an einem Arbeitsplatz bei Volkswagen müssen jedoch zuvor Entscheidungskriterien und Einführungsprämissen definiert werden.

Vor diesem Hintergrund erstellt Frau Dachwitz in der Konzern Produktionsergonomie eine Dissertation zum Thema „Zukunftsorientierte Arbeitsplatzgestaltung unter Anwendung der Mensch-Roboter-Kooperation“. Im Rahmen der Arbeit ist die Durchführung von halbstrukturierten Interviews vorgesehen.

Mit Hilfe dieser Interviews sollen zum einen der ergonomische Nutzen der MRK sowie zum anderen der Einführungsprozess bewertet werden. Das Interview ist in drei Themenkomplexe strukturiert:

- Belastung am Arbeitsplatz vor und nach MRK-Einführung,
- Bewertung der Zusammenarbeit mit dem Roboter und
- weitere Einsatzmöglichkeiten der MRK.

Zur Bewertung des ergonomischen Nutzens und des Einführungsprozesses der MRK ist Ihr spezielles Erfahrungswissen gefragt. Aus diesem Grund möchte Frau Dachwitz mit Ihnen dieses Interview durchführen. Der verwendete Leitfaden zum Interview wurde dazu im Vorfeld mit der Kommission Datenschutz und dem Betriebsrat abgestimmt. Weiterhin wird die Dauer des Interviews ca. 40 Minuten in Anspruch nehmen. Die Teilnahme zum Interview ist selbstverständlich freiwillig und die Daten werden anonym behandelt.

Bei Rückfragen stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung.

Für Ihre Unterstützung bereits an dieser Stelle herzlichen Dank!

## Anhang E Leitfaden der problemzentrierten Interviews

<b>1. Einstieg</b>
<input type="checkbox"/> An welchen Arbeitsfolgen sind Sie im Einsatz und wie sehen dabei Ihre Tätigkeiten aus? <input type="checkbox"/> Was verstehen Sie unter der Mensch-Roboter-Kooperation?
<b>2. Belastungen am Arbeitsplatz vor MRK-Einführung</b>
<input type="checkbox"/> Bitte beschreiben Sie Ihre Tätigkeitsabfolgen vor der Einführung der MRK? <input type="checkbox"/> Welche (körperlichen) Belastungen waren dabei für Sie spürbar? <input type="checkbox"/> Welche anderen Belastungsarten (neben den körperlichen) konnten Sie wahrnehmen? <input type="checkbox"/> Wie stark war die Belastung vor der MRK-Einführung? (Skala: sehr stark – stark – mittel – gering – sehr gering)
<b>3. Veränderung des Arbeitsplatzes nach MRK-Einführung</b>
<input type="checkbox"/> Wie hat sich die Aufgaben bzw. die Tätigkeit durch die MRK verändert? <input type="checkbox"/> Welche Teilaufgaben üben Sie jetzt aus und welche der Roboter? <input type="checkbox"/> Wie beliebt waren die Tätigkeiten im Team, die jetzt beim Roboter verbleiben? <input type="checkbox"/> Wo genau sehen Sie Verbesserungen / Verschlechterungen Ihres Arbeitsplatzes durch MRK? <input type="checkbox"/> Welche Entlastungen / neuen Belastungen stellen Sie fest, die vor der MRK nicht vorhanden waren? (z. B. beim Lastenhandhaben, ungünstige Körperhaltungen) <input type="checkbox"/> Wie stark war die Belastung nach der MRK-Einführung? (Skala: sehr stark – stark – mittel – gering – sehr gering)
<b>4. Bewertung der Zusammenarbeit mit dem Roboter</b>
<input type="checkbox"/> Beschreiben Sie bitte die Zusammenarbeit mit dem Roboter. <input type="checkbox"/> Welche positiven / negativen Auswirkungen bezogen auf Ihre Arbeit verbinden Sie mit der MRK?
<b>5. Weiterer Einsatz der MRK</b>
<input type="checkbox"/> Für welche weiteren Arbeitsaufgaben würden Sie die MRK in Ihrem Team einsetzen?
<b>6. Zusammenfassung / Abschluss</b>
<input type="checkbox"/> Welche Chancen und Risiken sehen Sie, wenn MRK zur Verbesserung der Ergonomie eingesetzt wird? <input type="checkbox"/> Welche Ergänzungen haben Sie noch, die im Rahmen des Interviews noch nicht bzw. unzureichend angesprochen wurden?



# Anhang F EAWS-Bewertung der Arbeitsplätze für die Nutzwertanalyse

a) Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken

Standard-Ergo Report Arbeitsplätze																						
Gesamt		Rotation		Lastenhandhabung		Arbeitsplatz		Station		Team		Meisterschaft		Ausbringung		Taktzeit		MA Anzahl		Variante		
vorn - Gasdruckfeder Frontklappe, Bowdenzug FKL, Lackhaken entfernen																						
50,50		0,00 Pkt.		0,00 Pkt.		Körperhaltung		35,00 Pkt.		Kraftniveau		15,40 Pkt.		Ganzkörperkräfte		HandArmFinger		Kraftniveau		≤ Leicht		
		0,00 Pkt.		0,00 Pkt.		51,19 % t		Stehen und Gehen		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		0,00 % t		
		0,00 Pkt.		0,00 Pkt.		0,00 % t		Stehen bei Präzisionsarbeiten		2,96 n		0,00 % t		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		0,00 % t		
		0,00 Pkt.		0,00 Pkt.		0,00 % t		Sitzen		0,00 n		0,00 % t		1,97 n		0,00 % t		0,00 n		≤ Mittel		
		0,00 Pkt.		0,00 Pkt.		0,00 % t		Liegen		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		≤ Schwer		
		0,00 Pkt.		0,00 Pkt.		0,00 % t		Klettern		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		≤ Kraftbetont		
						28,71 % t		Gebückt		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		Kraftaufwand		
						0,00 % t		Verdreht / Geneigt		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		0,00 % t		0,00 n		Kraftaufwand		
						12,90 % t		in / über Schulter		7,20 % t		über Kopf										
						39,48 % t		GR 60% Reichweite														
						0,00 % t		GR 80% Reichweite														
						0,00 % t		GR Arm gestreckt														
						0,00 % t		Knieen / Hocken														
						0,00 % t		Sektion 4														
		Extrapunkte		0,00 Pkt.		Arbeiten an bewegler		Kraft-/Fingerpunkte		20a		0,00 Pkt.		0,00 Pkt.		0,0 sec		0,0 + 0,0 - 0,0 = 0,0				
		0,00 Pkt.				Karosse		Eingeschränkte														
		0,00 Pkt.				Zugänglichkeit		Schwingungen, Impulse,														
		0,00 Pkt.				Rückschlagkräfte		Gelenkstellungen														
		0,00 Pkt.				Andere körperliche		Belastungen														

Abb. 25: Standard Ergo-Report für Arbeitsplatz „Frontklappe öffnen und Gasdruckfeder aufdrücken“ (Volkswagen 2016)



b) Leitungsstrang im Motorraum verlegen

Standard-Ergo Report Arbeitsplätze										
vorn - 1. Takt Leitungsstrang im Motorraum links/rechts verlegen										
	Rotation	Lastenhandhabung	Arbeitsplatz	Station	Team	Meisterschaft	Ausbringung	Taktzeit	MA Anzahl	Variante
<b>Gesamt</b>	<b>49,00</b>	<b>13,20 Pkt.</b>	<b>Körperhaltung</b>	<b>21,20 Pkt.</b>			<b>Kräfte</b>	<b>13,30 Pkt.</b>		
	13,21 Pkt. Umsetzen	0,00 Pkt. Halten	0,00 % t	67,27 % t	Stehen und Gehen		Ganzkörperkräfte	0,00 n	0,00 % t	Kraftlevel
	0,00 Pkt. Tragen	0,00 Pkt. Ziehen, Schieben (mit	0,00 % t	0,00 % t	Stehen bei Präzisionsarbeiten		HandArmFinger	0,00 n	0,00 % t	≤ Leicht
	0,00 Pkt. Ziehen, Schieben (mit	0,00 Pkt. Ziehen, Schieben (mit	0,00 % t	0,00 % t	Sitzen			0,00 n	0,00 % t	≤ Mittel
			0,00 % t	0,00 % t	Liegen			0,00 n	0,00 % t	≤ Schwer
			0,00 % t	0,00 % t	Klettern			0,00 n	0,00 % t	≤ Kraftbetont
			32,73 % t	0,00 % t	Gebeugt			0,00 n	0,00 % t	Kraftaufwand
			0,00 % t	0,00 % t	Gebückt			0,00 n	0,00 % t	Kraftaufwand
			0,00 % t	0,00 % t	Verdreht / Geneigt					
			0,00 % t	0,00 % t	in / über Schulter					
			0,00 % t	0,00 % t	über Kopf					
			51,07 % t	0,00 % t	GR 60% Reichweite					
			0,00 % t	0,00 % t	GR 80% Reichweite					
			0,00 % t	0,00 % t	GR Arm gestreckt					
			0,00 % t	0,00 % t	Knie / Hocken					
			<b>Extrapunkte</b> 1,30 Pkt.	<b>Sektion 4</b>	<b>Punkte der Kategorien</b>					<b>Dauerinfos</b>
	0,00 Pkt. Arbeiten an bewegter Karosse	Eingeschränkte Zugänglichkeit			Kraft-/Fingerpunkte 20a		verdr. Gelenkpos.		<b>Zusatz</b>	
	1,32 Pkt. Schwingungen, Impulse, Rückschlagkräfte	Gelenkstellungen			0,00 Pkt.		0,0 sec			0,0 + 0,0 - 0,0 = 0,0
	0,00 Pkt. Andere körperliche Belastungen				Haltungspunkte 20b					
					0,00 Pkt.					
					Zusatzpunkte 20c					
					Dauerpunkte 20d					
					0,00 Pkt.					

Abb. 26: Standard Ergo-Report für Arbeitsplatz „Leitungsstrang im Motorraum verlegen“ (Volkswagen 2016)



d) Frontscheibe in Klebeanlage legen

Standard-Ergo Report Arbeitsplätze									
Frontscheibe in Klebeanlage einlegen									
Arbeitsplatz		Station	Team	Meisterschaft	Ausbringung	Taktzeit	MA Anzahl	Variante	
<b>Gesamt</b>	<b>Rotation</b>	<b>Lastenhandhabung</b>	<b>37,90 Pkt.</b>	<b>Körperhaltung</b>	<b>8,20 Pkt.</b>	<b>Kräfte</b>			
46,50	0,00 Pkt.	Umsetzen		58,63 % t	Stehen und Gehen	Ganzkörperkräfte	HandArmFinger	Kraftlevel	
	26,59 Pkt.	Halten		35,16 % t	Stehen bei Präzisionsarbeiten	0,00 n	0,00 % t	≤ Leicht	
	0,00 Pkt.	Tragen		0,00 % t	Sitzen	0,00 n	0,00 % t	≤ Mittel	
	11,35 Pkt.	Ziehen, Schieben (mit		0,00 % t	Liegen	0,00 n	0,00 % t	≤ Schwer	
	0,00 Pkt.	Ziehen, Schieben (mit		0,00 % t	Klettern	0,00 n	0,00 % t	≤ Kraftbetont	
				6,20 % t	Gebeugt	0,00 n	0,00 % t	Kraftaufwand	
				0,00 % t	Gebückt				
				2,07 % t	Verdreht / Geneigt				
				0,00 % t	in / über Schulter				
				0,00 % t	über Kopf				
				24,51 % t	GR 60% Reichweite				
				14,48 % t	GR 80% Reichweite				
				0,00 % t	GR-Arm gestreckt				
				0,00 % t	Knie / Hocken				
<b>Extrapunkte</b>	0,00 Pkt.			<b>Sektion 4</b>	<b>Punkte der Kategorien</b>	<b>verdr. Gelenkpos.</b>	<b>Zusatz</b>	<b>Dauerinfos</b>	
0,00 Pkt.		Arbeiten an bewegter Karosse			Kraft-/Fingerpunkte 20a	0,00 Pkt.		0,0 + 0,0 - 0,0 = 0,0	
0,00 Pkt.		Eingeschränkte Zugänglichkeit			Haltungspunkte 20b	0,00 Pkt.			
0,00 Pkt.		Schwingungen, Impulse, Rückschlagkräfte			Zusatzpunkte 20c	0,00 Pkt.			
0,00 Pkt.		Gelenkstellungen			Dauerpunkte 20d	0,00 Pkt.			
0,00 Pkt.		Andere körperliche Belastungen							

Abb. 28: Standard Ergo-Report für Arbeitsplatz „Frontscheibe in Klebeanlage einlegen“ (Volkswagen 2016)

e) Warenkorb auf das Montageband ziehen

Standard-Ergo Report Arbeitsplätze		Warenkorb aufziehen									
		Arbeitsplatz	Station	Team	Meisterschaft	Ausbringung	Taktzeit	MA Anzahl	Variante		
<b>Gesamt</b>	<b>Rotation</b>	<b>Lastenhandhabung</b>	<b>Körperhaltung</b>		<b>7,80 Pkt.</b>		<b>Kräfte</b>		<b>13,50 Pkt.</b>		
52,00		30,40 Pkt.									
	0,00 Pkt.	Umsetzen	90,20 % t	Stehen und Gehen			Ganzkörperkräfte	HandArmFinger		Kraftlevel	
	0,00 Pkt.	Halten	0,00 % t	Stehen bei Präzisionsarbeiten			0,00 n	0,00 % t	0,00 n	≤ Leicht	
	0,00 Pkt.	Tragen	0,00 % t	Sitzen			0,27 n	0,00 % t	0,99 n	≤ Mittel	
	30,43 Pkt.	Ziehen, Schieben (mit	0,00 % t	Liegen			0,00 n	0,00 % t	1,97 n	≤ Schwer	
	0,00 Pkt.	Ziehen, Schieben (mit	0,00 % t	Klettern			0,00 n	0,00 % t	0,00 n	≤ Kraftbetont	
			9,20 % t	Gebeugt			0,00 n	0,00 % t	0,00 n	Kraftaufwand	
			0,00 % t	Gebückt							
			0,00 % t	Verdreht / Geneigt							
			0,60 % t	in / über Schulter							
			0,00 % t	über Kopf							
			8,99 % t	GR 60% Reichweite							
			0,00 % t	GR 80% Reichweite							
			0,00 % t	GR Arm gestreckt							
			0,00 % t	Knieen / Hocken							
			<b>Sektion 4</b>	<b>Punkte der Kategorien</b>			<b>verdr. Gelenkpos.</b>	<b>Zusatz</b>		<b>Dauerinfos</b>	
	<b>Extrapunkte</b>	0,00 Pkt.		Kraft-/Fingerpunkte						0,0 + 0,0 - 0,0 = 0,0	
	0,00 Pkt.	Arbeiten an bewegter Karosse		20a	0,00 Pkt.		0,0 sec				
	0,00 Pkt.	Eingeschränkte Zugänglichkeit		Haltungspunkte 20b	0,00 Pkt.						
	0,00 Pkt.	Schwingungen, Impulse,		Zusatzpunkte 20c	0,00 Pkt.						
	0,00 Pkt.	Rückschlagkräfte		Dauerpunkte 20d	0,00 Pkt.						
	0,00 Pkt.	Gelenksteilungen									
	0,00 Pkt.	Andere körperliche Belastungen									

Abb. 29: Standard Ergo-Report für Arbeitsplatz für „Warenkorb aufziehen“ (Volkswagen 2016)