Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

Diplomarbeit

Analyse einer kooperativen Arbeitsteilung zwischen Mensch und Roboter im industriellen Montageprozess

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs (Dipl.-Ing. oder DI)
eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften
von

Gabriel Martin LACH, BSc.

Mat.Nr.: 01030690

unter der Leitung von
DI Dr.techn. Walter Mayrhofer, MBA
Institut für Managementwissenschaften, E 330

begutachtet von

Univ.Prof. Dr.-Ing. S. Schlund
Institut f. Managementwissenschaften
Theresianumgasse 27
1040 Wien

Assoc. Prof. Mag.rer.soc.oec. M. Filzmoser, PhD
Institut f. Managementwissenschaften
Theresianumgasse 27
1040 Wien

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Wien, Dezember 2018

Unterschrift

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit technologischen Strategien der Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen. Im Laufe der Geschichte wurde die industrielle Fertigung von verschiedenen Einflüssen geprägt. Nach einer Periode der Massenfertigung muss sie sich nun den Herausforderungen der vierten industriellen Revolution (Industrie 4.0) stellen. Industrieunternehmen versuchen sich hierbei mit innovativen Produktionsstrategien den Marktanforderungen anzupassen. Neben der Automatisierung rücken dabei vor allem neue Konzepte der Arbeitsteilung in den Fokus. Die Mensch-Maschine-Interaktion lässt durch zahlreiche Weiterentwicklungen von Industrierobotern aufhorchen. Die Diplomarbeit erörtert dazu anhand eines praktischen Beispiels eine Möglichkeit der Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen. Dazu werden zwei verschiedene Aufgabenanalysen durchgeführt sowie eine Klassifikation des spezifischen Arbeitsplatzes erstellt. Mit den technologischen Fortschritten gehen jedoch auch organisatorische Veränderungen einher. Unternehmen werden in diesem Kontext neue Wege gehen müssen. Die vorliegende Diplomarbeit gibt hierzu Einschätzungen zu möglichen Auswirkungen auf die Produktion und beschreibt Möglichkeiten, um den Herausforderungen der Zukunft gerecht zu werden.

Abstract

This diploma thesis deals with technological strategies for the division of labor between humans and machines. Throughout history, industrial production has been affected by a variety of different influences. After a period of mass production, it now has to face the challenges of the Fourth Industrial Revolution. Therefore, industrial companies attempt to adapt to the market requirement by means of new innovative production strategies. In addition to automation, new concepts for the division of labor need to be considered. The further development of industrial robots could evoke problems for the human-machine interaction in the future. This diploma thesis also describes the possibility of human-machine-cooperation using a practical example. For that purpose, two different task analyses are performed and a classification of a specific workplace is made. However, the technological progress is accompanied by organizational changes, which will force companies to adopt new strategies. Therefore, possible effects on production are assessed and possibilities to meet the challenges of the future are described.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

1.1 Motivation ... 1

1.2 Problemstellung ... 2

1.3 Aufbau der Arbeit ... 3

2 Historische Veränderung der Arbeitsteilung ... 4

3 Soziale Trends mit Einfluss auf die Industrie ... 6

4 Produktionsstrategien ... 9

4.1 Automatisierung ... 9

4.2 Vergleich zwischen Menschen und Maschinen ... 15

4.2.1 Eigenschaften des Menschen ... 16

4.2.2 Eigenschaften der Maschinen ... 18

4.3 Konzepte der Arbeitsteilung ... 21

4.3.1 Erwartungen und Voraussetzungen für die Arbeitsteilung ... 21

4.3.2 Klassifikationscluster ... 24

4.3.2.1 Interaktionsklassifikation ... 26

4.3.2.2 Roboterklassifikation ... 30

4.3.2.3 Teamklassifikation ... 33

4.3.3 Sicherheit in der Mensch-Maschine-Interaktion ... 34

5 Arbeitsanalyse ... 36

5.1 Modellierungskonzepte ... 36

5.2 Allgemeine Vorgehensweise bei der Aufgabenanalyse ... 38

5.3 Methoden der Aufgabenanalyse ... 40

5.3.1 GOMS-Modell ... 40

5.3.2 HTA-Modell ... 43

5.3.3 CTA-Modell ... 48

6 Aufgabenanalyse der Neugestaltung einer Verpackungsstation ... 52

6.1 Projektbeschreibung und Interessen des Unternehmens ... 52

6.2 Ziele aus Sicht des Unternehmens ... 52

6.3 Beschreibung des manuell geführten Arbeitsplatzes ... 53

6.3.1 HTA-Verfahren zum manuell geführten Arbeitsplatz ... 54

6.3.2 CPM-GOMS-Verfahren ... 62

6.4 Klassifikation des neugestalteten Arbeitsplatzes ... 66

6.5 Konzept des neuen Arbeitsplatzes ... 69
6.5.1 HTA-Verfahren zum automatisierten Arbeitsplatz ... 72
6.5.2 Vergleichsanalyse zwischen manuellem und automatisiertem Arbeitsplatz 76
6.5.2.1 Zeitvergleiche zwischen manuellem und automatisiertem Arbeitsplatz ... 76
6.5.2.2 Kostenabschätzung ... 79
6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse ... 81
7 Ausblick ... 84
8 Literaturverzeichnis ... 89

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geschichte der Produktion 5
Abbildung 2: Automatisierungsstrategien 13
Abbildung 3: Aufteilung der Funktionen 14
Abbildung 4: Aufgabenaufteilung 23
Abbildung 5: Aufgabenteilung 24
Abbildung 6: MRI-Taxonomie 27
Abbildung 7: Sensitives Fügen von Kegelrädern im MRK-Betrieb 28
Abbildung 8: Kooperativer Roboter 28
Abbildung 9: Ko-Existenz eines Transportroboters 29
Abbildung 10: Beispiel eines Operateurs 30
Abbildung 11: Veranschaulichung des Automatisierungsgrades hinsichtlich verschiedener Parameter 32
Abbildung 12: Sicherheitsüberwachter Halt 35
Abbildung 13: Handführung 35
Abbildung 14: Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung 35
Abbildung 15: Leistungs- und Kraftbegrenzung 35
Abbildung 16: Relevante Normen hinsichtlich MRK-Anwendungen 36
Abbildung 17: Grundsätzlicher Ablauf der Arbeitsanalyse 38
Abbildung 18: Hierarchische Gliederung 43
Abbildung 19: Hierarchische Aufgabenanalyse 47
Abbildung 20: Vorgangsweise beim CTA-Verfahren 49
Abbildung 21: Abstrahierte Darstellung des manuell geführten Arbeitsplatzes 54
Abbildung 22: Grafische HTA - manueller Arbeitsplatz 58
Abbildung 23: Optimierungspotenzial bei der Arbeitsvorbereitung 60
Abbildung 24: Optimierungspotenzial beim Hauptprozess 61
Abbildung 25: Optimierungspotenzial bei der Nachbereitung 62
Abbildung 26: CPM-GOMS-Analyse 64
Abbildung 27: Canvas-Darstellung der MRI-Taxonomie 67
Abbildung 28: Aufbau des mit einem kooperierenden Roboter ausgestatteten Arbeitsplatzes 69
Abbildung 29: Beschreibung des neu gestalteten Arbeitsplatzes 71
Abbildung 30: Grafische HTA - Mensch-Roboter-Kooperation 75
Abbildung 31: Zeitliche Gliederung des Gesamtprozesses 82
Abbildung 32: Zeitlicher Vergleich zwischen automatisiertem und manuellem Prozess 83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Automatisierungsgrad 14
Tabelle 2: Vergleich zwischen Menschen und Maschinen 15
Tabelle 3: Fragen zur Bestimmung von Unterzielen 45
Tabelle 4: Bedeutung der verwendeten Symbole 56
Tabelle 5: HTA - manueller Arbeitsplatz 57
Tabelle 6: Optimierungsmöglichkeiten 59
Tabelle 7: Zeiterfassung – manuelle Vorgangsweise 63
Tabelle 8: HTA - Mensch-Roboter-Kooperation 74
Tabelle 9: Zeiterfassung - automatisierter Arbeitsplatz 76
Tabelle 10: Zeitliche Erfassung des Prozesses der Vorsortierung 77
Tabelle 11: Zeiterfassung der manuellen Bereitstellung von KLT und Trays 78
Tabelle 12: Zeiterfassung der automatisierten Bereitstellung von KLT und Trays 78
Tabelle 13: Zeitvergleich des Gesamtprozesses 79
Tabelle 14: Kosten eines Roboters 80

Abkürzungsverzeichnis

GOMS	goals, operators, methods and selection rules
NGOMSL	natural GOMS language
HTA	hierarchical task analysis
CTA	cognitive task analysis
CMN	Card, Moran, Newell
CPM	cognitive perceptual motor
KLM	keystroke-level-model
CPP	concepts, processes and principles
CDM	critical decision method
KLT	Kleinladungsträger
IO	in Ordnung
NIO	nicht in Ordnung
CIM	computer integrated manufacturing
MRK	Mensch-Roboter-Kollaboration oder Mensch-Roboter-Kooperation
MRI	Mensch-Roboter-Interaktion
CPS	Cyber-physisches System

1 Einleitung

1.1 Motivation

Wir leben aktuell in einer Zeit des technologischen Wandels. Der Energie-, Service-, Mobilitäts- sowie der Industriesektor im Allgemeinen befinden sich in einem Transformationsprozess, der von Umgestaltungen und Neuausrichtungen gekennzeichnet ist. Die Grundlage für diese stattfindenden Veränderungen ist oftmals der Einzug der Digitalisierung in die neue Form der Arbeitswelt, gekennzeichnet durch die Vernetzung der verschiedenen Systeme entlang der Wertschöpfungskette. Viele der damit einhergehenden technischen Innovationen führen zu einer Neuausrichtung unserer Vorstellungen und Denkweisen, wie wir die Produktion der Zukunft gestalten werden.

Durch die gesellschaftliche Veränderung im Rahmen der Industrialisierung ab Mitte des 18. Jahrhunderts kam es zu einem Wandel von Gewohnheiten und Perspektiven vieler Menschen. So wünscht man sich heute individualisierte und nachhaltige Produkte, lebt vermehrt im urbanen Umfeld und bekommt durch die zunehmende Globalisierung einen erleichterten Zugang zu Wissen und Produktneuheiten aus aller Welt. Diese gesellschaftlichen Trends üben einen Einfluss auf die Produktgestaltung aus und führen letztlich zu einem Wandel im industriellen Fertigungsbereich. Dabei wird neben einer vollautomatisierten Fertigung das Zusammenspiel zwischen Menschen und Maschinen immer stärker in den Mittelpunkt der Betriebe gerückt. Die Zusammenarbeit der zwei Entitäten birgt einerseits eine Vielzahl an Möglichkeiten und Chancen, andererseits werden Transformationsprozesse von Unsicherheitsaspekten begleitet. Während einerseits die Entlastung des Menschen bei schweren körperlichen sowie psychisch herausfordernden, oftmals monotonen Tätigkeiten bei vielen Fabrikarbeitern als äußerst positiv empfunden wird, fürchten sich andere vor Rationalisierungsmaßnahmen, ausgelöst durch eine erhöhte maschinelle Effizienz. So werden bereits jetzt viele Tätigkeiten, die bisher von Menschen verrichtet wurden, von Maschinen übernommen, wodurch sich ein Verdrängungseffekt zu Lasten der menschlichen Arbeitskraft beobachten lässt. In diesem Zusammenhang verwundert es auch nicht, dass sich viele Teile der Gesellschaft mit den unterschiedlichen Entwicklungen und Folgenabschätzungen der künftigen Produktionsweise befassen. Aus der Perspektive des Arbeitnehmers ist hierbei die künftige Ausgestaltung der Arbeitsorganisation von entscheidender Relevanz, insbesondere aus dem Blickwinkel eines soziotechnischen Arbeitssystems.

Daraus abgeleitet ist es das Ziel dieser Arbeit, sich mit den verschiedenen Aspekten des industriellen Transformationsprozesses zu befassen. Der Schwerpunkt der Arbeit wird hierbei insbesondere auf das Zusammenspiel zwischen Menschen und Maschinen, sowie auf die einhergehenden Veränderungen bei der täglichen Arbeit gelegt.

1.2 Problemstellung

Im Laufe der Geschichte konnten mit der Entwicklung von Technologien neue Arbeitsweisen ermöglicht und Standards implementiert werden. Mit dem Ziel ökonomischer Optimierungen bzw. aufgrund humanistischer Überlegungen wurden innovative Maschinen entworfen und in unterschiedlichen Einsatzbereichen weiterentwickelt. Die Erfindung der Dampfmaschine, das Einführen der Fließbandarbeit und die Verwendung von Computern haben folglich viele Bereiche der Industrie stark verändert. Fortan bestand die Möglichkeit innerhalb einer kurzen Zeitspanne hohe Stückzahlen zu produzieren. Mittlerweile sind sich Experten einig, dass wir uns aktuell in der nächsten industriellen Umbruchphase befinden. Kennzeichen dieser Entwicklung sind die zunehmende Digitalisierung analoger Technologien sowie der steigende Einsatz cyber-physischer Systeme. Durch die damit verbundenen neuen Möglichkeiten müssen nun viele Produktionsprozesse neu überdacht werden.

Dabei wurde der Einsatz von Industrierobotern zu einem wichtigen Faktor bei der Optimierung von Produktionsabläufen. Durch den hohen Grad an Präzisionsarbeit konnte die Produktionsgeschwindigkeit erhöht und neue Produktionstechnologien eingeführt werden. Die Vorstellung einiger Unternehmen hinsichtlich der Umsetzung zukünftiger Produktionsstraßen in der Industrie ist oftmals die Implementierung einer vollautomatisierten Produktion, bei der Industrieroboter die bisherige Arbeit des Menschen vollständig übernehmen. Die Gegenthese lautet hingegen, dass nicht jede Form der menschlichen Arbeit durch Roboter ersetzt werden kann.

Eine Automatisierung ohne Berücksichtigung des Faktors Mensch kann nicht den gewünschten ökonomischen und sicherheitstechnischen Erfolg erzielen. Die vier durch Bainbridge (1983) postulierten „Ironien der Automatisierung“ unterstreichen dabei diese Annahme. Deshalb versucht man ein Gesamtsystem bestehend aus Automatisierungssystemen und menschlichen Operateuren zu entwickeln, welches die geforderten industriellen Aufgaben verlässlich und sicher erfüllt. In dieser Hinsicht muss darüber nachgedacht werden, welche Rolle der Mensch zukünftig in der industriellen Fertigung übernehmen wird. Dazu ist es wesentlich zu ergründen,

wie eine Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen aussehen kann. Stellt man sich die Frage, welche Funktionalität die Maschine haben soll, müssen auch die Stärken und Schwächen des Menschen, die Möglichkeiten und Grenzen der Automatisierung, sowie das sinnvolle Zusammenspiel zwischen Menschen und Maschinen berücksichtigt werden (Botthof und Hartmann, 2015).

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Zukunft leitet sich aus der Vergangenheit ab. Basierend auf dieser Annahme beleuchtet die vorliegende Arbeit in Kapitel 2 zunächst den geschichtlichen Hintergrund der Arbeitsteilung. Hiermit soll dem Leser der historische Kontext vermittelt werden, um ein besseres Verständnis für potentielle Zukunftsentwicklungen zu bekommen.

Kapitel 3 beschreibt im Anschluss daran die unterschiedlichen sozialen Trends mit Einfluss auf die Industrie. Diese sich laufend verändernden Faktoren prägen seit jeher die industrielle Fertigung. Daher ist es bedeutsam, diese Trends in die Überlegungen einer Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen einfließen zu lassen.

In Kapitel 4 werden unterschiedliche Produktionsstrategien näher betrachtet und analysiert. Hierbei wird zunächst das Konzept der Automatisierung mit den jeweiligen Stärken und Schwächen eingehend beschrieben. Im nächsten Schritt bietet die Beschreibung der sogenannten Men-Are-Better-At-Listen und Machines-Are-Better-At-Listen (MABA/MABA) einen theoretischen Hintergrund, um ein tieferes Verständnis für das Thema der Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen zu erlangen. Anschließend werden verschiedene Konzepte der Arbeitsteilung einer Analyse unterzogen. Dabei werden unter anderem auch bestehende Sicherheitskonzepte und Normen betrachtet.

In Kapitel 5 wird auf die Grundlagen der Arbeitsanalyse und in weiterer Folge der Aufgabenanalyse eingegangen. Dabei werden vertiefend mit der GOMS-, HTA- sowie der CTA-Methode drei unterschiedliche Verfahren der Aufgabenanalyse näher betrachtet. Die HTA-Methode und die CPM-GOMS-Methode werden daraufhin beim praktischen Beispiel in Kapitel 6 angewandt.

Anhand eines praktischen Beispiels soll in Kapitel 6 erörtert werden, ob sich die theoretischen Grundlagen und Überlegungen mit der praktischen Umsetzung decken. Dazu werden zum einen

zwei Aufgabenanalysen durchgeführt und zum anderen eine Klassifikation der Arbeitsteilung erstellt. Anhand der gewonnenen Erfahrungen aus dem Beispiel soll eine Abschätzung über die sinnvolle Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen ermöglicht werden. Des Weiteren sollen Erkenntnisse hinsichtlich der Mitarbeiterakzeptanz im Umgang mit Maschinen gewonnen werden, um Rückschlüsse auf künftige Entwicklungen zu ziehen.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es zu ergründen, wie durch die Arbeitsteilung eine effiziente und nutzbringende Interaktion zwischen Menschen und Maschinen in der Fertigung umgesetzt werden kann. Die Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, in welchem Ausmaß eine vollständige Automatisierung sinnvoll ist und in welchen Bereichen die menschliche Arbeitskraft nach wie vor die bessere Lösung bietet. Es wird hierbei untersucht, welche Strategien mit Blick auf die Arbeitsteilung gesetzt werden müssen, um die geforderten Arbeiten für alle beteiligten Entitäten nutzbringend zu gestalten. Ergebnis der Diplomarbeit ist die Ausarbeitung von Klassifizierungsmöglichkeiten einer künftigen Arbeitsgestaltung. Das zentrale Thema ist hierbei die Bestimmung eines sinnvollen Automatisierungsgrades im Produktionsumfeld anhand eines praktischen Anwendungsfalles.

2 Historische Veränderung der Arbeitsteilung

Um aktuelle Produktionsstrategien eingehend analysieren zu können, lohnt sich ein kurzer Blick auf die Geschichte der industriellen Fertigung. Menschen wurden in der Vergangenheit sehr stark von Erfindungen und den einhergehenden Begleiterscheinungen geprägt. Diese Technologien bildeten daraufhin die Grundlage für künftige Arbeitsweisen und Produktionssysteme.

Die Geschichte der Produktion beginnt im Wesentlichen bereits in der Steinzeit, als Menschen zum ersten Mal Werkzeuge in Form von abgekanteten Steinen herstellten und für den Alltag nutzten. Mit der Entdeckung von Eisen und Bronze haben sich die Werkzeuge stark verändert und dienten ihrerseits für revolutionäre Entwicklungen im Handwerksbereich. Ab dem 8. Jahrhundert vor Christus bildeten sich mit Schmieden die ersten urkundlich erwähnten Handwerksbetriebe. Der Grieche Xenophon spricht im Jahr 300 vor Christus in Bezug auf die Arbeitsweise in den Handwerksbetrieben erstmalig von arbeitsteiliger Massenproduktion. Er hielt dazu schriftlich fest, dass in den damaligen Handwerksbetrieben jeweils eine Person für eine bestimmte Tätigkeit eingeteilt war. Diese Form der Arbeitsteilung hatte bereits große Ähnlichkeiten mit der späteren Form der Fließbandarbeit. Zu dieser Zeit hatten die Betriebe

bereits eine Größenordnung von 100 Personen, wobei man hier unter dem Begriff der Arbeitsteilung die sprichwörtliche Aufteilung der Arbeit zwischen einzelnen Produktionsarbeitern verstand. Ziel war es, durch den Grad der Spezialisierung einzelner Arbeitskräfte die Effektivität der Arbeitsleistungen zu erhöhen (Spur, 1991).

Im Mittelalter entwickelten sich die kleinen Betriebe durch neue Erfindungen weiter. Mit der Einführung von Wind- und Wassermühlen ersetzte eine zunehmende Technisierung mehrere mühselige Arbeitsschritte und mit der Entstehung der Zünfte erfolgte eine Spezialisierung einzelner Betriebsstätten. Zur Zeit der Renaissance kam der Arbeitsteilung durch das Aufkommen größerer Manufakturen eine noch größere Bedeutung zu. Es wurden zwar im Vergleich zu einer klassischen Fabrik die Produkte in Handarbeit gefertigt, dennoch erkannte man, dass die Produktivität gesteigert werden kann, indem sich jeder Mitarbeiter auf eine überschaubare Anzahl an Arbeitsschritten bzw. wenige Handgriffe beschränkt (Spur, 1991).

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts begann der Mensch Arbeitsprozesse stärker zu mechanisieren. Ausgehend von der Textilindustrie mit dem ersten mechanisierten Webstuhl, über die Erfindung der Dampfmaschine und gefolgt von der Einführung der Fließbandarbeit, wurde mit Arbeits- und Kraftmaschinen der Grundstein für die Industrialisierung gelegt (Spur, 1991; Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, 2017).

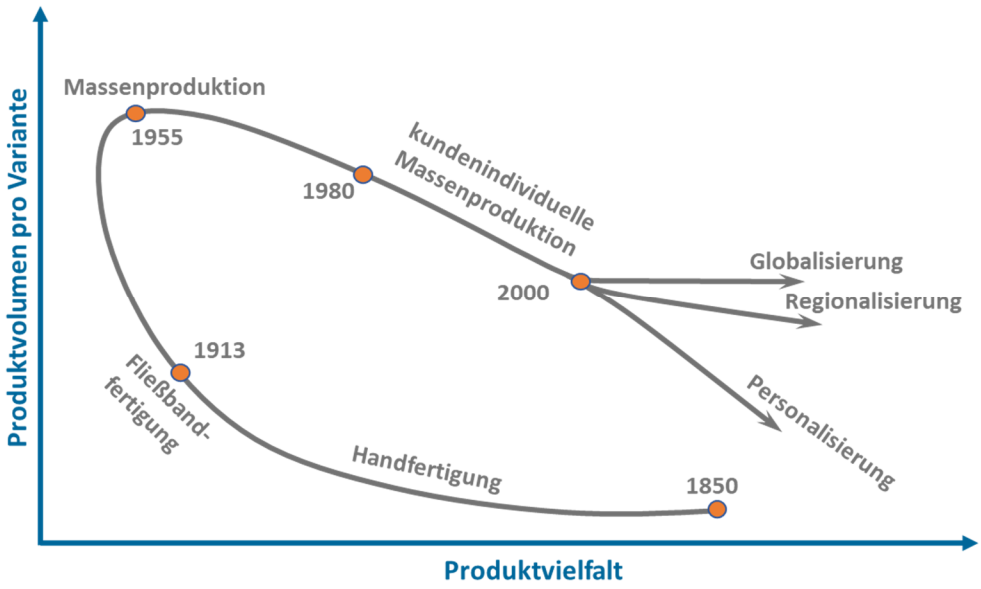

Abbildung 1: Geschichte der Produktion - eigene Darstellung in Anlehnung an Bauernhansl, Ten Hompel und Vogel-Heuser (2014)

Diese industriellen Revolutionen hatten auch stets Auswirkungen auf die Gesellschaft. Stand zunächst noch die Massenproduktion mit dem allgemeinen Credo „Automatisiere, was technisch möglich ist“ im Vordergrund, so wurde mit Beginn der dritten industriellen Revolution der Fokus vermehrt auf eine höhere Produktvielfalt und kundenindividuelle Massenfertigung gelegt (siehe Abbildung 1). Diese Zeit war gekennzeichnet durch ein rasantes Bevölkerungswachstum und Produkte, die erstmalig für einen Großteil der Gesellschaft erschwinglich wurden (Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, 2017). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die einzelnen Phasen der Industrialisierung mit Hilfe von Arbeitsteilung und Spezialisierung zu einer Steigerung der Produktivität und einem allgemeinen Anstieg des Wohlstandes der Bevölkerung führten.

3 Soziale Trends mit Einfluss auf die Industrie

Prägte vor der ersten industriellen Revolution der klassische Handwerksbetrieb das Landschaftsbild, so wurden diese immer stärker von industriellen Produktionsstätten verdrängt. Mit zahlreichen technischen Innovationen änderten sich im Laufe der Industrialisierung ebenso die Fabriksysteme. In Abhängigkeit vieler einzelner Faktoren versuchen Unternehmen nach wie vor die optimale Produktionsstrategie für die zu fertigenden Waren zu finden. Die industrielle Produktion kann als dynamisches sozio-technisches System angesehen werden, welches sich ständig an die Umgebung anpassen muss. Zahlreiche technologische und gesellschaftliche Entwicklungen spielen dabei eine bedeutende Rolle (Botthof und Hartmann, 2015). Westkämper und Löffler (2016) zeigen hierzu aktuell acht verschiedene globale Trends auf, welche der Industrie einerseits viele Chancen und Möglichkeiten bieten, andererseits die Unternehmen vor unzählige neue Herausforderungen stellen. In der Folge werden diese acht Trends unter der Berücksichtigung der Auswirkungen auf den industriellen Sektor vorgestellt.

1. Steigende Weltbevölkerung

Die Weltbevölkerung steigt seit Anbeginn der ersten industriellen Revolution Mitte des 18. Jahrhunderts exponentiell. Damit verbunden steigt auch der Bedarf an industriell erzeugten Gütern stetig. Viele Länder haben es in den vergangenen Jahrzehnten geschafft, den Lebensstandard der Menschen zu heben. Als direkte Folge kommt es zu einem generellen Anstieg des Konsums, verbunden mit einer direkten Steigerung des Ressourcenverbrauchs im Bereich der industriellen Produktion (Westkämper und Löffler, 2016). Dementsprechend sind die produzierenden Unternehmen stets angehalten die Effizienz ihrer Fertigungsanlagen zu steigern und auszubauen, um hier den Anforderungen der Gesellschaft gerecht zu werden.

2. Alterung der Gesellschaft

Mit dem steigenden Alter der Bevölkerung nimmt auch die Dauer der Erwerbsfähigkeit zu. Das führt zu veränderten Arbeitsbedingungen und zur Umgestaltung der Fertigung. Hierbei ist zu erwähnen, dass ältere Menschen, verglichen mit früheren Generationen, heutzutage oft bis ins hohe Alter eine weitaus höhere physische und psychische Kondition besitzen. Gerade deshalb wird es in Zukunft sehr wichtig sein zu definieren, welche Rolle erfahrene Personen in der Fertigung spielen sollen. Aus Sicht des Autors sind ältere Menschen hinsichtlich ihrer gesammelten Erfahrungen hoch qualifizierte Mitarbeiter, deren Wissen vor allem in der Planung neuer Produktionsanlagen genutzt werden muss. Mit dem Anstieg des menschlichen Durchschnittsalters ändert sich natürlich auch der Blickwinkel auf die anderen Einflüsse dieses Kapitels (Westkämper und Löffler, 2016).

3. Urbanisierung

Immer mehr Menschen verlegen ihren Wohnort in die Ballungszentren. Für viele der in ländlichen Regionen angesiedelten Unternehmen wird es daher zunehmend schwieriger qualifizierte Arbeitskräfte zu rekrutieren. Daher wird es insbesondere für diese Unternehmen entscheidend sein, geeignete Anreizsysteme zu schaffen, um auch Menschen in ländlichen Regionen zu halten. In diesem Kontext ändern sich auch viele Produkte und Märkte. So werden in Zukunft neue Arten der Mobilität, wie bspw. autonome Busse oder Weiterentwicklungen von Elektrofahrrädern, das Interesse der Bevölkerung wecken. Damit geht natürlich auch ein neues Bewusstsein hinsichtlich technischer Möglichkeiten und Wünsche einher. Nachdem Kundennähe für Unternehmen ein wichtiger Parameter ist, spielt der Trend der Urbanisierung auch eine entscheidende Rolle bei der Auswahl des Produktionsstandortes (Westkämper und Löffler, 2016).

4. Nachhaltigkeit

Das Konsumverhalten der Gesellschaft hat sich im Laufe der Zeit massiv geändert. Viele Umweltprobleme haben zu neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen geführt und in weiterer Folge wurde die Bewusstseinsbildung mit Blick auf das Konsumverhalten gestärkt. Damit verbunden wird der Fokus in immer größerem Ausmaß auf eine nachhaltige Produktionsweise sowie auf umweltgerechte Produkte gelegt. Dabei wurden in jüngerer Vergangenheit Begriffe, wie „Smart Factory“ oder „Smart Building“ geprägt, welche darauf abzielen, möglichst energie- und kosteneffizient mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen umzugehen. Ein wesentlicher Faktor ist hier auch die Nutzung neuer umweltfreundlicher Werkstoffe, wodurch

es in regelmäßigen Abständen zu nachhaltigen Produktinnovationen kommt. Die Industrie muss auf diese Entwicklungen verstärkt mit neugestalteten Fertigungsprozessen reagieren, um den gesetzlichen Anforderungen und Kundenbedürfnissen entsprechen zu können (Westkämper und Löffler, 2016).

5. Individualisierung

Mit dem Beginn der Massenproduktion wurde es erstmals möglich, leistbare Produkte für breite Bevölkerungsschichten anzubieten. In der heutigen Zeit ändern sich die Bedürfnisse der Gesellschaft teilweise sehr rasch. Der Markt muss in der Lage sein, darauf entsprechend zu reagieren. Dabei ist zu beobachten, dass die produzierten Stückzahlen sinken und die Anzahl der Produktvarianten steigt. Die Individualisierung bzw. teilweise auch Personalisierung der Produkte nimmt in einigen Marktsegmenten einen stärker werdenden Stellenwert ein. In Hinblick auf die Produktion bedeutet dies natürlich auch, dass Unternehmen künftig Fertigungslinien so gestalten werden müssen, dass diese dementsprechend schnell auf Produktänderungen und Marktanforderungen anpassbar sind (Westkämper und Löffler, 2016).

6. Wissen und Information

Die heutige Produktion wird immens durch softwaregestützte Anlagen getragen. Dabei können hohe Datenmengen gesammelt und ausgewertet werden. Diese Informationsquellen wiederum dienen der Weiterentwicklung von Produktionsanlagen. Gleichzeitig steigt sowohl das gesammelte Wissen aus der Forschung als auch der Erfahrungsschatz aus dem praktischen Anwendungsbereich. Es ist davon auszugehen, dass durch die künftige Vernetzung von Produktionssystemen die Aufbereitung von Daten und Informationen eine wesentliche Rolle einnehmen wird. Des Weiteren muss man in diesem Kontext neben sicherheitstechnischen Aspekten auch datenschutzrechtliche Faktoren berücksichtigen. Immerhin werden nicht nur Daten der produzierenden Maschinen gesammelt, sondern auch zahlreiche Informationen über Mitarbeiter und Kunden (Westkämper und Löffler, 2016).

7. Globalisierung

Produkte und Produktionstechnologien werden in der heutigen Zeit auf globale Märkte ausgerichtet. Mit steigender Globalisierung werden zudem auch großteils einheitliche Prozessstandards geschaffen. Diese erlauben letztendlich die Ausrollung von „Best Practices“ auf sämtliche Standorte weltweit sowie eine hohe Flexibilität mit Blick auf einen Abgleich von Kapazitäten. Mit der Globalisierung etabliert sich auch der Trend, dass Unternehmen beginnen

Produktionswerke auf sämtlichen Kontinenten zu errichten, um so die Kunden vor Ort direkt und schnell beliefern zu können. Dies führt zu einer kulturellen Vielfalt und Diversität im Bereich der Produktionsteams und neuen technischen Zugängen. Die Folge sind Synergieeffekte, die zu radikalen Innovationen im technologischen Bereich führen können. Das digitale Zeitalter bietet hierbei eine Vielzahl an Möglichkeiten diese neuen Synergieeffekte in den unterschiedlichsten Bereichen zu nutzen und Innovationen zu fördern (Westkämper und Löffler, 2016).

8. Finanzen

Das operative Geschäft von Unternehmen wird durch ökonomische Zyklen beeinflusst. Der Einsatz von Kapital für Forschung, Investitionen und Infrastruktur nimmt Einfluss auf die mittel- und langfristige Entwicklung der Produktion. Hierbei ist zu erwähnen, dass viele Länder unterschiedliche Schwerpunkte setzen und dabei verschiedene Technologien fördern. Es verwundert nicht, dass jene technischen Bereiche mit entsprechend hohen Forschungsförderungen auch die meisten Fortschritte verzeichnen. Der finanzielle Druck auf kleinere Betriebe, die ihre Kompetenz in hart umkämpften Wachstumsmärkten haben, ist enorm. Doch auch größere Konzerne, versuchen vermehrt Produktionskosten zu senken, um weiterhin am Markt bestehen zu können (Westkämper und Löffler, 2016).

4 Produktionsstrategien

Aufbauend auf diesen Trends verfolgen Unternehmen unterschiedliche Produktionsstrategien, um den Herausforderungen der Zukunft zu begegnen. Dabei stellt sich oft die Frage, mit welchem Automatisierungsgrad eine möglichst effiziente Produktion möglich ist. Mit zunehmendem Wunsch nach Flexibilisierung und den steigenden Möglichkeiten durch Robotiksysteme rückt auch eine sinnvolle Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen in den Fokus. Einen theoretischen Hintergrund zu den jeweiligen Stärken dieser Entitäten liefert unter anderem die MABA/MABA-Liste von Paul Fitts (1951). Im weiteren Verlauf werden zudem Konzepte der Arbeitsteilung erörtert, welche die Grundlage für die Neugestaltung des Arbeitsplatzes in Kapitel 6 schaffen.

4.1 Automatisierung

Ziel der Automatisierung ist es, technische Prozesse weitgehend selbstständig und teilweise losgelöst von der menschlichen Arbeitskraft umzusetzen. Der Grundgedanke der Unternehmen

war dabei stets die Produktionskosten zu senken und durch das Mechanisieren von Arbeitsprozessen die Effizienz in der Fertigung zu steigern. Mit dem Einzug der Informationstechnik ist die Automatisierungstechnik mittlerweile wesentlich weiter. Dieser Umstand wird beim Betrachten der Beweggründe für Automatisierungsprozesse deutlich. Groover (2001) als auch Wickens, Gordon und Liu (2004) haben sich diesem Thema angenommen und mehrere Hauptmotive anhand von zwei unterschiedlichen Blickwinkeln herausgearbeitet. Dabei geht Groover vom Standpunkt des Unternehmers aus, wodurch sein Hauptaugenmerk vor allem auf die Produktivität und Wirtschaftlichkeit ausgerichtet ist. Wickens, Gordon und Liu beschränken sich hingegen auf die Sicht des Konstrukteurs des Produktionssystems und legen dementsprechend verstärkten Wert auf die Unterstützung der menschlichen Arbeitskraft (Lindström und Winroth, 2010).

Gründe aus Sicht des Unternehmens nach Groover (2001):

- Steigerung der Arbeitsproduktivität
- Reduzierung der Arbeitskosten
- Milderung der Auswirkungen durch Arbeitskräftemangel
- Reduzierung oder Eliminierung routinemäßiger Handarbeit und administrativer Aufgaben
- Verbesserung der Arbeitssicherheit
- Verbesserung der Produktqualität
- Reduzierung der Fertigungsvorlaufzeit
- Durchführung von manuell nicht realisierbaren Prozessen
- Vermeidung hoher Kosten durch Automatisierung

Gründe aus Sicht des Konstrukteurs eines Produktionssystems nach Wickens, Gordon und Liu (2004):

- Unmögliche oder gefährliche Tätigkeiten für Arbeitskräfte
- Schwierige oder unangenehme Arbeiten für den Menschen
- Erweiterung der menschlichen Fähigkeiten
- Technische Machbarkeit

Man erkennt bei beiden Ansichten nachvollziehbare Argumente, welche für die Automatisierung sprechen. Nichtsdestotrotz ist eine der wesentlichen Anforderungen an die heutige Industrie die rasche Adaptionsfähigkeit an neue Marktsituationen. Hinsichtlich der

Einflussgrößen auf die Industrie wurde bereits erwähnt, dass die produzierten Stückzahlen in einigen Marktsegmenten gegenwärtig sinken, gleichzeitig aber die Produktvielfalt steigt. Nachdem die Individualisierung oftmals stärker in den Fokus rückt, reicht es teilweise nicht mehr aus Massenprodukte mithilfe von hohen Fertigungszahlen kostengünstig herzustellen. Diese Erkenntnis in Kombination mit neuen technischen Möglichkeiten führt zum Wunsch vieler Unternehmen nach einer flexiblen Automatisierung (Westkämper und Löffler, 2016).

Die Automatisierung war schon immer ein Thema, welches bei Forschern zu vielen Widersprüchen führte. Unbestritten ist der Wunsch komplexe und immer wiederkehrende Prozesse und Tätigkeiten durch Maschinen zu ersetzen. Science-Fiction-Autoren haben dabei oftmals wegweisende Impulse geliefert und so manchen Ingenieuren gerade in der Anfangszeit kreative Ansätze zur Umsetzung einer automatisierten Anlage geliefert. Doch wurde sehr rasch deutlich, welche Schwierigkeiten mit vollautomatisierten Anlagen einhergehen. Lisanne Bainbridge beschreibt in Ihrer Publikation, welche nach wie vor ihre Gültigkeit besitzt, mit den von ihr formulierten „Ironien der Automatisierung“ die Situation sehr treffend (Bainbridge, 1983).

Als erstes führt sie an, dass man den Menschen in der Produktion ersetzt, da er oftmals als Fehlerquelle betrachtet wird. Maschinen erwecken im Gegensatz dazu den Eindruck, dass sie keine bzw. nur kaum Fehler machen und aus diesem Grund den Menschen ersetzen sollten, um die Produktivität des Betriebes zu steigern. Doch muss man sich stets bewusst sein, dass die Entwicklungsingenieure hinter den Fertigungsanlagen wiederum Menschen sind, die genauso Fehler machen können (Bainbridge, 1983).

Des Weiteren führt Bainbridge an, dass man, entgegen der Intention Menschen von komplexen Aufgaben zu befreien, häufig mit ebenjenen betraut. Dies liegt vornehmlich daran, dass komplexe Aufgaben häufig nur schwer automatisierbar sind (Bainbridge, 1983).

Als nächstes weist sie in Ihrer Veröffentlichung darauf hin, dass man durch das Ersetzen des Menschen die Produktivität und Effizienz in der Fertigung erhöhen möchte, indem man Aufgaben automatisiert. Trotzdem bleiben die Kontrolle und Überwachung der technischen Systeme im Aufgabenbereich des Menschen, welcher im Rahmen von Unterbrechungen und Störungen auch aktiv eingreifen muss (Bainbridge, 1983).

Zudem ist festzustellen, dass der Trainingsaufwand für zuverlässige Automatisierungssysteme immens hoch ist. Je niedriger der Trainingsaufwand ist, desto notwendiger wird der Eingriff ins System durch den Menschen (Bainbridge, 1983).

Diese Aussagen legen nahe, dass eine Vollautomatisierung ohne den Faktor Mensch nicht immer bzw. beim derzeitigen Stand der Technik selten ökonomisch sinnvoll umsetzbar ist. Vielmehr muss man sich die Frage stellen, welchen Maßstab man ansetzt, um herauszufinden, welcher Automatisierungsgrad für die jeweilige Fertigung am besten geeignet ist.

Zu dieser Fragestellung gibt es zunächst allgemeingültige Ansätze (Rampersad, 1994; Lotter und Wiendahl, 2009), welche auf grafische Weise (siehe Abbildung 2) verschiedene Automatisierungsstrategien hinsichtlich unterschiedlicher Gesichtspunkte aufzeigen. Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass die Strategie der Automatisierung bei steigenden Losgrößen sowie hohen Produktionsvolumina sehr sinnvoll ist. Ist allerdings ein hohes Maß an Flexibilität sowie eine große Produktvielfalt gefragt, so sollte auf eine manuelle Montage zurückgegriffen werden. Blickt man nun auf Abbildung 1 zurück, in der man unterschiedliche Einflüsse auf die Industrie ergründet, werden die künftigen Herausforderungen an die Produktionstechnik deutlich. Frohm hat sich diesem Thema angenommen und 2008 eine Veröffentlichung (Frohm *u. a.*, 2008) publiziert, in welcher er verschiedene Standpunkte von Forschern hinsichtlich des Automatisierungsgrades zusammenzufasst und daraus resultierend eine einheitliche Definition einführt.

Frohm argumentiert, dass die Definition des Automatisierungsgrades die Zuordnung von Aufgaben aller Art zwischen Menschen und deren technologischen Unterstützung betrifft. Des Weiteren weist er darauf hin, dass die Automatisierung als eine Interaktion zwischen zwei Arten von Aufgaben, nämlich der physischen als auch kognitiven, betrachtet werden sollte. In Bezug auf die physischen Aufgaben spricht man von Kerntechnologien (z.B. Bohren) und unter kognitiven Aufgaben wird die Kontrolle und die Unterstützung dieser Aufgaben verstanden (Frohm *u. a.*, 2008).

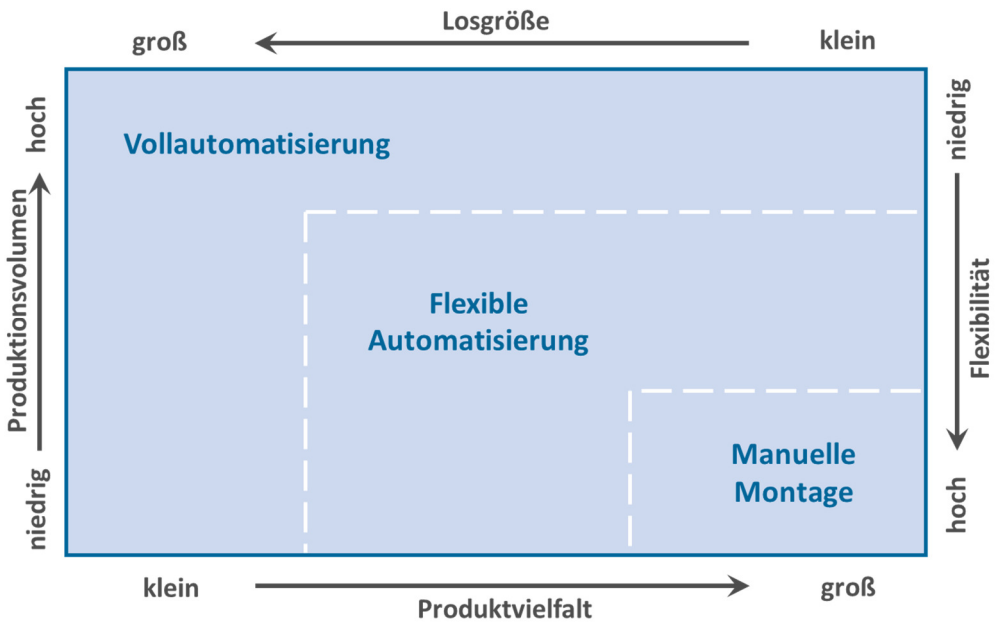

Abbildung 2: Automatisierungsstrategien - eigene Darstellung in Anlehnung an Lotter und Wiendahl (2009)

Frohm definiert den Automatisierungsgrad folgendermaßen (Frohm *u. a.*, 2008):

„The allocation of physical and cognitive tasks between humans and technology, described as a continuum ranging from totally manual to totally automatic."

„Die Zuordnung von physischen und kognitiven Aufgaben zwischen Menschen und Technik, beschrieben als ein Kontinuum, das von komplett manuell bis total automatisch reicht."

Satchell beschreibt Automatisierung wie folgt (Satchell, 1998):

"The level of automation is defined as the sharing between the human and machines with different degrees of human involvement."

„Der Automatisierungsgrad ist definiert als die Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen mit unterschiedlichen Graden menschlicher Beteiligung."

Frohm und Satchell verbinden mit ihren Aussagen über den Automatisierungsgrad stets die klassischen Arbeitsbereiche eines Unternehmens. Dabei steht die menschliche Arbeitskraft in Verbindung mit einem technischen System (in der Regel mit einer Maschine) sowie mit einem Kontrollsystem (softwaregestütztes Computersystem). Diese zwar sehr einfachen, aber dennoch wesentlichen Zusammenhänge werden in der Literatur häufig zur Verdeutlichung grafisch dargestellt (siehe Abbildung 3).

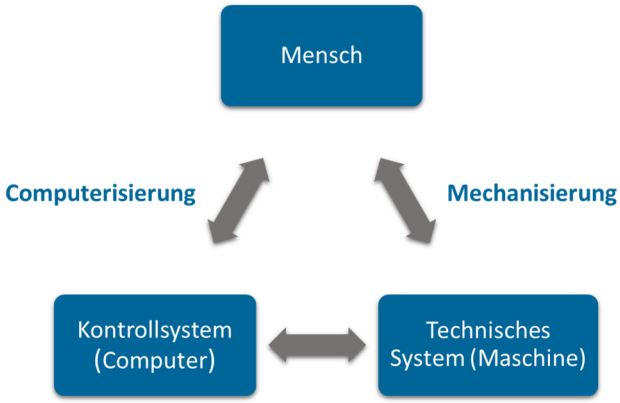

Abbildung 3: Aufteilung der Funktionen - eigene Darstellung in Anlehnung an Frohm und Bellgran (2005)

Ziel eines adäquaten Automatisierungsgrades ist es, die Fertigung auf bestmögliche Weise umzusetzen. Neben einer allgemeingültigen Definition ist es ebenso bedeutsam, die Ausprägung der Automatisierung zu erfassen und zu beschreiben.

Tabelle 1: Automatisierungsgrad in Anlehnung an Frohm (2008)

Grad	Mechanik und Ausrüstung	Information und Kontrolle
1	Vollständig manuell: manuelle Arbeit, keine Werkzeuge, nur die Muskelkraft des Benutzers.	Vollständig manuell - Der Benutzer nutzt sein eigenes Verständnis für die Situation und entwickelt seine Vorgehensweise basierend auf seinen früheren Erfahrungen
2	Statisches Handwerkzeug - Handarbeit mit Unterstützung von statischem Werkzeug; z.B. Schraubendreher	Entscheidungen treffen - Der Benutzer erhält Informationen darüber, was zu tun ist oder einen Vorschlag, wie die Aufgabe gelöst werden kann; z.B. Arbeitsauftrag
3	Flexibles Handwerkzeug - Handarbeit mit Unterstützung eines flexiblen Werkzeugs, z.B. verstellbarer Schraubenschlüssel	Lehren - Der Benutzer erhält Informationen, wie die Aufgabe gelöst werden kann; z.B. Checklisten, Handbücher
4	Automatisiertes Handwerkzeug - Manuelle Arbeit mit Unterstützung eines automatisierten Werkzeugs; z.B. hydraulischer Schraubenzieher	Hinterfragen - Die Technologie stellt die Ausführung in Frage, wenn sie von dem abweicht, was die Technologie für geeignet hält; z.B. Überprüfung vor der Aktion
5	Statische Maschine / Arbeitsplatz - Automatisches Arbeiten mit einer Maschine, die für eine bestimmte Aufgabe ausgelegt ist; z.B. Drehbank	Überwachung - Die Technologie fordert die Aufmerksamkeit der Benutzer und richtet sie auf die aktuelle Aufgabe; z.B. Alarm
6	Flexible Maschine / Arbeitsplatz - Automatisches Arbeiten mit einer Maschine, die für verschiedene Aufgaben neu konfiguriert werden kann; z.B. CNC-Maschine	Eingreifen - Die Technologie übernimmt und korrigiert die Aktion, wenn die Ausführungen von dem abweichen, was die Technologie für geeignet hält; z.B. Thermostat
7	Völlig automatisch – Beim völlig automatischen Arbeiten reagiert die Maschine auf alle Abweichungen oder Probleme; z.B. Autonome Systeme	Vollständig automatisch - Alle Informationen und Kontrollen werden von der Technologie übernommen. Der Benutzer ist nicht mehr beteiligt; z.B. Autonome Systeme

Auf Basis anderer Veröffentlichungen (Marsh und Mannari, 1981; Kern und Schumann, 1985; Kotha und Orne, 1989; Draper, 1995; Milgram, Rastogi und Grodski, 1995; Anderson, 1996; Billings, 1997; Satchell, 1998; Endsley und Kaber, 1999; Parasuraman, 2000; Wickens und Hollands, 2000; Groover, 2001; Ruff, Narayanan und Draper, 2002; Duncheon, 2002) hat Frohm (2008) versucht eine einheitliche Darstellung in Bezug auf den Automatisierungsgrad festzulegen (siehe Tabelle 1). Er hat sich dabei wieder der Aufteilung in physische und kognitive Aufgaben bedient. Aufgrund des Ineinandergreifens von Einflüssen wie Technologien und dem Faktor Mensch wurden zwei unabhängige Skalen zu einer vereint, wobei sich beide stets auf die gleiche Automatisierungsebene beziehen.

4.2 Vergleich zwischen Menschen und Maschinen

Um sich der Frage der technologischen und organisatorischen Strategien der Arbeitsteilung zu nähern, ist es notwendig sich mit den jeweiligen Stärken von Menschen und Maschinen zu befassen. Eine der bekanntesten Veröffentlichungen, in der die verschiedenen Eigenschaften aufgezeigt werden, ist jene von Paul Fitts (1951) (siehe Tabelle 2).

Diese Liste bietet eine Grundlage für weitere Forschungen in diesem Bereich. Nachdem sich seit dem Publikationszeitpunkt viele Technologien weiterentwickelt haben, muss man seine Standpunkte zu diesem Thema teilweise neu überdenken und aus neuen Blickwinkeln betrachten (Fitts, 1951; de Winter und Dodou, 2014; de Winter und Hancock, 2015).

Tabelle 2: Vergleich zwischen Menschen und Maschinen in Anlehnung an Fitts (1951)

Menschliche Stärken	Vorzüge der Maschinen
Fähigkeit, geringe Mengen an visueller oder akustischer Energie zu erkennen	Fähigkeit, schnell auf Steuersignale zu reagieren und große Kräfte gleichmäßig und präzise auszuüben
Fähigkeit, Licht- oder Klangmuster wahrzunehmen	Fähigkeit, sich wiederholende Routineaufgaben auszuführen
Fähigkeit zu improvisieren und flexible Verfahren zu verwenden	Fähigkeit, Informationen kurz zu speichern und dann vollständig zu löschen
Fähigkeit, sehr große Mengen an Informationen für lange Zeiträume zu speichern und relevante Fakten zum richtigen Zeitpunkt abzurufen	Fähigkeit zur deduktiven Abschätzung, einschließlich rechnerischer Fähigkeiten
Fähigkeit, induktiv zu argumentieren	Fähigkeit, hochkomplexe Operationen zu handhaben, d.h. viele verschiedene Dinge gleichzeitig zu tun.
Fähigkeit, ein Urteil zu fällen	

4.2.1 Eigenschaften des Menschen

Die Beobachtungen von Fitts zu den Merkmalen von Menschen sind weitgehend gleichgeblieben. Es ist in diesem Kontext dennoch sehr interessant diese Eigenschaften nochmals zu beleuchten, um sich der Stärken des Menschen bewusst zu werden. Immerhin steht er in gewissem Maße in Konkurrenz mit Robotiksystemen in Bereichen der industriellen Fertigung. Diese Merkmale bilden auch teilweise die Entscheidungsgrundlage für Unternehmer Menschen den Maschinen vorzuziehen. Die folgende Aufzählung basiert auf den Überlegungen von Svetlana Kornev (2016).

1. Aufmerksamkeit

Die Fähigkeit der Aufmerksamkeit des Menschen wird bei Unglücksfällen medial häufig in den Vordergrund gerückt. Die Aufmerksamkeit nimmt vor allem bei monotonen und lang andauernden Tätigkeiten stark ab. Im Falle einer Übermüdung kommt es daher auch zu einem erhöhten Unfallrisiko. Dementsprechend ist dies auch häufig ein Grund für zahlreiche Zwischenfälle im Produktionsumfeld. Es ist daher empfehlenswert, Menschen mit abwechslungsreichen und fordernden Aufgaben zu betrauen. Maschinen eignen sich dementsprechend für sich wiederholende, langwierige Aufgaben besser. Im Gegensatz dazu kann die Aufmerksamkeit durchaus auch ein Alleinstellungsmerkmal, da es diese Fähigkeit dem Menschen ermöglicht, sich sehr rasch auf neue Situationen einzustellen. Geht es um intuitive Handlungen ist der Mensch hinsichtlich der Aufmerksamkeit den Maschinen nach wie vor klar überlegen (Fitts *u. a.*, 1951; Kornev, 2016).

2. Flexibilität

In der Frage der Flexibilität ist der Mensch den Maschinen weiterhin überlegen. Der Mensch besitzt die Fähigkeit sehr schnell auf Veränderungen situationsgerecht zu reagieren, wobei interessanterweise jede Person mit verschiedenen Situationen auf andere Art und Weise umgeht. Maschinen bzw. die dahinterliegende Software sind nur in dem Maße flexibel, wie es die Anzahl an programmierten Algorithmen erlaubt. Dieser Umstand schränkt die Flexibilität von Maschinen sehr stark ein. Daher kann man nach wie vor behaupten, dass bei der Notwendigkeit einer hohen Anpassungsfähigkeit Menschen Maschinen vorzuziehen sind (Fitts *u. a.*, 1951; Kornev, 2016).

3. Urteilsvermögen

Ähnlich wie mit der Flexibilität verhält es sich mit dem Urteilsvermögen. Die gesammelten Erfahrungen über Jahre hinweg bieten für Menschen die Basis, Situationen abstrakt zu bewerten und im Zuge dessen Entscheidungen zu treffen. Im Laufe der Zeit hat man immer bessere Robotiksysteme entwickelt, welche die unterschiedlichsten Situationen richtig erkennen können. Dennoch können sie bei weitem nicht alle Konfliktsituationen richtig bewerten. Daher wird auch künftig die letzte Entscheidung der Mensch treffen. Trotzdem muss man hier erwähnen, dass zahlreiche Forschungen darauf abzielen, dass Roboter auf langfristige Sicht ein Gedächtnis auf Grundlage eines Datenspeichers besitzen werden (Fitts *u. a.*, 1951; Kornev, 2016). Damit sollen Roboter basierend auf ihren bisherigen Erfahrungen Entscheidungen auf ähnliche Art und Weise treffen können, wie es der Mensch tut. Nach Einschätzung des Autors dieser Diplomarbeit wird es noch eine beträchtliche Zeit in Anspruch nehmen, um Robotern ein vergleichbares intuitives Urteilsvermögen anzueignen (Steels und Hild, 2012; SRF Kultur, 2015).

4. Kreativität

Ebenso ein wichtiger Faktor ist die Fähigkeit kreative Lösungsvorschläge zu erarbeiten. Auch in diesem Fall überzeugt der Mensch im direkten Vergleich. Mit der Fähigkeit der Kreativität besitzt der Mensch die Möglichkeit Theorien und Ideen zu diversen Problemstellungen zu entwickeln. Maschinen beherrschen diese Fähigkeit noch nicht in diesem Ausmaß, was wiederum die Bedeutsamkeit des Menschen im Produktionsumfeld hervorhebt. Flexibilität, Urteilsvermögen und Kreativität sind jene Eigenschaften, durch die der Mensch Aufgaben ohne bestimmtes Muster handhaben kann. Diese Fähigkeiten erlauben einen optimalen Lösungsweg für die jeweiligen Herausforderungen zu finden (Frey und Osborne, 2013; Kornev, 2016).

5. Wahrnehmung

Die Wahrnehmung ist eine weitere Kompetenz, bei welcher der Mensch die Maschine übertrifft. Zieht man das Erkennen von geometrischen Formen als Beispiel heran, so kann der Mensch zweifelsohne diese nicht nur erfassen, sondern auch interpretieren. Maschinen hingegen sind lediglich in der Lage diese zu erkennen, wobei das allerdings auch stark von Umgebungseinflüssen, wie z.B. Lichtverhältnissen, abhängig ist. Das Speichern und Lernen neuer Informationen wird außerdem auf visuelle Weise umgesetzt. Kornev (2016) gibt hier auch ein Beispiel einer Untersuchung (Berthomier und Brandewinder, 2013) an, welche zeigt, dass Maschinen mit einer eigenständigen Auswertung von Daten bezüglich einer Analyse des

Schlafverhaltens überfordert sind. Eine vernünftige Auswertung war in diesem Fall nur durch einen Experten mit seinen visuellen Fähigkeiten in Verbindung mit seinem Erfahrungsschatz und Hintergrundwissen möglich (Kornev, 2016).

6. Sozialkompetenz

Einer der Hauptfaktoren, warum Menschen in vielen Bereichen auch in Zukunft noch unersetzbar sein werden, ist die soziale Kompetenz. Empathie, Emotionalität oder Spontanität sind Eigenschaften, welche insbesondere in der Krankenpflege und vielen weiteren sozialen Berufsfeldern unschätzbar wichtig sind. Daher wird der Mensch hier auch in Zukunft von wesentlicher Bedeutung sein, da Maschinen diese Eigenschaften in nächster Zeit nur kaum erlernen können. Die Stärke der sozialen Kompetenz ist eine Eigenschaft, die sich der Mensch im Laufe der Evolution angeeignet hat und kontinuierlich ausbaute. Dennoch muss man hier anmerken, dass es dabei im Bereich der Robotik durchaus vielversprechende Entwicklungen gibt. Insbesondere im Feld der humanoiden Robotik ist es ein erklärtes Ziel, Robotern zu verhelfen Gefühle und Emotionen zum Ausdruck zu bringen sowie sensible Reaktionen an den Tag zu legen (Sesink, 2012; Kornev, 2016; Edwards, 2017).

4.2.2 Eigenschaften der Maschinen

Dennoch gibt es auch einige Merkmale, welche mittlerweile insbesondere Maschinen auszeichnen. Eine Auflistung dieser Eigenschaften findet wieder auf Grundlage von Kornev (2016) statt.

1. Schnelligkeit

Die Schnelligkeit ist eine Eigenschaft, die Roboter auszeichnet und weshalb man sie bei vollautomatisierten Fertigungslinien vorzugsweise einsetzt. Bei gleichbleibenden Bedingungen ist die Reaktionszeit eines Computers besser als jene des Menschen. Dabei ist die Rechenleistung einer Maschine das Schlüsselelement. Der Aspekt der Schnelligkeit ist bei sich wiederholenden Tätigkeiten von entscheidender Bedeutung. Dennoch muss man hierbei anmerken, dass Menschen bei einfachen Tätigkeiten, wie dem Greifen nach biegeschlaffen Elementen, enorme Vorteile genießen. Die Frage der Schnelligkeit hängt aus Sicht des Autors der Diplomarbeit demnach vor allem von der Art der Aufgabenerfüllung ab, nicht umsonst spricht man des Öfteren vom Fingerspitzengefühl des Menschen, auch wenn sich Roboter in dieser Hinsicht sehr rasch weiterentwickeln (Fitts *u. a.*, 1951; Kornev, 2016; Johannes Kepler Universität, 2018).

2. Konzentration und Reaktionsfähigkeit

Wie bereits beim Aspekt der Aufmerksamkeit (siehe Kapitel 4.2.1) beschrieben, sind Maschinen für monotone Tätigkeiten deutlich geeigneter. Sie sind in der Lage sowohl die Reaktionsfähigkeit als auch die Konzentrationsfähigkeit über einen langen Zeitraum aufrecht zu erhalten, gepaart mit einer geringeren Fehlerquote. Hierbei hat der Mensch gewisse Defizite, die auch in Zukunft bestehen bleiben werden. Auch wenn im Bereich von abwechslungsreichen Tätigkeiten der Mensch in prekären Situationen manchmal adäquater reagiert, sind Maschinen hierbei eindeutig im Vorteil (Fitts *u. a.*, 1951; Kornev, 2016).

3. Berechnungen

Zweifelsohne übertreffen Maschinen den Menschen im Bereich der Mathematik. Sie schaffen sowohl einfache als auch komplexe Berechnungen im direkten Vergleich in einem Bruchteil der Zeit. Obwohl Menschen für die verwendeten Algorithmen verantwortlich sind, muss man anmerken, dass sie bei der Durchführung von eigenen Berechnungen fehleranfälliger sind. Dabei darf natürlich nicht unerwähnt bleiben, dass auch Programmlösungen Fehler beinhalten können. Hierbei sei wiederum auf die „Ironien der Automatisierung“ (Bainbridge, 1983) verwiesen (Fitts *u. a.*, 1951; Kornev, 2016).

4. Speicherkapazität

Die Speicherung von Informationen ist ein weiteres Merkmal, das für Maschinen spricht. Es ist heute möglich gewaltige Datenmengen zu verarbeiten, wobei sich die Speicher nach wie vor weiterentwickeln. Die größte Herausforderung hierbei ist das Erkennen komplexer Zusammenhänge, um daraus die adäquaten Schlussfolgerungen zu ziehen. Letzten Endes erfolgt hierbei die Einschätzung noch immer durch den Menschen. Doch Forschungen (Steels und Hild, 2012) setzen auch hier entsprechend an, um diese Schwäche von Maschinen in eine Stärke umzuwandeln (Fitts *u. a.*, 1951; Kornev, 2016).

5. Multitasking

Wo Menschen bei zeitgleicher Mehrbelastung, gerade bei sehr anspruchsvollen Tätigkeiten, sehr rasch an ihre persönlichen Leistungsgrenzen stoßen, sind Maschinen in der Lage mehrere Aufgaben bzw. Operationen parallel auszuführen. Dies gelingt ihnen durch extrem leistungsfähige Prozessoren und die Fähigkeit viele Informationen zwischenzuspeichern, wozu der Mensch in der Form nicht in der Lage ist (Fitts *u. a.*, 1951; Kornev, 2016).

6. Präzision

Ein wesentlicher Vorteil der Robotik gegenüber einer menschlichen Arbeitskraft ist die enorme Präzision. Auch bei längeren, monotonen oder schweren Tätigkeiten weisen Maschinen eine geringe Fehleranfälligkeit auf. Dieses Merkmal macht man sich nicht nur im Bereich der Produktion zu Nutze, wo es vor allem um sich wiederkehrende Aufgaben handelt, sondern ebenso im medizinischen Bereich. Mithilfe der roboterbasierten Chirurgie können sehr heikle Operationen mit einer entsprechend hohen Genauigkeit durchgeführt werden, wodurch sich wiederum neue Behandlungsmöglichkeiten eröffnen (Kenngott *u. a.*, 2016; Kornev, 2016).

7. Gefährliche Aufgaben

Es gibt viele Bereiche, in denen man Maschinen bereits heute mit dem Ziel einsetzt, Menschen vor möglichen Gefahrensituationen zu schützen. Durch die stets kostengünstigeren Sensoren und technischen Weiterentwicklungen, sowie ständig kompakteren Bauarten können viele neue Einsatzbereiche erschlossen werden. Mittlerweile werden Roboter beim Entsorgen von Atommüll, bei Rettungseinsätzen in Höhlen und unter Wasser, sowie im Weltraum eingesetzt (Kornev, 2016).

8. Physische Stärke

Eine der herausragenden Eigenschaften von Maschinen ist die Fähigkeit große Lasten handzuhaben. Gerade im Produktionsumfeld senkt das Heben schwerer Gegenstände durch Maschinen die Belastungen für den Menschen immens. Kornev (2016) weist darauf hin, dass bei anspruchsvollen physischen Aktivitäten die Ermüdungserscheinungen, in Relation zum Menschen, bei Maschinen nicht vorhanden sind. Macht man sich diese Eigenschaft in der Produktion zu Nutze, kann man die zu fertigenden Produkte wesentlich kostengünstiger herstellen, weshalb dies in der Vergangenheit auch ein wesentlicher wirtschaftlicher Grund war, Fertigungsanlagen zu automatisieren (Bauernhansl, Ten Hompel und Vogel-Heuser, 2014; Kornev, 2016).

9. Objektivität

Es ist unbestritten, dass Menschen Entscheidungen in der Regel anhand subjektiver Entscheidungsgrundlagen treffen. Nachdem sich Maschinen hingegen immer rational und auf Grundlage eines festgelegten Programms auf eine bestimmte Vorgangsweise festlegen, sind sie in Bezug auf dieses Merkmal klar im Vorteil. Eine interessante Studie (Quintanar, 2017) hat dies bestätigt, indem man den Vergleich bei der Ausstellung von Strafzetteln bei

Geschwindigkeitsübertretungen untersucht hat. Dabei wurde festgestellt, dass Maschinen jedes Vergehen objektiv betrachtet und dementsprechend geahndet haben. Polizeibeamte dagegen waren dazu geneigt, Strafzettel anhand subjektiver Entscheidungskriterien zu vergeben (Kornev, 2016).

10. Kognitive Fähigkeiten

Menschen sind hinsichtlich der Argumentationsfähigkeit, Beurteilungskraft und Problemlösungskompetenz nach wie vor besser als Maschinen. Es wird daher auch seit langem in diesem Bereich geforscht und versucht Verhaltensweisen des Menschen zu simulieren. Kornev (2016) beschreibt in dieser Hinsicht auch das Watson-Computersystem, welches vom Unternehmen IBM entwickelt wurde. Es ist in der Lage, Antworten auf in natürlicher Sprache gestellte Fragen zu liefern. Die Effizienz ist soweit ausgeprägt, dass es gegen erfahrene Personen in einer Quizshow gewinnen kann (Markoff, 2011). Dieses System ist auch fähig aus Beispielen zu lernen (machine learning). Man erhofft sich damit bessere Erfolgsquoten bei Behandlungen im medizinischen Bereich sowie bei juristischen Fragestellungen (Kornev, 2016).

4.3 Konzepte der Arbeitsteilung

4.3.1 Erwartungen und Voraussetzungen für die Arbeitsteilung

In Anbetracht der Vielzahl an Eigenschaften und Fähigkeiten von Menschen und Maschinen kann man einzelne Konzepte herausarbeiten und erste Aussagen über die zukünftigen Arbeitsweisen formulieren. Hinsichtlich der einzelnen Merkmale muss man sich stets die Frage stellen, unter welchen Voraussetzungen man die geforderten Aufgaben bestmöglich umsetzen kann. Dabei drängt sich das Thema der Arbeitsteilung besonders in den Vordergrund. Diese legt vor, welche Funktionen die Maschine aufgrund ihrer Stärken übernehmen sollte, welche Möglichkeiten und Grenzen die Automatisierung beeinflussen und wie die Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen gestaltet werden kann.

In Bezug auf die Frage, in welchen Bereichen Robotiksysteme eingesetzt werden sollten und bei welchen Arbeitsbereichen der Mensch nach wie vor dominieren wird, bietet die Auflistung von Fitts (1951) gute Anhaltspunkte. Aufgrund dieser Liste würde man zunächst annehmen, dass man lediglich jene Tätigkeiten automatisieren müsste, bei denen der Mensch Schwächen zeigt und die Maschine den Menschen übertrifft. Nach Fitts ist diese simplifizierte

Schlussfolgerung mit Problemen behaftet, da hier weitere Faktoren wie Motivation, Zufriedenheit, Selbstverständnis oder auch Ansehen von Bedeutung sind. In dieser Hinsicht muss man auch erwähnen, dass die Fähigkeiten der Menschen je nach Aufgabenbereich oftmals situationsabhängig sind (Lüdtke, 2015).

Ebenso wird in zahlreichen politischen Diskussionen der Faktor Mensch immer wieder in den Vordergrund gehoben und dies ist auch ein starkes Zeichen dafür, dass es ein steigendes Interesse der Gesellschaft gibt, den Menschen nach wie vor aktiv im Produktionssystem zu integrieren. Aber auch von Seiten der Forschung werden immer häufiger Konzepte entworfen, bei denen Menschen und Maschinen kollaborativ bzw. Seite an Seite arbeiten, um die geforderten Aufgaben zu lösen. Eine Möglichkeit diesen Herausforderungen zu begegnen, wäre es, für die diversen Aufgabenbereiche verschiedene Automatisierungsgrade zu verwenden. Ein Tätigkeitsbereich kann dabei vollkommen manuell ablaufen, ein anderer ist wiederum vollständig automatisiert. Es kann in diesem Zusammenhang daher auch von adaptiver Automatisierung gesprochen werden. Dennoch wird beim Betrachten der vielen möglichen Umsetzungsformen im Produktionsbereich eines sehr rasch klar: Eine Produktion ohne explizite Berücksichtigung des menschlichen Faktors kann nicht funktionieren. Gerade bei vollautomatisierten Fertigungssystemen muss der Mensch als Überwachungsorgan eingesetzt werden, um im Bedarfsfall einschreiten zu können (Lüdtke, 2015).

Auf ähnliche Weise hat Cummings (2014) versucht zu ergründen, wie man die Aufgaben zwischen Menschen und Maschinen möglichst effizient aufteilen kann (siehe Abbildung 4). Sie hat dabei drei verschiedene Charakteristika als Kriterium für eine sinnvolle Arbeitsaufteilung herangezogen. Im ersten Teil schreibt sie von „skill-based tasks“, also von Aufgaben, bei welchen definierte Fähigkeiten für die Umsetzung nötig sind. Des Weiteren handelt es sich hierbei um routinierte Tätigkeiten. In diesem Fall kann man sehr gut eine weitgehend automatisierte Strategie verfolgen. Als Beispiel nennt sie hier insbesondere das Transportwesen, im Speziellen geht sie hier wiederum auf den Autopiloten im Bereich des Flugzeugbaus ein, als auch auf selbstfahrende Lastkraftwagen im Bergbaubereich. Das zweite Kriterium beschreibt sie mit dem Begriff „rule-based tasks“. Damit sind Aufgabengebiete gemeint, wie bspw. gefährliche Tätigkeiten in Atomkraftwerken, bei denen exakte Regeln einzuhalten sind. Hier ist es natürlich von essentieller Bedeutung, dass diese Aufgaben mit einem mittleren Automatisierungsgrad umfassend geübt und getestet werden, ehe mit der praktischen Umsetzung begonnen werden kann. Das letzte Kriterium umfasst die sogenannten

„knowlegde-based tasks and expertise“. Dabei schreibt Cummings über Tätigkeiten, welche umfassendes Hintergrundwissen voraussetzen und deren Beurteilung von vielen Einflussfaktoren abhängt. Wesentliche Merkmale sind hierbei Flexibilität, Erfahrung als auch intuitives Handeln. Maschinen geraten dabei eher in den Hintergrund und spielen meistens eine unterstützende Rolle (Cummings, 2014; Kornev, 2016).

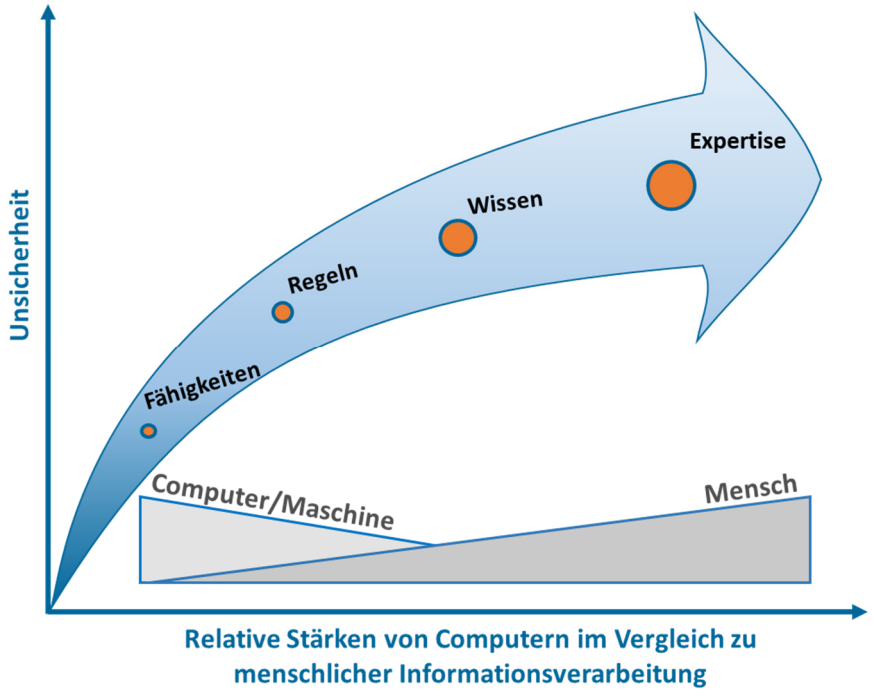

Abbildung 4: Aufgabenaufteilung - eigene Darstellung in Anlehnung an Cummings (2014)

Eine der sinnvollsten Überlegungen mit Blick auf die zukünftige Produktion ist die Kollaboration zwischen Menschen und Maschinen, ein Modell, bei dem der Mensch und die Maschine als Gesamtsystem betrachtet werden. Wie bereits beim Automatisierungsgrad beschrieben, versteht man unter diesem Gesamtsystem, dass Aufgaben gemeinsam bewältigt werden und Teilaufgaben dynamisch untereinander aufgeteilt werden (Lüdtke, 2015). Eine der dominierenden Themen in dem sog. Mensch-Maschine-Team ist die Kommunikation. Hierbei ist die intensive Nutzung von Informationstechnologien ein wesentlicher Faktor. Damit einhergehend wird auch daran geforscht, wie Automatisierungssysteme kooperierend agieren können. Dabei geht es vor allem um gemeinsame Problemlösungsfindungen auf Grundlage einer frühzeitigen Informationsbereitstellung (Lüdtke, 2015).

Im nächsten Schritt versucht man Konzepte zu entwickeln, bei denen Produktionssysteme Methoden verwenden, welche für die Arbeitskräfte nachvollziehbar sind. In dieser Hinsicht ist es auch von Bedeutung, dass Maschinen fähig sind, ihre Geschwindigkeit bei der Ausübung

ihrer Tätigkeiten den Menschen in ihrer Umgebung anzupassen. Hierbei ist man sich bewusst, dass damit zwar die Effizienz des Gesamtsystems leidet, aber gleichzeitig die Sicherheit erhöht wird (Lüdtke, 2015).

4.3.2 Klassifikationscluster

Um sich der tatsächlichen Umsetzung der zuvor besprochenen Herausforderungen zu nähern, bilden zunächst einige Fragen mit Fokus auf die Systemdynamik einen guten Ausgangspunkt (Lüdtke, 2015):

- Wer ist gerade für welche Aufgabe verantwortlich?
- Wer hat welche Informationen und wie werden diese untereinander ausgetauscht?
- Wer kann welche Aufgaben übernehmen?

Abbildung 5 zeigt eine Möglichkeit, wie man sich diesen Fragen nähern und für sich entscheiden kann, wie man eine sinnvolle Kooperation gestalten will. Die Grundlage für die weiteren Überlegungen in den folgenden angeführten Bereichen bietet stets ein Anforderungsprofil, eine Spezifikation, eine Implementation sowie eine Evaluation zu jedem Thema. Die vier verschiedenen Aspekte, welche man nun zur Lösungsfindung beleuchten muss, sind die Komposition, Kooperation, Interaktion sowie die Schnittstelle. Nachdem man sich mit diesen Bereichen intensiv beschäftigt hat, soll es möglich sein Aussagen über eine mögliche Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen zu treffen (Lüdtke, 2015).

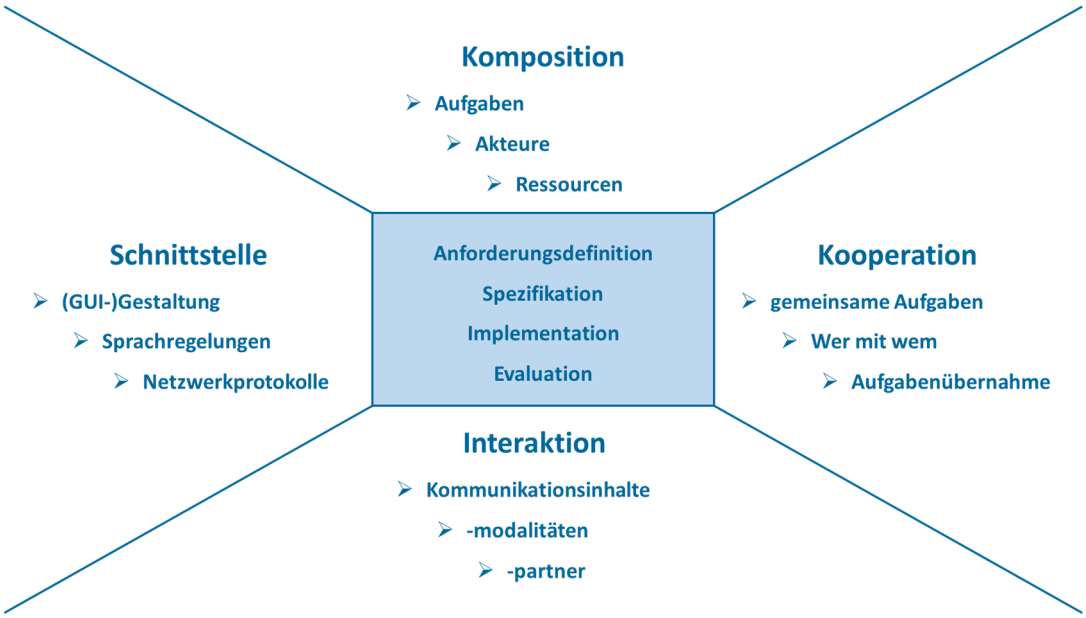

Abbildung 5: Aufgabenteilung - eigene Darstellung in Anlehnung an Lüdtke (2015)

Zunächst definiert man bei der Komposition die zu bearbeitenden Aufgaben und welche Akteure (sowohl Menschen als auch Maschinen) dafür nötig sind. Darüber hinaus spielt in diesem Bereich auch die Auseinandersetzung mit den notwendigen Ressourcen eine wesentliche Rolle. Im weiteren Verlauf wird bei der Kooperation ergründet, wer mit wem welche Aufgaben übernimmt. Dabei ist es auch von Interesse, ob Tätigkeiten gemeinsam ausgeführt werden oder ob diese getrennt voneinander bearbeitet werden sollen, aber auch wann eine Aufgabe während eines Prozesses an einen anderen Akteur übertragen werden soll (Lüdtke, 2015).

Die Interaktion wiederum befasst sich mit der Fragestellung, wer mit wem, über welche Inhalte und auf welche Art und Weise kommunizieren soll. Letzten Endes wird über die Schnittstelle entschieden, wie diese Interaktion umgesetzt werden kann. Hier geht es im Wesentlichen um die Interaktionsschnittstellen zwischen Mensch und Maschine, Mensch und Mensch als auch Maschine und Maschine sowie im Allgemeinen um die Gestaltung der Kommunikation sowie der Informationsbereitstellung (Lüdtke, 2015).

Aufgrund zahlreicher Innovationen und einer sehr umfassenden Fokussierung der Industrie im Entwicklungsbereich von Robotiksystemen, gibt es bereits heute eine Vielzahl von Anwendungsgebieten. Einige Unternehmen hofften am Beginn der Einführung von hoch entwickelten Robotern, dass der Mensch im Bereich der Fertigung eine untergeordnete Rolle einnehmen würde. Mit der breitenwirksamen Einführung der Automatisierung war es das vorrangige Ziel, die Produktion auf ein Maximum zu steigern. Dass diese Entwicklung auch ihre Schattenseiten mit sich bringt, mussten Unternehmen mehrfach erfahren, belegbar oftmals an einer hohen Zahl an Produktrückrufen. Wischmann (2015) zeigt am Beispiel des Unternehmens Toyota die Sensibilität der Automatisierung auf. Toyota hat sich im Jahr 2014 zum Ziel gesetzt, das Produktionsvolumen auf zehn Millionen Fahrzeuge zu steigern. Das damals ausgesprochene Ziel war gleichzusetzen mit einem Allzeitrekord in Bezug auf die Absatzmenge. Der zunehmende Grad der Automatisierung der Arbeitsprozesse schien zum Erreichen dieses Zieles die geeignete Lösung zu sein. Doch mit steigender Automatisierung traten vermehrt Qualitätsprobleme in der Fertigung auf (*Spiegel Online*, 2009; *Spiegel Online*, 2014). Um die hochgehaltenen unternehmensinternen Arbeitsprinzipien aufrecht erhalten zu können, musste man wieder einen scheinbaren Schritt zurück machen und den Menschen wieder verstärkt einbinden. Am Grundprinzip der verstärkten Automatisierung (Wischmann, 2015) der Produktionskette wollte man dennoch festhalten. Nichtsdestotrotz sollte sich bei der

technologischen Umsetzung einiges ändern. Es wurden wieder bewusst Mitarbeiter eingestellt, welche insbesondere darin geschult wurden, die Fertigungsprozesse besser zu verstehen. Sie sollten von nun an in der Lage sein, sämtliche Produktionsschritte selbst zu beherrschen und jede der Maschinen auch bedienen zu können. Damit sollten sie jene Fähigkeiten erlangen, um Prozesse zu verbessern, Fehler frühzeitig zu erkennen und in diesem Fall auch aktiv eingreifen zu können. Man hat bei Toyota sehr rasch erkennen müssen, dass eine Fabrik ohne Menschen zum heutigen Zeitpunkt nicht funktioniert und es in weiterer Folge bei Fehlern an systemrelevanten Bauteilen auch zu gefährlichen Situationen im Straßenverkehr kommen kann.

Diese Geschichte zeigt auf eindrucksvolle Art und Weise, wie wichtig es ist, die Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen genau zu hinterfragen. Linda Onnasch (2016) von der Humboldt-Universität zu Berlin beschäftigte sich intensiv mit diesen Fragestellungen und entwickelte dabei mit ihrem Team Interaktionstaxonomien der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit. Die Zusammenfassung ihres Einteilungsschemas wird in Abbildung 6 veranschaulicht. Dieses Schema umfasst die Interaktions-, Roboter- sowie die Teamklassifikation.

Dieses Einteilungsschema wird auch als Grundlage für die in Abbildung 27 (siehe Kapitel 6.4) gezeigte Canvas-Darstellung herangezogen. Diese Kategorisierung dient als Entscheidungshilfe und stellt ebenso eine gute Übersicht in Bezug auf die getroffenen Entscheidungen hinsichtlich der Neugestaltung des Arbeitsplatzes in Kapitel 6 dar.

4.3.2.1 Interaktionsklassifikation

Mit der Interaktionsklassifikation wird hierbei nach Onnasch, Maier und Jürgensohn (2016) die Abhängigkeit zwischen dem Menschen und der Maschine hervorgehoben. Diese Klassifikation gibt dementsprechend auch die hierarchische Struktur der Zusammenarbeit wieder. Unterteilt wird sie in die Interaktionsform zwischen dem Menschen und der Maschine als auch in die Interaktionsrolle des Menschen. Ersteres kann wiederum unterteilt werden in:

- Kollaboration
- Kooperation
- Ko-Existenz

Interaktionsklassifikation	Leitfragen	In welcher Rolle arbeiten Mensch und Roboter zusammen? In welchem Maße muss der Mensch eingreifen?
Interaktionsform		
Interaktionsrolle des Menschen		
Roboterklassifikation		In welcher Arbeitsumgebung wird der Roboter eingesetzt? Was sind seine Aufgaben? Wie wurde der Roboter in Bezug auf Autonomie umgesetzt?
Einsatzgebiet des Roboters		
Aufgabe des Roboters		
Morphologie des Roboters		
Autonomiegrad des Roboters		
Teamklassifikation		Wie genau sieht die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter aus?
Räumliche Nähe		
Zeitliche Nähe		
Teamzusammensetzung		
Kommunikationskanal		

Abbildung 6: MRI-Taxonomie - eigene Darstellung in Anlehnung an Onnasch, Maier und Jürgensohn (2016)

Die Kooperation und Kollaboration befassen sich mit einer tatsächlichen Interaktion zwischen Menschen und Maschinen. Es gibt aber auch zwischen den beiden Begriffen einen Unterschied. Bei der Kollaboration arbeitet der Mensch direkt mit dem Roboter zusammen. Dabei werden die Handlungen auch tatsächlich gemeinsam ausgeführt, wobei hier auch kein Sicherheitsabstand mehr eingehalten wird und auch keine Trennwände zum Schutz des Arbeiters bereitstehen. Diese Form der Zusammenarbeit nutzt die Synergien beider Rollen am stärksten. Die Zuteilung von Aufgaben kann hier situationsbedingt angepasst werden (Onnasch, Maier und Jürgensohn, 2016). Als Beispiel dazu ist hier eine Anwendung des Unternehmens Kuka im BMW-Werk Dingolfing zu nennen (siehe Abbildung 7). Es geht hierbei um die Manipulation schwerer Kegelräder für Vorderachsgetriebe. Für die Mitarbeiter bedeuteten die Arbeitsprozesse stets eine große körperliche Belastung, besonders aus ergonomischen Gesichtspunkten. Das relativ hohe Gewicht der Kegelräder kam dabei zusätzlich als erschwerender Faktor hinzu. Der eingesetzte Roboter hat in diesem Fall eine Traglast bis 14 kg und eine Reichweite von 820 mm. Für den Roboter stellt diese Art der Arbeit im Vergleich zum Menschen kein Problem dar (KUKA Systems & KUKA Industries, 2016; Kuka AG, 2018).

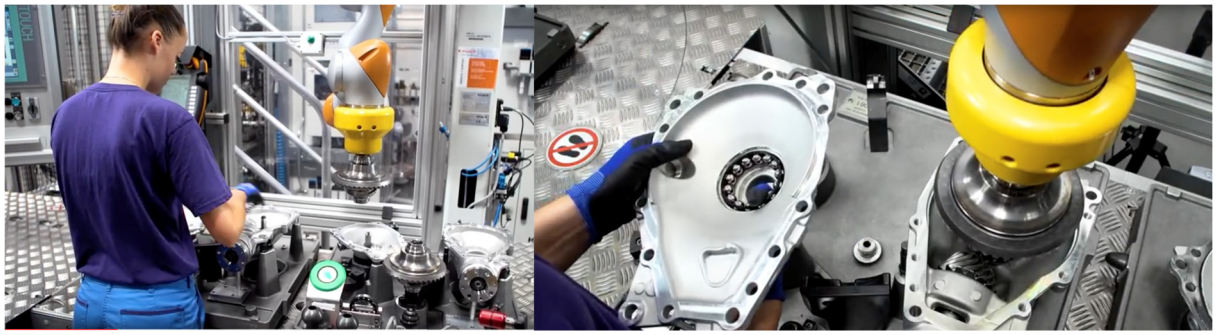

Abbildung 7: Sensitives Fügen von Kegelrädern im MRK-Betrieb (KUKA Systems & KUKA Industries, 2016)

Bei einer Kooperation wird in einer Zusammenarbeit mit einem Roboter ebenfalls auf ein gemeinsames Ziel hingearbeitet. Die Handlungen finden hier allerdings getrennt voneinander statt. Das bedeutet zwar nicht, dass ein Roboter zwangsweise hinter einem Schutzzaun verwahrt wird, sondern dass die Tätigkeiten nebeneinander und nicht wie bei der Kollaboration miteinander stattfinden. Beispielhaft ist in diesem Zusammenhang die Mensch-Roboter-Kooperation bei der Produktion eines VW Golfs im VW-Werk Wolfsburg (siehe Abbildung 8) (Onnasch, Maier und Jürgensohn, 2016; Pankow, 2016).

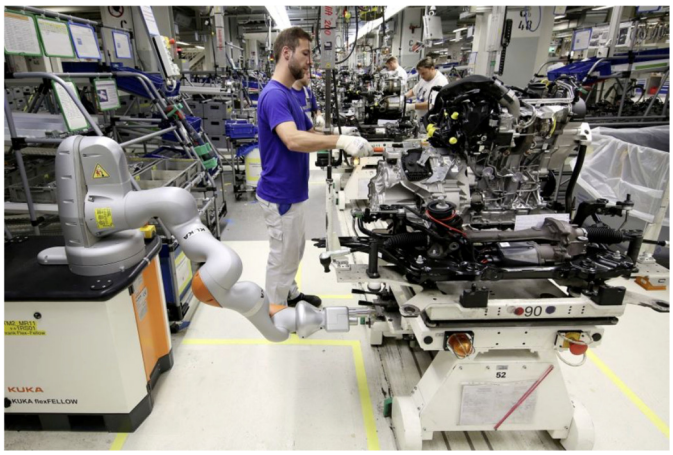

Abbildung 8: Kooperativer Roboter (Pankow, 2016)

Auch in diesem Fall stand bei der Entscheidung zur Einführung des kooperativen Roboters die Entlastung des Menschen und damit die Steigerung der Effizienz der Fertigung im Vordergrund. Bei diesem Beispiel verschraubt der Roboter eine Pendelstütze, welche an einer ungünstigen Position unterhalb des Triebsatzes montiert werden soll. Der Mitarbeiter arbeitet parallel dazu an der Verschraubung eines Starters und kann den Prozess nach wie vor steuern und überwachen. Diese Art der Zusammenarbeit wird sich mittelfristig sicher zu einem wichtigen Bestandteil im Bereich der Produktion entwickeln (Pankow, 2016).

Bei der Ko-Existenz findet keine unmittelbare gemeinsame Arbeit statt. Es kommt dabei lediglich zu unregelmäßigen räumlichen Kontakten. Es wird dabei ebenso wenig an einem gemeinsamen Ziel gearbeitet. Zur Veranschaulichung dieser Art der Zusammenarbeit dient am besten ein Transportroboter, wie er in Abbildung 9 dargestellt ist. Dieser autonome Transportroboter von Omron wird im Škoda-Werk in Vrchlabí eingesetzt. Dabei muss der Roboter ständig seine Umgebung im Blick haben. In diesem Kontext erkennt er die arbeitenden Menschen in seiner Umgebung genauso wie andere Fahrzeuge, die seinen Weg kreuzen (Onnasch, Maier und Jürgensohn, 2016; Weka Business Medien GmbH, 2018).

Abbildung 9: Ko-Existenz eines Transportroboters (Weka Business Medien GmbH, 2018)

Die Klassifizierung hinsichtlich der Interaktionsrolle des Menschen orientiert sich an der Beschreibung von Onnasch, Maier und Jürgensohn (2016) anhand fünf spezifischer Rollen, welche der Mensch im Rahmen der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit einnehmen kann.

Diese fünf spezifischen Rollen des Menschen heißen wie folgt:

- Supervisor
- Operateur
- Kollaborateur
- Kooperateur
- Nicht-Beteiligter

Der Supervisor hat die Aufgabe der Überwachung sowie das Weiterleiten von Anweisungen an die verschiedenen Robotiksysteme. Der Operateur hingegen ist für die Steuerung und die Kontrolle der Roboter zuständig. Ein Beispiel hierfür ist der in Abbildung 10 gezeigte Einbau von schweren Batterien in Elektrofahrzeugen (Daimler AG, 2016). Dabei werden die kognitiven Fähigkeiten des Menschen mit der Präzision einer Maschine kombiniert.

Abbildung 10: Beispiel eines Operateurs (Daimler AG, 2016)

Wie bereits zuvor beschrieben arbeitet der Kollaborateur direkt mit dem Roboter zusammen, während der Kooperateur unabhängig von diesem seine Aufgabe erfüllt. Die Rolle des Nicht-Beteiligten kann man wie die Situation bei der Ko-Existenz beschreiben. Der Mensch arbeitet zwar nicht direkt mit der Maschine zusammen, teilt sich aber trotzdem einen gemeinsamen Arbeitsbereich (Onnasch, Maier und Jürgensohn, 2016).

4.3.2.2 Roboterklassifikation

Der nächste große Faktor bei den Überlegungen hinsichtlich der Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen ist die Roboterklassifikation. Hier geht es ausschließlich um die Gestaltung des eingesetzten Roboters. Onnasch, Maier und Jürgensohn (2016) unterscheiden in diesem Kontext vier Bereiche:

- Aufgabe des Roboters
- Einsatzgebiet des Roboters
- Morphologie des Roboters
- Autonomiegrad des Roboters

Industrieroboter übernehmen heutzutage bereits sehr vielfältige Arbeitsbereiche und sie werden dort auch laufend weiterentwickelt. Um einen standardisierten Vergleich vornehmen zu können, werden die Roboter in fünf abstrakte Aufgabengebiete unterteilt (Onnasch, Maier und Jürgensohn, 2016):

1. Informationsaustausch

In diesem Fall geht es um die Informationsaufnahme als auch -abgabe der Maschine an den Menschen. Als Beispiel wird dabei ein unbemanntes Flugzeug angeführt.

2. Präzision

Hierbei geht es im Wesentlichen um Aufgaben, wie dem Einbau einer Batterie in einem Elektrofahrzeug oder etwa einem robotergestützten Eingriff im Bereich der Chirurgie.

3. Entlastung

In diesem Zusammenhang werden Roboter dafür verwendet, den Menschen aktiv bei schweren und ergonomisch ungünstigen physischen Arbeiten zu unterstützen.

4. Transport

Vielfach werden Roboter auch zum Transport von Waren von einem Ausgangs- zu einem gewünschten Zielort eingesetzt. Dieser Bereich liegt aktuell vor allem bei Logistikunternehmen und großen Versandhäusern sehr stark im Fokus.

5. Manipulation

In diesem Bereich geht es um die physische Veränderung der Umgebung. Als Beispiel wird hier ein Schweißroboter erwähnt.

Ein wesentlicher Umstand, wie man Roboter gliedern kann, ist natürlich auch die Definition des Einsatzgebietes. Am stärksten werden sie zurzeit nach wie vor in der Industrie eingesetzt. Es gibt allerdings auch vermehrt Entwicklungen hinsichtlich kommerzieller Services, indem Roboter bspw. im Reinigungsbereich für technische Anlagen ihre Anwendung finden. Ebenso werden sie bereits im persönlichen Service eingesetzt. Als Beispiel kann hierbei der immer häufiger eingesetzte Mähroboter angeführt werden (Onnasch, Maier und Jürgensohn, 2016).

Mit Blick auf die Roboterklassifikation muss ebenso die Morphologie betrachtet werden. Dabei kann ein Roboter dem Menschen nachempfunden sein und damit als humanoider Roboter eingesetzt werden. Es gibt aber ebenso Anwendungsgebiete, welche einer zoomorphen Gestalt der Maschine bedürfen. In diesem Zusammenhang ist eine Bauweise gemeint, welche sich an der Körperform von Tieren orientiert. Ein Beispiel für den Gebrauch dieser Systeme ist der Einsatz von Suchrobotern in Erdbebengebieten. Demgegenüber stehen rein funktionale Roboter. Bei ihnen wird die Form durch die Aufgabe bzw. die jeweilige Funktion selbst bestimmt (Onnasch, Maier und Jürgensohn, 2016).

Der Autonomiegrad ist ein weiterer entscheidender Aspekt im Bereich der Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen. Dazu vergleichen Onnasch, Maier und Jürgensohn (2016) die folgenden Bereiche:

- Informationsaufnahme
- Informationsanalyse
- Entscheidungsauswahl
- Handlungsausführung

Die verschiedenen zur Verfügung stehenden Systeme können auf Grundlage dieser unterschiedlichen Punkte hinsichtlich des Autonomiegrades auf einer Skala, welche von niedrig bis hoch eingeteilt wird, miteinander verglichen werden. Onnasch, Maier und Jürgensohn (2016) orientieren sich hierbei an einem allgemein verwendeten Modell (siehe Abbildung 11) von Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000).

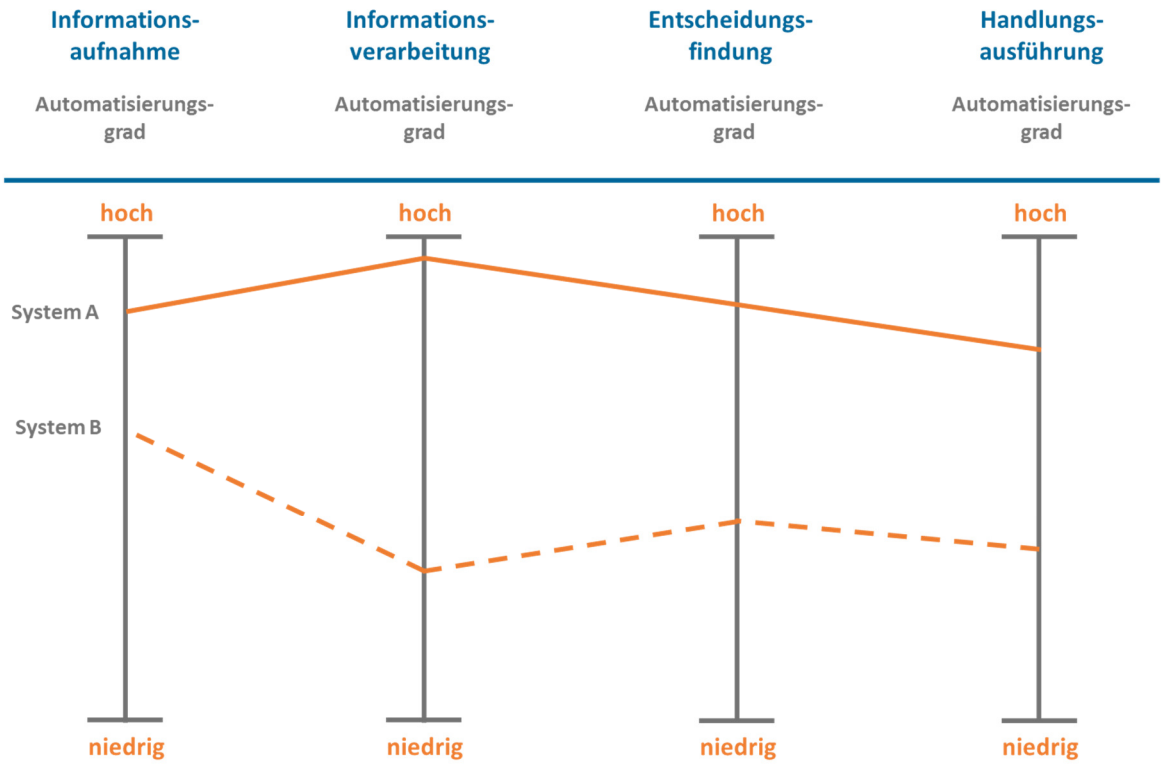

Abbildung 11: Veranschaulichung des Automatisierungsgrades hinsichtlich verschiedener Parameter - eigene Darstellung in Anlehnung an Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000)

4.3.2.3 Teamklassifikation

Die Teamklassifikation zeigt eine weitere wichtige Betrachtungsweise auf. Hier wird im Speziellen auf die Struktur der Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen eingegangen. Eine bedeutende Instanz nimmt dabei die räumliche Nähe ein. Onnasch, Maier und Jürgensohn (2016) beziehen sich bei der Einteilung dieses wesentlichen Faktors auf sechs durch Scholz (2002) beschriebene Ausprägungen:

1. Berührend

Bei einer berührenden Arbeitsweise findet eine direkte Interaktion statt. Es kann hier zu einem tatsächlichen physischen Kontakt kommen.

2. Annähernd

Bei dieser Art der Zusammenarbeit wird an einem gemeinsamen Arbeitsplatz gearbeitet. Auch wenn eine sehr nahe räumliche Entfernung besteht, kommt es nicht zu einem physischen Kontakt.

3. Führend

Diese Art der Zusammenarbeit wird als gemeinsame Arbeit mit einem stabilen physischen Kontakt zwischen Menschen und Maschinen über einen längeren Zeitraum beschrieben.

4. Vorbeigehend

In diesem Fall arbeitet die Arbeitskraft lediglich indirekt mit einem Roboter zusammen. Menschen und Maschinen verrichten hier ihre Tätigkeiten nebeneinander.

5. Vermeidend

Mit diesem Hintergrund versucht der Mensch den Kontakt mit dem Roboter zu vermeiden. Man nimmt bewusst einen bestimmten Abstand zur Maschine ein.

6. Ferngesteuert

Auch hier findet in der Regel kein direkter Kontakt statt. Der Mensch führt und kontrolliert den Roboter über Bedienungselemente, wie bspw. eine Fernsteuerung. Als Beispiel ist hier Abbildung 10 mit der gezeigten Arbeitssituation zu erwähnen.

Zusätzlich zur räumlichen spielt auch die zeitliche Nähe eine nicht unwesentliche Rolle. Onnasch, Maier und Jürgensohn (2016) haben hierbei eine Trennung in synchron sowie asynchron vorgenommen. Wird dabei von synchroner Zusammenarbeit gesprochen, so werden die jeweiligen Tätigkeiten des Menschen und der Maschine zur gleichen Zeit ausgeführt. Demgegenüber findet im Fall einer asynchronen Arbeitssituation die Umsetzung der Aufgaben zeitlich versetzt statt. Eine weitere Klassifizierungsmöglichkeit wird durch eine Charakterisierung der Teamzusammensetzung erreicht. In Anlehnung an Scholz (2002) findet dabei eine Unterteilung in drei unterschiedlich starke Ausprägungsformen statt:

- Es sind gleich viele Menschen wie Roboter an der Interaktion beteiligt: NM=NR
- Es sind mehr Menschen als Roboter vorhanden: NM>NR
- Die Anzahl der Roboter ist im Vergleich zu jener der Menschen höher: NM<NR

Der letzte anzusprechende Punkt bei der Teamklassifizierung ist der verwendete Kommunikationskanal. Hierbei geht es weniger um die verwendete Sensorik, sondern vielmehr darum, auf welche Art und Weise Informationen übertragen werden können. Der Roboter kann dabei Informationen auf folgende Arten übertragen (Onnasch, Maier und Jürgensohn, 2016):

- mechanisch
- akustisch
- visuell

Der Mensch ist ebenso in der Lage Informationen an den Roboter zu übertragen. Man unterscheidet dabei folgende Möglichkeiten (Onnasch, Maier und Jürgensohn, 2016):

- elektronisch
- mechanisch
- akustisch
- optisch

4.3.3 Sicherheit in der Mensch-Maschine-Interaktion

Bei der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) steht die Sicherheit des Menschen an erster Stelle. Um diese zu gewährleisten werden Normen und Richtlinien festgelegt. Mit der technischen Spezifikation ISO/TS 15066 (ISO Standard, 2016) wurde die erste Norm veröffentlicht, welche speziell MRK-Anwendungen betrifft. Im Folgenden werden hinsichtlich der räumlichen Nähe zwischen Menschen und Maschinen vier verschiedene Konzepte zur Erhöhung der Sicherheit betrachtet (ISO Standard, 2016; Sihn *u. a.*, 2016):

1. Sicherheitsüberwachter Halt

In diesem Szenario muss der Roboter sofort anhalten, sobald ein Mensch den gemeinsamen Arbeitsraum betritt (siehe Abbildung 12). Verlässt der Mensch den Bereich, fährt der Roboter wieder an.

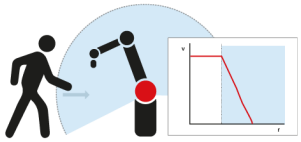

Abbildung 12: Sicherheitsüberwachter Halt (Sihn *u. a.*, 2016)

2. Handführung

Hierbei nutzt der Mensch die passive Kraft des Roboters. Dies wird durch direkten, manuellen Eingriff des Menschen am Roboter erwirkt (siehe Abbildung 13).

Abbildung 13: Handführung (Sihn *u. a.*, 2016)

3. Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung

In diesem Fall kommt es zur stufenweisen Reduktion der Geschwindigkeit des Roboters, sobald die räumliche Distanz zum Menschen sinkt (siehe Abbildung 14). Im Bedarfsfall kann die Geschwindigkeit des Roboters bis zum Stillstand gedrosselt werden.

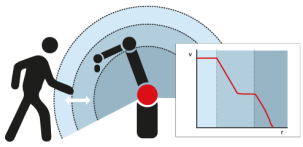

Abbildung 14: Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung (ISO Standard, 2016; Sihn *u. a.*, 2016)

4. Leistungs- und Kraftbegrenzung

Dabei geht es um die Begrenzung der vom Roboter aufgebrachten Kräfte. Sollte es in diesem Zusammenhang zu einer Kollision zwischen Menschen und Maschinen kommen, werden bleibende Verletzungen vermieden (siehe Abbildung 15).

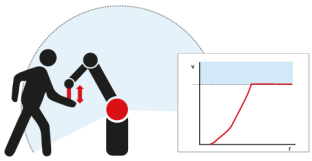

Abbildung 15: Leistungs- und Kraftbegrenzung (Sihn *u. a.*, 2016)

Neben diesen Konzepten werden zur Erhöhung der Sicherheit auch festgelegte Kraft- und Druckgrenzwerte empfohlen. Damit sollen zusätzlich Verletzungsrisiken minimiert werden (ISO Standard, 2016; Sihn *u. a.*, 2016).

Zusätzlich zur technischen Spezifikation ISO/TS 15066 gibt es noch weitere Normen, die den Umgang mit Maschinen regeln. Diese werden europaweit in A-, B- und C-Normen gegliedert. Die A-Norm definiert neben konstruktiven Gestaltungsgrundsätzen ebenso das Verfahren der Risikobeurteilung. Während B-Normen allgemeine Gestaltungsaspekte beschreiben, sind C-Normen äußerst maschinenspezifisch. C-Normen definieren in diesem Zusammenhang Maßnahmen zur Risikominimierung bei spezifischen Maschinen und Anlagen (Sihn *u. a.*, 2016). Abbildung 16 zeigt relevante Normen in Bezug auf MRK-Anwendungen.

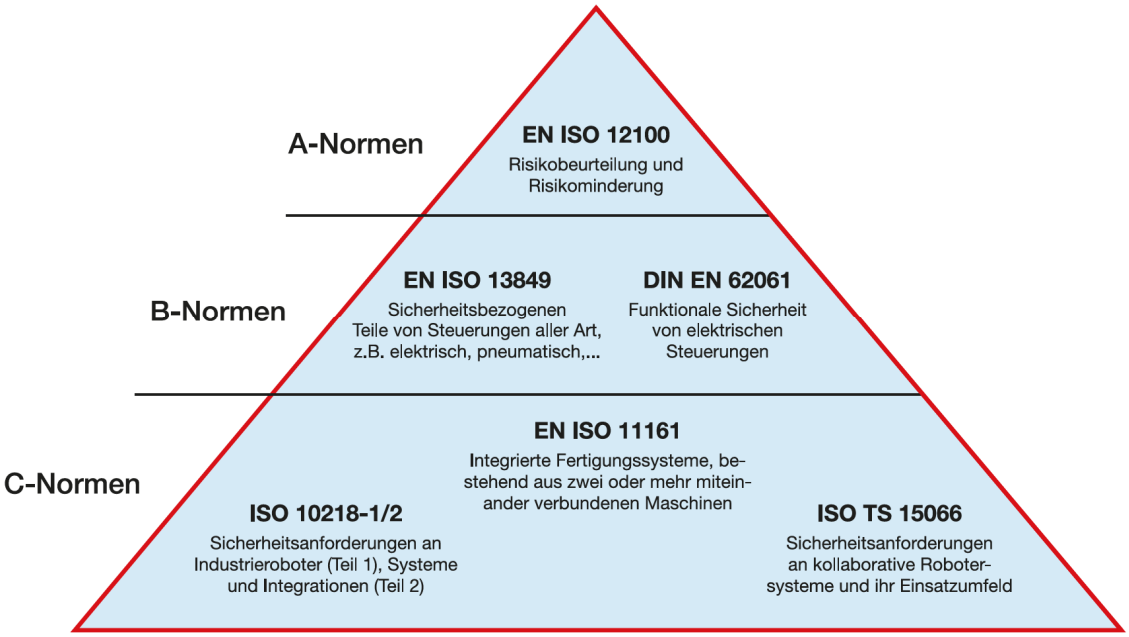

Abbildung 16: Relevante Normen hinsichtlich MRK-Anwendungen (Sihn *u. a.*, 2016)

5 Arbeitsanalyse

5.1 Modellierungskonzepte

Bevor neue Arbeitskonzepte in der tatsächlichen Produktionsumgebung eingeführt werden können, ist es sinnvoll diese zunächst zu modellieren, um allfällige Probleme frühzeitig zu entdecken. Damit hat man die Möglichkeit bereits im Vorhinein zu reagieren, um spätere Probleme zu vermeiden. Darauf aufbauend ist es möglich andere Verfahren wie Probandentests durchzuführen, um die Konzepte in der Realität miteinander zu vergleichen, die in weiterer

Folge zu richtungsweisenden Entscheidungen führen können. Dabei können verschiedene Modellierungsarten angewandt werden:

1. Modellierung von Aufgaben

Hierbei findet eine Zerlegung einzelner Aufgabenbereiche auf höhere Abstraktionsebenen in Teilaufgaben statt, bis nur noch einzelne konkrete Aktionen übrigbleiben, welche man beleuchten und hinterfragen kann. Damit wird eine Hierarche der Teilaufgaben geschaffen, welche daraufhin auf jeder einzelnen Ebene in zeitlichen Abhängigkeiten modelliert werden. In weiterer Folge besteht hier die Möglichkeit, sämtliche Teilaufgaben mit Informationen zu versehen, wie bspw. Häufigkeiten, Prioritäten oder Fehlerwahrscheinlichkeiten. Man erkennt dabei oftmals, dass die geforderten Ziele mit unterschiedlichen Mitteln erreicht werden können. Mit einer Modellierung bekommt man daher die Möglichkeit unterschiedliche Wege auszuprobieren und zu bewerten. Für die Umsetzung einer Aufgabenmodellierung stehen mehrere Werkzeuge zu Verfügung, unter anderem GOMS, HTA und CTA. Diese werden in Kapitel 5.3 näher beschrieben (Botthof und Hartmann, 2015).

2. Modellierung der Arbeitsdomäne

Es kann durchaus vorkommen, dass sich bestimmte Situationen nicht eindeutig beschreiben lassen. Nachdem es auch wichtig ist, insbesondere im Fehlerfall, kreative Vorgehensweisen zu entwickeln, muss man die Arbeitsdomäne gut verstehen und die Kommunikation an die menschlichen Akteure zielorientiert sein. Unter der Arbeitsdomäne definiert man den Prozess, welcher einer Überwachung und Steuerung bedarf, als auch das Mensch-Maschine-Team, welches diesen durchführt. Modelliert werden in dieser Hinsicht die Rahmenbedingungen, wie bspw. physikalische Gesetze, welche als Basis dienen, um ein höheres Ziel, wie das Erfüllen der Aufgabe, erreichen zu können (Botthof und Hartmann, 2015).

3. Modellierung von Menschen

Im Bereich der Modellierung ist es ebenso wichtig, die menschlichen Akteure zu berücksichtigen. Immerhin stehen sie in direkter Verbindung zu den bereits genannten Bereichen wie Schnittstellengestaltung und Mensch-Maschine-Interaktion. Es ist bedeutsam die Stärken, aber vor allem auch die Grenzen der menschlichen Fähigkeiten und Eigenschaften zu erfassen. Neben der mentalen und motorischen Arbeitslast spielen hier auch Eigenschaften wie die Wahrnehmung und Entscheidungsfindung eine wesentliche Rolle (Botthof und Hartmann, 2015).

4. Modellierung von Maschinen

In weiterer Folge ist es ebenfalls von Bedeutung die Maschinen zu modellieren. Mit der Kombination aus menschlichen und maschinellen Modellen auf Simulationsplattformen, kann die Interaktion zwischen Menschen und Maschinen simuliert und evaluiert werden. Hierbei gibt es verschiedene Ebenen der Formalisierung. Ein erster Modellierungsansatz ist eine textuelle Beschreibung der Annahmen, die erste Entwürfe beinhaltet. Hierbei gibt es ebenfalls die Möglichkeit der Anwendung einer formalen Beschreibung, wo die Annahmen klar definiert werden. Darauf aufbauend können Berechnungen durchgeführt werden und Vorhersagen getroffen werden (Botthof und Hartmann, 2015).

5.2 Allgemeine Vorgehensweise bei der Aufgabenanalyse

Um Modelle zur Beschreibung der Interaktion zwischen Menschen und Maschinen anfertigen zu können, ist es notwendig umfassende Arbeitsanalysen durchzuführen. Allgemein betrachtet handelt es sich dabei um eine systematische Informationsbeschaffung über eine Tätigkeit im Arbeitsprozess, welche geordnet und beurteilt werden kann. Die Zusammenarbeit von Menschen und Maschinen legt nahe, einen Produktionsprozess zu analysieren, indem Teilschritte von Aufgaben erfasst und zugehörige Zeitdauern bestimmt werden (Kauffeld und Martens, 2011; Hartner-Tiefenthaler und Schlund, 2017; Schlund, 2017).

Grundsätzlich läuft die Arbeitsanalyse stets nach einem bestimmten Muster ab. Hartner-Tiefenthaler und Schlund (2017) greifen dabei auf ein Modell von Kauffeld und Martens (2011) zurück (siehe Abbildung 17).

Abbildung 17: Grundsätzlicher Ablauf der Arbeitsanalyse (Hartner-Tiefenthaler und Schlund, 2017)

1. Festlegung der Untersuchungsziele

Bevor man einen Vorgang analysieren kann, ist es wichtig die Untersuchungsziele mit dem Arbeitgeber abzugleichen und diese genau zu definieren. Dies ermöglicht einen einheitlichen Gesamtüberblick über die Untersuchungseinheit für beide Parteien sowie die einzelnen Tätigkeiten in diesem Bereich.

2. Auswahl und Anpassung der Erhebungsinstrumente

Im nächsten Schritt ist es ratsam die einzelnen Analysemethoden miteinander zu vergleichen und das bestmögliche Werkzeug individuell auszuwählen. Hierbei ist es zweckmäßig das Analyseinstrument den vorherrschenden Gegebenheiten anzupassen.

3. Durchführung der Arbeitsanalyse

Hierbei wird die tatsächliche Arbeitsanalyse mit der zuvor gewählten Methode (z.B. HTA) durchgeführt.

4. Auswertung der gewonnenen Daten

Die im Rahmen der durchgeführten Arbeitsanalyse erhaltenen Daten müssen in der Folge ausgewertet, dokumentiert und grafisch aufbereitet werden.

5. Rückmeldung der Ergebnisse an die Organisation

Die gewonnenen Erkenntnisse und ermittelten Daten sind mit dem Auftraggeber bzw. der zuständigen Kontaktperson auszutauschen. Sie sollten gemeinsam diskutiert und anhand dessen Maßnahmen ergriffen werden.

6. Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen für die Organisation

Die erhaltenen Ergebnisse und Diskussionen dienen im Anschluss der Entwicklung von Gestaltungsmaßnahmen.

7. Einführung und Umsetzung der Gestaltungsmaßnahmen

Die auf Basis der untersuchten Ergebnisse festgelegten Maßnahmen gilt es in der Folge umzusetzen.

8. Evaluation der Gestaltungsmaßnahmen

Abschließend sollten die gesetzten Maßnahmen evaluiert werden, damit bei einer nochmals durchgeführten Arbeitsanalyse Erfolge oder mögliche Verbesserungen erkannt und gegebenenfalls neue Schritte gesetzt werden können.

Im weiteren Verlauf wird nun der theoretische Hintergrund zu den einzelnen Modellierungsmethoden beleuchtet. Ziel ist es, ein konkretes, passendes Modell für die darauffolgende Problemstellung zu finden, um mithilfe eines geeigneten Werkzeuges die ideale Umsetzung der geforderten Aufgaben in Kapitel 6 ermitteln zu können. Die folgenden Modelle basieren auf prozessorientierten Verfahren. Dabei steht eine Analyse der objektiven Bedingungen und Anforderungen der Arbeitssituation mit technologischen und organisatorischen Inhalten im Vordergrund. Der Nutzen und Zweck dieser Verfahren wird folgendermaßen definiert (Kauffeld und Martens, 2011; Hartner-Tiefenthaler und Schlund, 2017; Schlund, 2017):

- Vereinfachung der Arbeit
- Entwicklung von Normen
- Rationalisierung von Bewegung und Zeit
- Verbesserung der technischen Ausrüstung
- Verbesserung der Arbeitsabläufe

5.3 Methoden der Aufgabenanalyse

Um im Anschluss das praktische Beispiel analysieren zu können, werden zunächst die einzelnen Methoden der Aufgabenanalyse näher beschrieben.

5.3.1 GOMS-Modell

Das GOMS-Konzept steht im Englischen für „goals, operators, methods and selection rules“ (dt. „Ziele, Operatoren, Methoden und Selektionsregeln“) und dient dazu eine bestimmte Mensch-Maschine-Interaktion zu betrachten und zu hinterfragen. Das Konzept wurde im Jahr 1983 von Stuart Card, Thomas Moran und Allen Newell mit dem Buch „The Psychology of Human Computer Interaction“ (Newell, Card und Moran, 1983) vorgestellt. Nachdem in dieser Zeit die ersten Computer im Leben der Menschen Einzug hielten, rückte die Benutzerfreundlichkeit der Systeme in den Fokus. Damit einher ging die Entwicklung von Modellen zur Beschreibung und letztlich auch zur Weiterentwicklung von Bedienungsmöglichkeiten. Die Umsetzung ist auch auf andere technische Systeme, wie die

Mensch-Roboter-Interaktion übertragbar, wenngleich sie ursprünglich für Interaktionsbeziehungen zwischen Menschen und Computern entwickelt wurde (Schrepp und Held, 2010). Bei der GOMS-Methode erfolgt eine Einteilung in Ziele, Operatoren, Methoden und Selektionsregeln (Schrepp und Held, 2010):

1. Ziele

Die Ziele haben die Aufgabe zu beschreiben, was mit Hilfe des Benutzers erreicht werden soll. Um die gewünschten Ziele zu erreichen, ist es entscheidend, dass diese klar und deutlich formuliert werden.

2. Operatoren

Im Falle der Operatoren handelt es sich um elementare physische oder kognitive Prozesse, die zum Erreichen des zuvor definierten Ziels notwendig sind.

3. Methoden

Die Methoden beschreiben sogenannte Operator-Sequenzen, welche vom Ausführenden automatisch umgesetzt werden, um das gewünschte Ziel zu erreichen.

4. Selektionsregeln

Gibt es zu einem bestimmten Zeitpunkt unterschiedliche Möglichkeiten, um ein definiertes Ziel zu erreichen, bedarf es verschiedener Selektionsregeln. Damit soll zu jedem konkreten Zeitpunkt eine geeignete Methode zur Umsetzung der Aufgabenziele gefunden werden.

Das GOMS-Modell wurde zwischenzeitlich nach den Forschern Card, Moran und Newell benannt und wird in der Literatur daher auch als CMN-GOMS-Modell angeführt. CMN-GOMS ist die ursprüngliche Variante und bezeichnet eine erste lose Darstellungsform, wie man Ziele und hierarchische Subziele, Methoden und Operatoren bzw. Selektionsregeln formulieren kann. Basierend auf dem ursprünglichen CMN-GOMS-Modell entstanden im Laufe der Zeit drei weitere Modellentwicklungen, das Keystroke-Level-Modell (KLM-GOMS), das Natural GOMS-Language-Modell (NGOMSL), sowie das Cognitive-Perceptive-Motor-Modell (CPM). Diese drei Modelle werden nun in aller Kürze beschrieben (Drury, Scholtz und Kieras, 2007).

Das Keystroke-Level-Modell (KLM-GOMS) beschreibt eine vereinfachte Version von CMN-GOMS. Hier werden zunächst alle Sequenzen der physischen Operatoren bestimmt, welche zur

Durchführung der Aufgabe notwendig sind. Daraufhin werden alle Teilsequenzen der physischen Operatoren zu Gruppen zusammengefasst. Diese Gruppen beinhalten eine Folge von Operatoren, die ohne zusätzlichen kognitiven Aufwand in einer Sequenz ausgeführt werden. Zuletzt wird ein kognitiver Operator vor jeder Gruppe platziert. Für die anschließende Analyse kann daraufhin auf eine entsprechende Software zurückgegriffen werden (Schrepp und Held, 2010).

Eine ausführlichere Version von GOMS ist das sogenannte NGOMSL. Dieses Akronym steht für „natural GOMS language“, wo der Schwerpunkt auf eine natürliche Sprache gelegt wird. Ähnlich wie bei KLM und CPM-GOMS kann dieses Modell auch zur Vorhersage der Ausführungszeit genutzt werden. NGOMSL kann man sich als strukturierten und stilisierten Pseudocode vorstellen. Es ist eine Top-Down-Methode, bei welcher die Analyse mit den Zielen auf höchster Ebene beginnt und im nächsten Schritt die Aufgabe in Teilziele aufgebrochen wird. Für jedes Teilziel wird eine eigene Methode verwendet, was oftmals eine genauere Detaillierung notwendig macht. Auf der niedrigsten Ebene beinhalten die Methoden zumeist primitive Operationen, wie sie in der KLM-Methode angewandt werden (Drury, Scholtz und Kieras, 2007).

CPM-GOMS ist ein weiteres Modellierungsverfahren, wobei CPM neben „cognitive, perceptive und motor“ auch als „critical-path-method“ verstanden werden kann. Durch die Modellierung kann ein kritischer Pfad ermittelt und damit eine Vorhersage über die Aufgabenbeendigungszeit gemacht werden. Das CPM-Modell ist im Wesentlichen ein Zeitplan-Diagramm für ein bestimmtes Szenario mit den einzelnen Aktivitäten. Ein zusätzliches Szenario wird in einem weiteren Diagramm beschrieben, auch wenn sich einzelne Bereiche überlappen. Man spricht hier deshalb auch von einem zweiphasigen Prozess, bei dem zunächst eine allgemeine Beschreibung der Aufgaben vorgenommen wird und anschließend eine Erstellung des Zeitplandiagramms erfolgt. Das daraus resultierende Zeitplandiagramm bietet die Möglichkeit Aufgabenzeiten mit Blick auf den kritischen Pfad vorzunehmen (Drury, Scholtz und Kieras, 2007).

Das GOMS-Modell hat sich bei der Erstellung von Nutzungsmodellen bewährt. Es lassen sich daraus Aufwandsabschätzungen und Hypothesen ableiten. Nachdem diese Hypothesen a priori aufgestellt werden, weisen sie gegenüber explorativen Untersuchungen mit offenen Fragestellungen Vorteile auf. Demgegenüber können Einschränkungen im Hinblick auf die

Genauigkeit von Aufwandsschätzungen entstehen. Das GOMS-Modell ist ein vielversprechender Ansatz für die Modellierung von Mensch-Maschine-Interaktionen, wenngleich man mögliche Einschränkungen aufgrund selbst gelegter Systemgrenzen in Betracht ziehen muss (Bechstedt, Bengler und Thuering, 2005).

5.3.2 HTA-Modell

Das HTA-Modell verfolgt das Ziel, die gesetzten Aufgaben zu verstehen und zu verbessern. HTA steht für das englische Akronym „hierarchical task analysis“ (dt. hierarchische Aufgabenanalyse) und erfreut sich seit der Einführung aus verschiedenen Gründen großer Beliebtheit. Einer der Gründe liegt in der Flexibilität des Systems. So wird nach Stanton (2006) das HTA-Modell benutzt, um jede neue Generation technologischer Systeme zu beschreiben. Des Weiteren kann es für unterschiedlichste Themenstellungen verwendet werden. Dies reicht von einer Personalspezifikation über Trainingsanforderungen, Fehlervorhersagen, Teamleistungsbewertungen bis hin zu Systemdesigns. Diese Analyse wird durch recht wenige Regeln bestimmt, dennoch ist es für viele sehr oft eine interessante Methode, die effektiv angewendet werden kann. Während der grundlegende Ansatz in wenigen Stunden trainiert werden kann, wird allgemein anerkannt, dass der sensitive Einsatz der Methode unter fachlicher Anleitung einige Monate in Anspruch nehmen kann (Stanton, 2006).

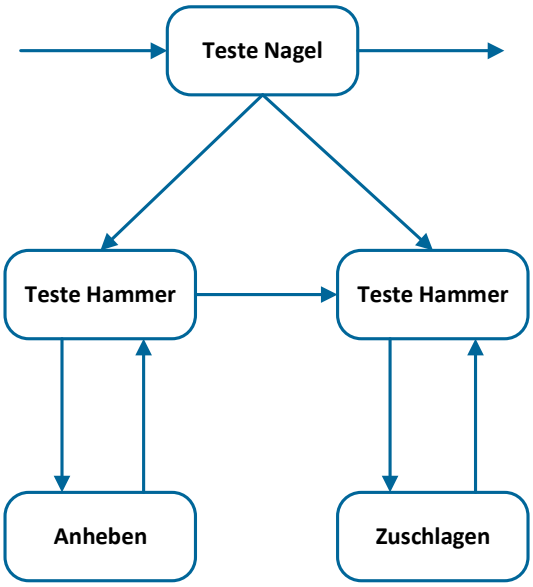

Abbildung 18: Hierarchische Gliederung - eigene Darstellung nach Miller, Galanter und Pribram (1960)

Als Beispiel für eine vereinfachte hierarchische Aufgabenanalyse gibt Stanton (2006) in seiner Publikation ein Beispiel von Miller, Galanter und Pribram (1960) an. Dabei geht es darum einen

Nagel in ein Stück Holz zu hämmern. Gezeigt werden soll damit das Verhalten und Vorgehen des Menschen bei dieser relativ einfachen Tätigkeit durch Zerlegen dieser in elementare Bestandteile (siehe Abbildung 18). In diesem Fall wird zunächst die Position des Nagels bestimmt. Ragt der Nagel noch aus dem Holz heraus, wird geprüft in welcher Stellung sich der Hammer befindet. Ist der Hammer angehoben wird mit diesem auf den Nagel geschlagen. Dieser Prozess wird nun solange wiederholt, bis der Nagel vollständig in das Holzstück gehämmert wurde.

Ähnlich wie bei der zuvor diskutierten GOMS-Methode werden die einzelnen Aufgaben bis zu einem bestimmten Grad in Teilaufgaben zerlegt. Dies erfolgt, wie der Name bereits erahnen lässt, hierarchisch. Bei einer vollständig ausgearbeiteten hierarchischen Aufgabenanalyse entsprechen sämtliche Teilaufgaben Knoten, welche im Idealfall auch die elementaren Teilaufgaben sind. Im Wesentlichen kann man das zuvor Geschriebene auch als Top-Down-Auflistung der (Teil-)Aufgaben verstehen. Nichtsdestotrotz gehen mit so einer einfachen HTA-Notation auch viele Daten verloren bzw. werden nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund wurde das einfache HTA-Modell über die Jahre hinweg kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert (Preim und Dachselt, 2015).

Die Beweggründe hierfür liegen oftmals auf der Hand. So kommt es vor, dass bestimmte Teilaufgaben wiederholt auftreten. Als Beispiel wird von Preim und Dachselt (2015) die mehrfache Eingabe einer Geheimzahl bei einem Bankautomaten erwähnt. Um dies zu berücksichtigen, wird bei der grafischen Darstellung das Zeichen „*“ beigefügt. Benyon und Turner (2005) gehen dabei einen Schritt weiter und fügen dem HTA-Modell sogenannte Pläne hinzu. Dabei handelt es sich um einen zusätzlichen HTA-Graphen mit einem Anfangs- als auch Endknoten. Ebenso wurde als Weiterentwicklung des HTA-Modells eine Vereinfachung durchgesetzt. Einzelne Schritte im Rahmen einer komplexen Aufgabe können damit übersprungen werden. Als Beispiel wird hier wiederum von Preim und Dachselt (2015) angeführt, dass bspw. Lohn- und Gehaltsabrechnungen im Einzelfall sehr komplex aufgebaut sein können, diese im Normalfall aber sehr einfach dargestellt werden sollten, damit die Aufgabenanalyse nicht jede Komplexität von Sonderfällen beinhaltet. Die vollständige Ausformulierung aller Teilaufgaben kann nämlich unter Umständen einen gewissen Rahmen sprengen und von der eigentlichen Untersuchung stark ablenken.

Eine weitere Idee ist, so wie es bspw. auch beim GOMS-Modell der Fall ist, die einzelnen Knoten mit Zeiten zu versehen, um an wichtige Erkenntnisse zu gelangen. Damit kann auch ein Performance-Modell erstellt werden. Diese stellen im Wesentlichen sämtliche (Teil-)Aufgaben mit Bezug auf die Bearbeitungszeit dar. Nachdem die Möglichkeit besteht, dass durch unterschiedliche Benutzer verschiedene Bearbeitungszeiten erreicht werden können, ist es teilweise von Vorteil Zeitintervalle anzugeben (Preim und Dachselt, 2015).

Wie nun anhand mehrerer Beispiele gezeigt wurde, hat sich eine Vielzahl an Forschern Gedanken über das HTA-Modell gemacht und dieses je nach Bedarf weiterentwickelt. Neville Stanton (2006) hat in seiner Publikation viele dieser Erweiterungen zusammengefasst und daraus Schlussfolgerungen abgeleitet. Als Hilfe bzw. Leitfaden für die Beschreibung der Teilaufgaben bzw. der Unterziele gibt er die Möglichkeit an, sich an bestimmte Fragen zu halten. Dazu erwähnt er einen halbstrukturierten Ansatz einiger Forscher, der in Tabelle 3 beschrieben wird.

Tabelle 3: Fragen zur Bestimmung von Unterzielen

Trainingsdesign (Piso, 1981)	Interface-Design (Hodgkinson und Crawshaw, 1985)	Job-Design (Bruseberg und Shepherd, 1997)
Was ist das Ziel der Aufgabe?	Was sind die sensorischen Inputs?	Wie fließen Informationen in der Aufgabe?
Welche Informationen werden für die Entscheidung zum Handeln verwendet?	Wie kann die Anzeige von Informationen verbessert werden?	Wann müssen Aufgaben erledigt werden?
Wann und unter welchen Bedingungen entscheidet sich die Person (das System) zu handeln?	Was sind die Anforderungen an die Informationsverarbeitung?	Was ist die zeitliche Beziehung von Aufgaben?
Was ist die Reihenfolge der durchgeführten Operationen?	Welche Art von Antworten ist erforderlich?	Was sind die physischen Einschränkungen bei Aufgaben?
Welche Konsequenzen hat das Handeln und welche Rückmeldungen gibt es?	Wie können die Steuerungseingaben verbessert werden?	Wo können und dürfen Fehler und Verzögerungen nicht toleriert werden?
Wie oft werden Aufgaben ausgeführt?	Welche Art von Feedback gibt es?	Wo ist Arbeitsbelastung inakzeptabel?
Wer führt die Aufgaben aus?	Wie kann das Feedback verbessert werden?	Wo ist Arbeitswissen für mehr als ein Aufgabenelement vorhanden?
Welche Arten von Problemen können auftreten?	Wie können die Umwelteigenschaften verbessert werden?	Wo benötigen unterschiedliche Aufgaben dieselben oder ähnliche Fähigkeiten?

Prinzipiell kann man sich nach Stanton (2006) in jeder Phase einer Neubeschreibung des Unterziels die oben genannten Fragen stellen. Die Fragen in den Studien über Trainings- und Jobdesign wurden mithilfe des vierstufigen Regelkreismodells der Performance (Piso, 1981; Stanton, 2006) entwickelt. Die einzelnen Phasen unterteilen sich hierbei in die Teilbereiche der Wahrnehmung, Entscheidung, Handlung und Bewertung. Mit diesem allgemeinen Modell ist es möglich alle Aufgaben zu beschreiben.

Stanton (2006) hat den generellen Ablauf einer HTA beschrieben. Eine leicht abgewandelte Form seiner Umsetzungsart wird in Abbildung 19 gezeigt. Diese dient auch als Anleitung zur Durchführung der HTA beim praktischen Beispiel in Kapitel 6. Bevor man mit der tatsächlichen Analyse beginnt, sollten vorab wichtige Details geklärt und definiert werden. Dazu sollten neben der Definition des Untersuchungszwecks auch die Systemgrenzen bestimmt werden. Dies ist von wesentlicher Bedeutung, da zu großzügig ausgelegte Grenzen eine detaillierte Analyse erschweren und es zu einer Überforderung der Aufgabe führen kann. Anschließend muss geklärt werden, welche Informationen gewonnen werden können und wie man diese in der Folge auswerten kann (Stanton, 2006).

Im Anschluss an diese grundsätzlichen Fragen beginnt die eigentliche Analyse. Hierzu muss zu Beginn das Gesamtziel definiert werden. Im nächsten Schritt wird das Gesamtziel sukzessive in Unterziele aufgegliedert. Dabei sollten nicht mehr als zehn Unterziele definiert werden, da sonst die Übersichtlichkeit leiden würde. Im nächsten Schritt sollte ein Plan zur Erfüllung dieser Ziele entworfen werden, bei dem alle Einflüsse und Forderungen berücksichtigt werden. Es sollten dabei auch alle Unterziele miteinander in Verbindung gebracht. Zudem sollte eruiert werden, wie sie sich gegenseitig beeinflussen. Anschließend kommt man bereits zu einer ersten Entscheidung. Hierbei sollte die bisherige Vorgehensweise überdacht und kritisch hinterfragt werden. Ziel ist es herauszufinden, ob die bisherigen Ausarbeitungen für die Analyse ausreichen und ob eventuell bestimmte Bereiche überarbeitet werden sollten. Ist die Phase der Entscheidung abgeschlossen, kommt man bereits zur nächsten Phase, bei der explizit weitere mögliche Unterziele betrachtet bzw. überdacht werden sollten. Falls eine weitere Planung notwendig sein sollte, ist es ratsam wieder zum Punkt der Definition der Unterziele zurückzukehren und die Analyse von dort aus nochmals durchzuführen (Stanton, 2006).

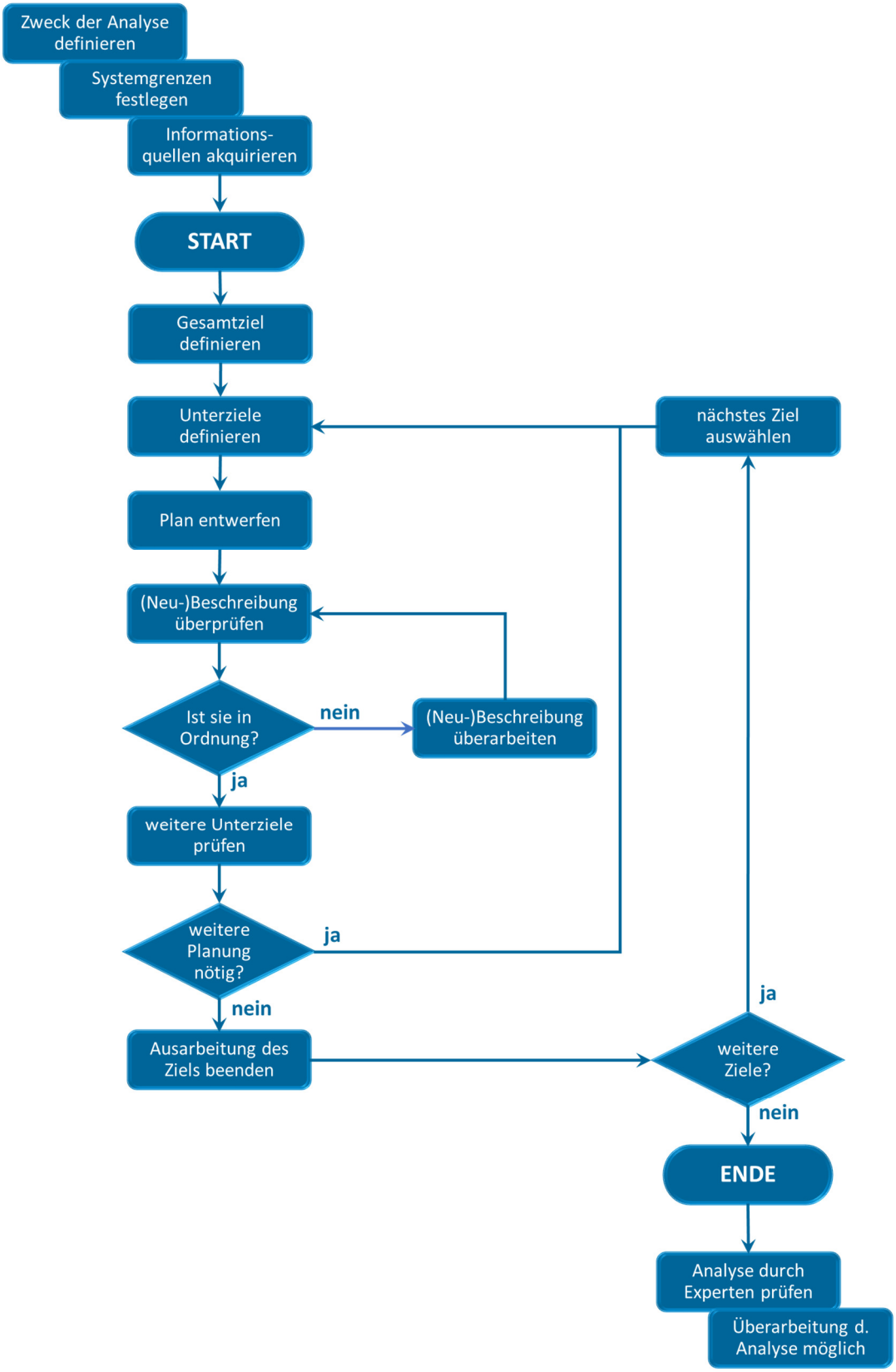

Abbildung 19: Hierarchische Aufgabenanalyse - eigene Darstellung in Anlehnung an die Beschreibung durch Stanton (2006)

Mit dieser Ausarbeitung schließt sich allmählich die HTA. Nach der vollständigen Analyse folgen noch zwei abschließende Punkte. Zum einen ist es in der Forschung stets wichtig die

gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse durch andere Experten überprüfen zu lassen. Es besteht bei Analysen durchaus die Gefahr einen Tunnelblick zu entwickeln und wichtige Punkte zu übersehen, die einer weiteren thematischen Auseinandersetzung bedürften. Sollten wichtige Erkenntnisse durch externe Forscher zu einer wesentlichen Änderung der HTA führen, wird zuletzt eine Überarbeitung der bestehenden HTA empfohlen (Stanton, 2006).

5.3.3 CTA-Modell

CTA bedeutet "cognitive task analysis" und ist eine Erweiterung traditioneller Aufgabenanalysemethoden, um Informationen über das Wissen, die Denkprozesse und die Zielstrukturen zu erhalten. Diese Analyse benutzt eine Vielzahl an Interview- und Beobachtungsstrategien, um eine Beschreibung der Durchführung von komplexen Aufgaben zu erhalten. Die Definition komplexer Aufgaben berücksichtigt die Integration von kontrolliertem und automatisiertem Wissen. Das kontrollierte Wissen umfasst ein bewusstes und konzeptuelles Verhalten. Im Gegensatz dazu steht das automatisierte Wissen, welches sich aus der unbewussten, prozeduralen bzw. strategischen Vorgehensweise zusammensetzt. CTA wird genutzt, um ausführliche Beschreibungen kognitiver Prozesse und Entscheidungen zu erhalten, auf deren Grundlage wiederum eine Beschreibung des konzeptuellen Wissens, der Verfahrensmöglichkeiten, der Leistungsziele sowie der Ausrüstung ermöglicht werden soll (Clark *u. a.*, 2008).

Cooke (1994) beschreibt in ihrer Publikation eine Übersicht von CTA-Methoden und unterteilt diese in drei Teiltechniken. Die erste Technik beinhaltet im Wesentlichen das Beobachten der Aufgaben durch Experten sowie mit ihnen geführte Gespräche. Die zweite Technik umfasst die Prozessverfolgung, wobei diese anhand eines Think-Aloud-Protokolls durchgeführt werden oder ein nachfolgender Rückruf eingesetzt wird. Der letzte Teilbereich beschäftigt sich mit dem Bereich konzeptioneller Techniken. Diese erzeugen strukturierte und zusammenhängende Repräsentationen relevanter Konzepte innerhalb eines Fachgebietes. Diese drei von Cooke genannten Familien-Techniken unterscheiden sich in ihrer Spezifität und Formalität. Dabei kann man feststellen, dass Beobachtungen und Interviews informell sind und diese dem Experten bei der Erhebung eine große Flexibilität erlauben. Prozessverfolgungsverfahren besitzen hingegen mehr Struktur, obwohl einige Analyseentscheidungen individuell vom Prüfer getroffen werden können. Des Weiteren sind konzeptionelle Techniken gut spezifiziert und in der Regel einem begrenzten Einfluss des Prüfers ausgesetzt. Hierbei erfordern formale

Methoden eine stärkere Schulung und produzieren quantitativ mehr Daten im Vergleich zu informellen Methoden (Cooke, 1994).

Wei und Salvendy (2004) beschreiben in einem Erweiterungsmodell eine vierte Form der Familien-Technik. Es geht dabei um ein formales Modell, welches die Simulation zur Modellierung von Aufgaben mit einem kognitiven Hintergrund beinhaltet. Hierbei werden praktische Richtlinien in Bezug auf die Verwendung von Klassifizierungen zur Auswahl geeigneter Techniken zur Zielerreichung benutzt.

Die meisten CTA-Methoden folgen, wie in Abbildung 20 gezeigt, bei der Umsetzung einem fünfstufigen Prozess (Clark *u. a.*, 2008):

- Vorkenntnisse sammeln
- Identifizieren von Wissensrepräsentationen
- Anwendung fokussierter Methoden zur Wissensgewinnung
- Analyse und Verifikation der erfassten Daten
- Formatierung der Ergebnisse für die beabsichtigte Anwendung

Abbildung 20: Vorgangsweise beim CTA-Verfahren

Die unterschiedlichen Kombinationen einzelner Techniken zeigen die Hauptunterschiede zwischen den einzelnen CTA-Methoden auf. Im weiteren Verlauf werden zwei dieser Methoden näher erklärt (Clark *u. a.*, 2008).

1. Konzepte, Prozesse und Prinzipien

Das Sammeln von Konzepten, Prozessen und Prinzipien (in Kurzform CPPs – steht für „concepts, processes and principles“) besteht aus einer mehrstufigen Interviewtechnik, die das automatisierte und unbewusste Wissen erfasst. Das erste Interview ist ein halbstrukturiertes und beginnt mit einer Beschreibung des CTA-Prozesses durch den Analytiker. Ein Fachexperte wird daraufhin hinzugezogen und aufgefordert, die Ausführungsreihenfolge aller wichtigen Teilaufgaben aufzulisten, die notwendig sind, um die eigentliche Aufgabe auszuüben. In weiterer Folge helfen Fachexperten durch kritisches Hinterfragen hinsichtlich der Bewältigung der Arbeitsprozesse und Aufzeigen von zumindest fünf authentischen Problemen. Diese

Probleme können sehr einfach aber auch hochkomplex sein. Die sich ergebende Abfolge von Aufgaben wird zum Umriss für das zu erstellende Training oder die Jobbeschreibung, die nach dem CTA erstellt wird (Clark *u. a.*, 2008).

Das Interview beinhaltet dabei folgende Themenstellungen (Clark *u. a.*, 2008):

- die Abfolge der Aktionen (oder Schritte), die zum Abschließen der Teilaufgabe erforderlich sind.
- die Entscheidungen, die getroffen werden müssen, um die Teilaufgabe zu vervollständigen. Hierzu zählen der Zeitpunkt der Durchführung sowie zu berücksichtigende Alternativen und Kriterien, die für die Entscheidung zwischen den Alternativen verwendet werden.
- alle Konzepte, Prozesse und Prinzipien, welche die konzeptionelle Grundlage für den Ansatz der Experten für die Teilaufgabe bilden.
- die Bedingungen bzw. auslösenden Ereignisse, die auftreten müssen, um die richtige Prozedur zu starten.
- die erforderlichen Geräte und Materialien.
- die sensorischen Erfahrungen, die erforderlich sind (z. B. der Analytiker fragt, ob der Experte zusätzlich zu dem Sehen oder Hören von Hinweisen etwas riechen, schmecken oder berühren muss, um die Teilaufgabe durchzuführen).
- die erforderlichen Leistungsstandards wie Geschwindigkeit, Genauigkeit und Qualitätsindikatoren.

Für jeden der hinzugezogenen Fachexperten wird hierbei dasselbe Interview herangezogen, um eine entsprechende Vergleichbarkeit zu gewährleisten (Clark *u. a.*, 2008).

2. Kritische Entscheidungsmethode

Die kritische Entscheidungsmethode (in Kurzform CDM – steht für „critical decision method“) ist eine semi-strukturierte Interviewmethode. Sie verwendet kognitive Tests, um die Grundlagen für die Situationsbewertung und Entscheidungsfindung während kritischer, nicht routinemäßiger Vorfälle zu untersuchen. Bei den Expertenentscheidungen spielt hierbei insbesondere das Situationsbewusstsein eine relevante Rolle. Die Geschwindigkeit, mit der die Entscheidungen getroffen werden, verdeutlicht, wie Experten wichtige Hinweise, situative Dynamiken, unbewusst erreichbare Ziele, Handlungsabläufe und Ähnliches beurteilen. Um dabei zu Informationen zu gelangen, wird bei CDM ein retrospektiver und fallbasierter Ansatz verwendet. Dazu werden mehrere Durchläufe durchgeführt, wobei man zunehmend ins Detail

geht. Bei diesem Verfahren beginnt man mit der Auswahl eines kritischen Vorfalls. Dieser stammt aus der Erfahrung eines Experten. Im Anschluss daran liefern die involvierten Experten unstrukturierte Berichte über den Vorfall. Daraus wird in weiterer Folge eine Zeitleiste erstellt. Als nächstes werden durch den Analytiker mit Hilfe des Experten bestimmte Punkte auf dieser Zeitleiste bestimmt, an denen Entscheidungen stattgefunden haben. Nun werden diese Punkte als Fälle definiert, nachdem hier auch andere Handlungsoptionen möglich sind. Im nächsten Schritt geht man nun näher ins Detail und untersucht die Fälle unter Einbeziehung bestimmter Fragestellungen (Clark *u. a.*, 2008).

Diese Fragen sollen Erkenntnisse hervorbringen und dabei (Clark *u. a.*, 2008):

- die Wahrnehmungsmerkmale, die bei der Entscheidung maßgebend waren,
- das Vorwissen, das genutzt wurde,
- die betrachteten Ziele,
- die Entscheidungsalternativen,
- andere Situationsbewertungsfaktoren klären.

Diese angewendete Methode muss schließlich analysiert, verifiziert und validiert werden. Nachdem CTA-Verfahren in ihrer Struktur, Formalität und den Ergebnissen variieren können, müssen die Ergebnisse für diese weiteren Schritte aufbereitet bzw. formatiert werden. Dazu werden sämtliche gesammelten Informationen genutzt, wie bspw. aufgezeichnete Interviews mit den Experten. Nach der beendeten Analyse können die Ergebnisse zu Präsentations- und Erklärungszwecken zusammengefasst und die Problemlösungen beschrieben werden (Clark *u. a.*, 2008).

Nachdem sich das praktische Beispiel in Kapitel 6 erst in der Planungsphase befindet, kommen im Folgenden lediglich das HTA- und GOMS-Verfahren zur Anwendung. Das CTA-Modell könnte allerdings zu einem späteren Zeitpunkt des Projektes weitere aufschlussreiche Informationen liefern.

6 Aufgabenanalyse der Neugestaltung einer Verpackungsstation

6.1 Projektbeschreibung und Interessen des Unternehmens

In diesem Kapitel wird eine Umstrukturierung bzw. Neugestaltung eines herkömmlichen Arbeitsplatzes in der industriellen Fertigung beschrieben. Im Konkreten geht es um eine Verpackungsstation, bei der zuvor Baugruppen aus einem sog. Nutzen geschnitten, danach die einzelnen Baugruppen auf ihre Funktionstüchtigkeit gescannt und daraufhin in einem Kleinladungsträger verpackt werden. Ziel ist es, basierend auf den theoretischen Grundlagen der zuvor diskutierten Aufgabenanalyseverfahren, konkrete Aussagen über die Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen im Bereich der Fertigung zu treffen. Im Mittelpunkt dieser Überlegungen stehen die möglichen Vorteile aus Sicht des Unternehmers (Groover, 2001). Dazu wird zunächst der aktuelle Arbeitsablauf der Verpackungsstation abgebildet und anschließend ein neuer Lösungsweg zur Produktivitätssteigerung des Arbeitsplatzes aufgezeigt.

Der beschriebene Arbeitsplatz ist einem realen Arbeitsplatz nachempfunden, dessen Neugestaltung sich aktuell in der Planungsphase befindet. Es sollen neue Ideen ergründet und ihr Potential zur Produktivitätssteigerung geprüft werden. Dabei erfolgt die nachfolgende Aufgabenanalyse unabhängig von den bisherigen Planungen des Unternehmens.

6.2 Ziele aus Sicht des Unternehmens

Bei der Neugestaltung des Arbeitsplatzes gilt es folgende Herausforderungen und Ziele des Unternehmens hinsichtlich der Effizienz der Anlage zu berücksichtigen:

- Die Produktivität umfasst vor allem den zeitlichen Faktor. Hiermit soll sichergestellt werden, dass mit der künftigen Lösung die Tätigkeiten mindestens gleich schnell oder rascher bewältigt werden können.
- Ein weiteres Ziel besteht in der Reduktion von den durch die Anlage verursachten Kosten.
- Die neue Lösung muss mit den vorhandenen Platzverhältnissen auskommen. Sie soll in die bestehende Betriebshalle integriert werden können und soll keine weiteren Umbaumaßnahmen benötigen.

- Ein weiterer Aspekt ist die Entlastung der Mitarbeiter. Dabei geht es in erster Linie um sich ständig wiederholende Arbeitsschritte, welche für die Mitarbeiter sehr ermüdend sind.

6.3 Beschreibung des manuell geführten Arbeitsplatzes

An diesem Arbeitsplatz sind zurzeit zwei Personen mit dem Trennen, Scannen sowie Verpacken der Baugruppen beschäftigt. Die beiden Personen wechseln sich im Rahmen einer Selbstorganisation flexibel innerhalb ihres Tätigkeitsfeldes ab.

Folgende Arbeitsschritte (die Ziffern der Aufzählung nehmen Bezug auf die Abbildung 21) waren Teil des bisher manuell geführten Arbeitsplatzes:

1. Bereitstellen der zusammenhängenden Baugruppen in Form eines Nutzens
2. Trennen der Baugruppen
3. Bereitstellen leerer Trays
   Ablegen einzelner Baugruppen in Trays
4. Entnahme einzelner Baugruppen aus Trays
   Baugruppen einzeln scannen
5. Bereitstellen leerer Trays
   Baugruppen sortiert nach Gut- und Schlechtteilen in einem leeren Tray ablegen
6. Bereitstellung eines leeren Kleinladungsträgers (KLT) ohne Deckel
   Bereitstellung der dazugehörigen Deckel
   Fünf mit Baugruppen gefüllte Trays in jeweiligem KLT ablegen
   KLT mit Deckel verschließen
   Etikettieren des KLT
7. Verbringen der etikettierten KLT

Abbildung 21 zeigt schematisch den Aufbau des manuell geführten Arbeitsplatzes. Wie gerade in der zuvor erstellten Aufzählung werden hier an der ersten Station (Bereich 1) die Nutzen mit den zusammenhängenden Baugruppen auf einer Arbeitsfläche bereitgestellt. Im nächsten Arbeitsschritt (Bereich 2) werden die einzelnen Baugruppen getrennt und anschließend in zur Verfügung stehenden Trays abgelegt (Bereich 3). Daraufhin werden die Baugruppen vom zweiten Mitarbeiter einzeln aus den Trays entnommen und gescannt (Bereich 4). Im weiteren Verlauf werden die Baugruppen in Gut- und Schlechtteile sortiert und in den jeweiligen Trays abgelegt (Bereich 5). Anschließend werden die sortierten Trays zu je fünf Stück in

Kleinladungsträgern platziert (Bereich 6). Der nächste Arbeitsschritt beinhaltet das Verschließen der Kleinladungsträger mit den bereitgestellten Deckeln (Bereich 6). Daraufhin wird der Kleinladungsträger entsprechend etikettiert (Bereich 6), im Anschluss daran an einem vorgesehenen Platz zwischengelagert (Bereich 7) und folglich zur nächsten Arbeitsstelle verbracht.

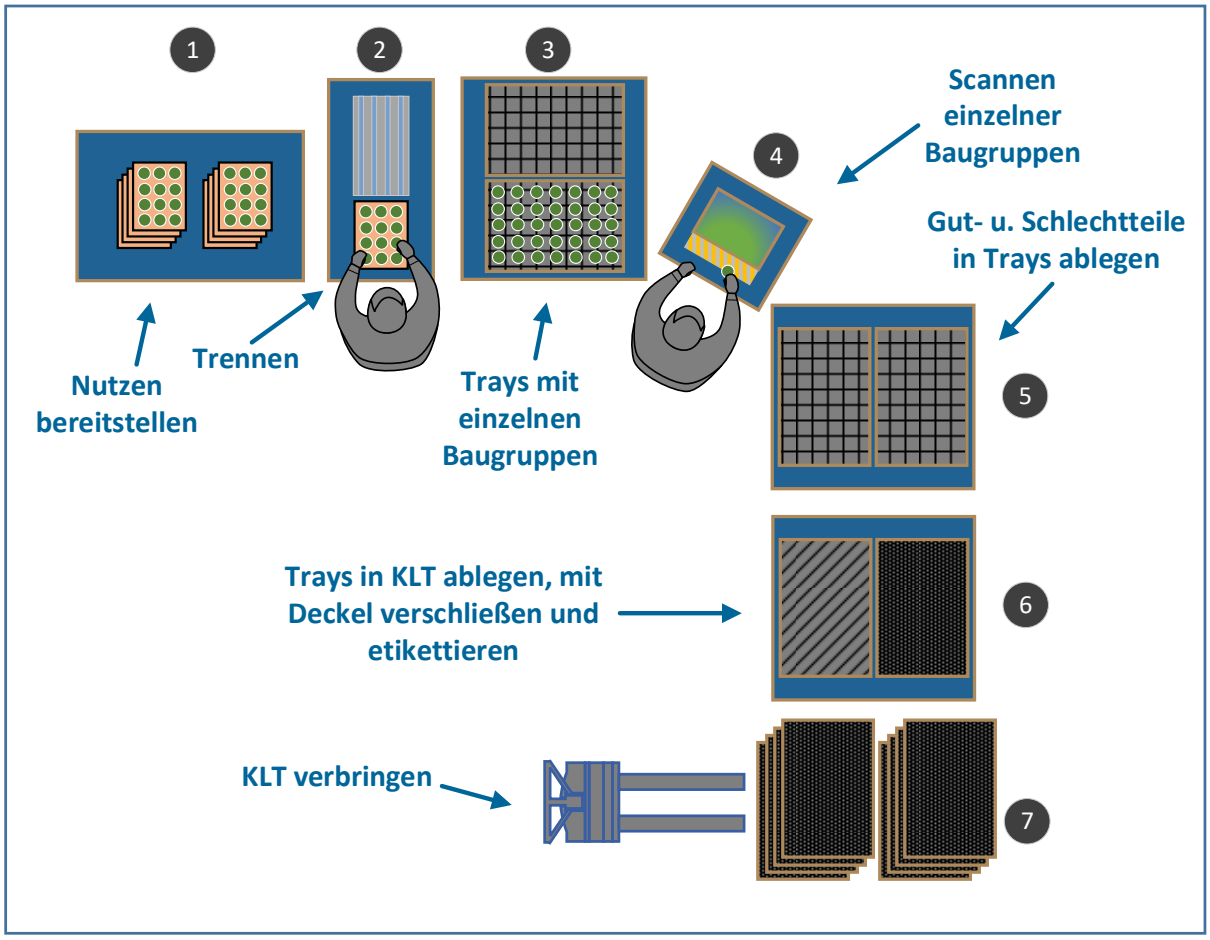

Abbildung 21: Abstrahierte Darstellung des manuell geführten Arbeitsplatzes

6.3.1 HTA-Verfahren zum manuell geführten Arbeitsplatz

Mittels HTA-Verfahren wird zunächst die manuell geführte Arbeitsstelle untersucht. Es sollen mögliche Schwachstellen ergründet und die Umsetzung mit einem Roboter geprüft werden. Dabei wird entsprechend den theoretischen Grundlagen des Kapitels 5.3.2 gehandelt. Im Zuge des durchgeführten HTA-Verfahrens müssen zunächst die Systemgrenzen festgelegt werden. Diese sind durch die räumliche Vorgabe und die oben genannten Forderungen des Auftraggebers definiert. Mit Blick auf die Definition des Gesamtziels richtet sich der Fokus vornehmlich auf die Steigerung der Produktivität des Arbeitsplatzes.

Nach dem Sammeln von Informationen und dem Beschreiben des Arbeitsablaufes wird nun eine detaillierte Auflistung des Gesamtziels mit dazugehörigen Unterzielen angefertigt. Die Unterziele beschreiben hier den Plan des Arbeitsprozesses sowie die für die Umsetzung der Aufgaben notwendigen Tätigkeiten. Tabelle 5 beinhaltet im Folgenden die Auflistung sämtlicher Tätigkeiten bzw. Ziele der manuellen Vorgangsweise mit den dazugehörigen Bedingungen. Die HTA-Tabellen wurden angelehnt an das Programm „TaskArchitect“ erstellt (TaskArchitect 3.1).

Mit Blick auf die folgenden Tabellen sei hier kurz auf eine Erklärung der Symbole bei den Bedingungen hingewiesen. Die folgende Darstellung wird wie folgt unterschieden:

„1 / 2“ - Tätigkeiten 1 und 2 werden in beliebiger Reihenfolge abgearbeitet.

„1 > 2“ - Tätigkeiten 1 und 2 erfolgen nacheinander.

„1 + 2“ - Tätigkeiten 1 und 2 erfolgen parallel zueinander.

„1 : 2“ - Es kann entweder Tätigkeit 1 oder 2 zwei durchgeführt werden.

Abbildung 22 zeigt die grafische Darstellung der HTA-Methode. Im Vergleich zu Tabellen bieten Abbildungen oftmals eine detailgetreuere Sicht in Bezug auf die umgesetzten Aufgaben. Entsprechende Symbole sollen dafür sorgen, dass die grafische Darstellung möglichst einfach und übersichtlich dargestellt wird. Eine Beschreibung über die Bedeutung der jeweiligen Symbole kann Tabelle 4 entnommen werden.

Die Gliederung der Aufgabe in eine hierarchische Struktur spiegelt den Grundgedanken der HTA wider. Die folgenden Darstellungen sollen dazu beitragen, aufschlussreiche Informationen über die Sinnhaftigkeit von potentiellen Robotereinsätzen zu erlangen. Die praktische Umsetzung der HTA orientiert sich hierbei an den von Dietsch (2013) beschriebenen Ansätzen.

Tabelle 4: Bedeutung der verwendeten Symbole in Anlehnung an Dietsch (2013)

Symbol	Bedeutung
Verpackung von Baugruppen/ Platinen	Damit wird die Aufgabe definiert, welche analysiert werden soll.
Platine in Gutteile-Tray ablegen	Hiermit sind Teilaufgaben bzw. Teilziele gemeint.
	Dieses Symbol zeigt ein logisches „UND“. Alle damit verknüpften Teilaufgaben müssen umgesetzt werden.
	Hiermit wird ein logisches „ODER“ symbolisiert. Hierbei gilt die Bedingung, dass mindestens eine darauffolgende Aufgabe durchgeführt werden muss.
	Dieses Symbol bedeutet, dass die erste Aufgabe eine Voraussetzung für die Durchführung der nächsten Aufgabe ist.
	Dieser Bereich gibt an, dass es sich um einen Informationsaufnahmeprozess handelt.

Um eine bessere Übersicht der einzelnen Arbeitsprozesse zu erhalten, werden diese bei der folgenden HTA in drei Teilbereiche zusammengefasst. Der erste Teilbereich umfasst die Arbeitsvorbereitung (Bereich P1 in Tabelle 5). Hier geht es vor allem um die Bereitstellung von Kleinladungsträgern, Trays sowie Deckel. Dieser Bereich umfasst noch nicht direkt den untersuchten Arbeitsprozess, ist aber dennoch die Vorstufe dazu und wird daher auch in vollem Umfang berücksichtigt. Kleine Änderungen in diesem Bereich können schließlich zu Auswirkungen auf alle folgenden Arbeiten führen. Der nächste Teilbereich beschreibt den Hauptprozess und wird mit der Bezeichnung „Handlungen am Arbeitsplatz“ deklariert (Bereich P2 in Tabelle 5). Dieser umfasst neben dem Scannen der Baugruppen ebenso das Ablegen dieser in die Trays. Das Platzieren der Trays im Kleinladungsträger und das Verschließen mit einem Deckel runden diesen Prozess ab. Im letzten Teilbereich, der sogenannten Nachbereitung, wird jeder Kleinladungsträger etikettiert und anschließend zum nächsten Arbeitsplatz verbracht (Bereich P3 in Tabelle 5).

Tabelle 5: HTA - manueller Arbeitsplatz

HTA - Methode: Gesamtziel mit Unterzielen und Bedingungen						Möglichkeiten/Notiz	Arbeitsreihenfolge / Bedingungen
	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4	Ebene 5		
P 0	**Verpackung von Baugruppen - Manueller Arbeitsplatz**						
P 1	Arbeitsvorbereitung						P 1 : P 2 : P 3
P 1.1		Bereitstellung leerer KLT				manuell	P 1.1 > P 1.2
P 1.2		Bereitstellung KLT mit Trays				manuell	
P 1.2.1			Tray aus bereitgestelltem KLT zum Ablegen der Baugruppen bereitstellen			automatisierbar	P 1.2.1 / P 1.2.2
P 1.2.2			bereitgestellter KLT entleert			Information	
P 1.3		Deckel ablegen				automatisierbar	**P 1.3 > P 1.1**
P 2	Handlungen am Arbeitsplatz						P 1 : P 2 : P 3
P 2.1		geschnittene Nutzen zum Scannen ablegen				manuell	P 2.1 / P 2.2
P 2.2		nach einzelner Baugruppe greifen				automatisierbar	P 2.2 > P 2.3
P 2.3		Baugruppe scannen				automatisierbar	
P 2.3.1			Visuelle Prüfung, ob Baugruppe in Ordnung ist			automatisierbar	P 2.3 > P 2.3.1, P 2.3.2
P 2.3.2			Entscheidung der Software beachten			automatisierbar	P 2.3.1 + P 2.3.2
P 2.3.2.1				Baugruppe in Gutteile-Tray ablegen		automatisierbar	P 2.3.2 > P 2.3.2.1 P 2.3.2.1 : P 2.3.2.2
P 2.3.2.1.1					Vollen Gutteile-Tray in KLT ablegen	automatisierbar	P 2.3.2.1 > P 2.3.2.1.1
P 2.3.2.1.2					Vollen KLT mit Deckel versehen	automatisierbar	P 2.3.2.1.1 : P 2.3.2.1.2
P 2.3.2.2				Baugruppe in Schlechtteile-Tray ablegen		automatisierbar	P 2.3.2 > P 2.3.2.2 P 2.3.2.1 : P 2.3.2.2
P 2.3.2.2.1					Vollen Schlechtteile-Tray in KLT ablegen	automatisierbar	P 2.3.2.1 > P 2.3.2.2.1
P 2.3.2.2.2					Vollen KLT mit Deckel versehen	automatisierbar	P 2.3.2.2.1 : P 2.3.2.2.2
P 3	Nachbearbeitung						P 1 : P 2 : P 3
P 3.1		KLT etikettieren				automatisierbar	P 3.1 > P 3.2
P 3.2		KLT verbringen				manuell	

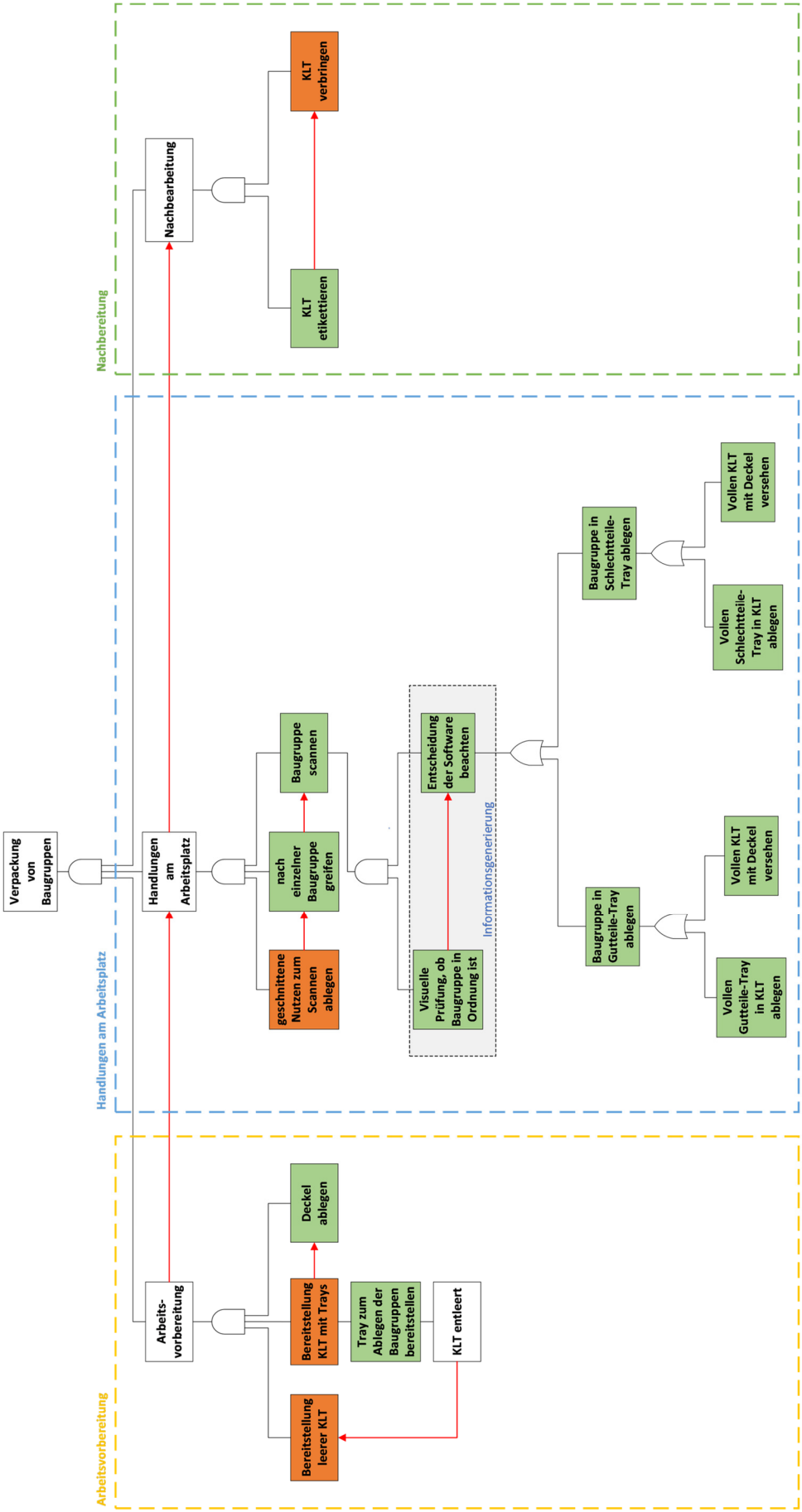

Abbildung 22: Grafische HTA - manueller Arbeitsplatz

Auf Basis dieser Analyse stellt sich nun natürlich die Frage, welche Möglichkeiten zur Optimierung dieses Arbeitsprozesses bestehen. Gründe für die Optimierungen sind in erster Linie Zeitersparnisse und eine Senkung der Produktionskosten. Nachdem aus Sicht des Unternehmens das automatisierte Trennen der Baugruppen vom Nutzen mit Problemen verbunden ist, wird dieser Vorgang als kaum automatisierbar angenommen. Daher wird dieser Vorgang auch nicht bei Optimierungsmöglichkeiten berücksichtigt.

Tabelle 6: Optimierungsmöglichkeiten

Optimierungsmöglichkeiten		Bedingungen
P 1		P 1 : P 2 : P 3
P 1.1 P 1.2	manuell manuell	P 1.1 > P 1.2
P 1.2.1 P 1.2.2	automatisierbar Information	P 1.2.1 / P 1.2.2
P 1.3	automatisierbar	P 1.3 > P 1.1
P 2		P 1 : P 2 : P 3
P 2.1 P 2.2 P 2.3	manuell automatisierbar automatisierbar	P 2.1 / P 2.2 P 2.2 > P 2.3
P 2.3.1 P 2.3.2	automatisierbar automatisierbar	P 2.3 > P 2.3.1, P 2.3.2 P 2.3.1 + P 2.3.2
P 2.3.2.1	automatisierbar	P 2.3.2 > P 2.3.2.1 P 2.3.2.1 : P 2.3.2.2
P 2.3.2.1.1 P 2.3.2.1.2	automatisierbar automatisierbar	P 2.3.2.1 > P 2.3.2.1.1 P 2.3.2.1.1 : P 2.3.2.1.2
P 2.3.2.2	automatisierbar	P 2.3.2 > P 2.3.2.2 P 2.3.2.1 : P 2.3.2.2
P 2.3.2.2.1 P 2.3.2.2.2	automatisierbar automatisierbar	P 2.3.2.1 > P 2.3.2.2.1 P 2.3.2.2.1 : P 2.3.2.2.2
P 3		P 1 : P 2 : P 3
P 3.1 P 3.2	automatisierbar manuell	P 3.1 > P 3.2

Nachdem nun sämtliche Teilbereiche des gesamten restlichen Prozesses bestimmt sind, gilt es hier in Betracht kommendes Potenzial auszuschöpfen. Tabelle 6 zeigt in diesem Kontext verschiedene Bereiche mit Optimierungsmöglichkeiten auf. Nachdem der Arbeitsplatz nicht direkt Teil einer größeren Fertigungslinie ist, müssen einzelne Elemente, wie die Kleinladungsträger, nach wie vor manuell der Arbeitsstelle zugeführt werden. Dieser Bereich könnte optimiert werden, indem die Infrastruktur für die automatisierte Zuführung geschaffen

wird. Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass dies in naher Zukunft nicht möglich sein wird, nachdem es die Platzverhältnisse in der Fabrikshalle nicht zulassen. Diese Erkenntnisse für den Bereich der Arbeitsvorbereitung sind nun in Abbildung 23 nochmals farblich markiert. Die in Orange gehaltenen Tätigkeiten müssen weiterhin manuell bearbeitet werden. Die grün markierten Bereiche in Abbildung 23 können in diesem Fall automatisiert werden.

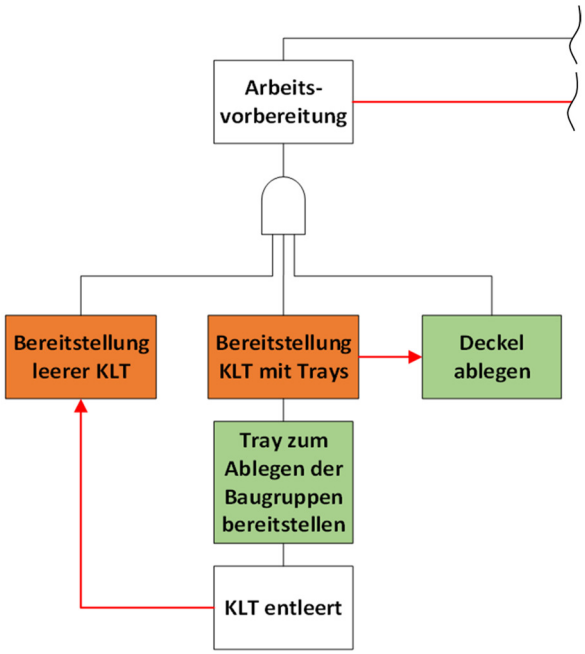

Abbildung 23: Optimierungspotenzial bei der Arbeitsvorbereitung

Das größte Entwicklungspotenzial liegt beim Betrachten des Hauptprozesses (siehe Abbildung 24). Bis auf das Ablegen der geschnittenen Baugruppen kann hier jede Tätigkeit automatisiert werden. Besonders interessant ist der Bereich der Informationsgenerierung. Es ist dem Unternehmen bekannt, dass es sich hier um einen sehr mühseligen Arbeitsschritt handelt. Auch wenn es für die Mitarbeiter keine nennenswerte physische Belastung darstellt, so ist es laut ihren Aussagen eine sehr ermüdende Tätigkeit. Im Laufe eines Arbeitstages nimmt aufgrund dessen ebenso die Leistungsfähigkeit und die Geschwindigkeit, mit welcher diese Arbeit erledigt wird, kontinuierlich ab. Das merken auch die Arbeitskräfte. Es ist mitunter ein Grund, weshalb sie sich auch in diesem Arbeitsbereich des Öfteren abwechseln. Diese Tatsache zeigt, dass hier Optimierungspotenzial besteht. Gerade die Informationsgenerierung bietet aus technischer Sicht ideale Voraussetzungen für die Automatisierung dieses Aufgabenbereiches. Nach ersten Überlegungen kann man hier durch Technisierung der einzelnen Tätigkeiten ein enormes Potenzial ausschöpfen, um bei der Bearbeitung Zeit einzusparen, da hier viele Teilschritte im Vergleich zum manuellen Arbeitsbetrieb auch parallelisierbar sind. Des

Weiteren kann aus Sicht des Unternehmens eine Arbeitskraft eingespart werden bzw. für andere Aufgabenbereiche freigestellt werden. Damit können mittelfristig solide Kostenersparnisse erreicht werden. Aber ebenso aus Sicht der Arbeitskräfte kann einer Automatisierung Positives entnommen werden. So werden die Arbeitsbelastungen auf ein Minimum reduziert und die Mitarbeiter entlastet.

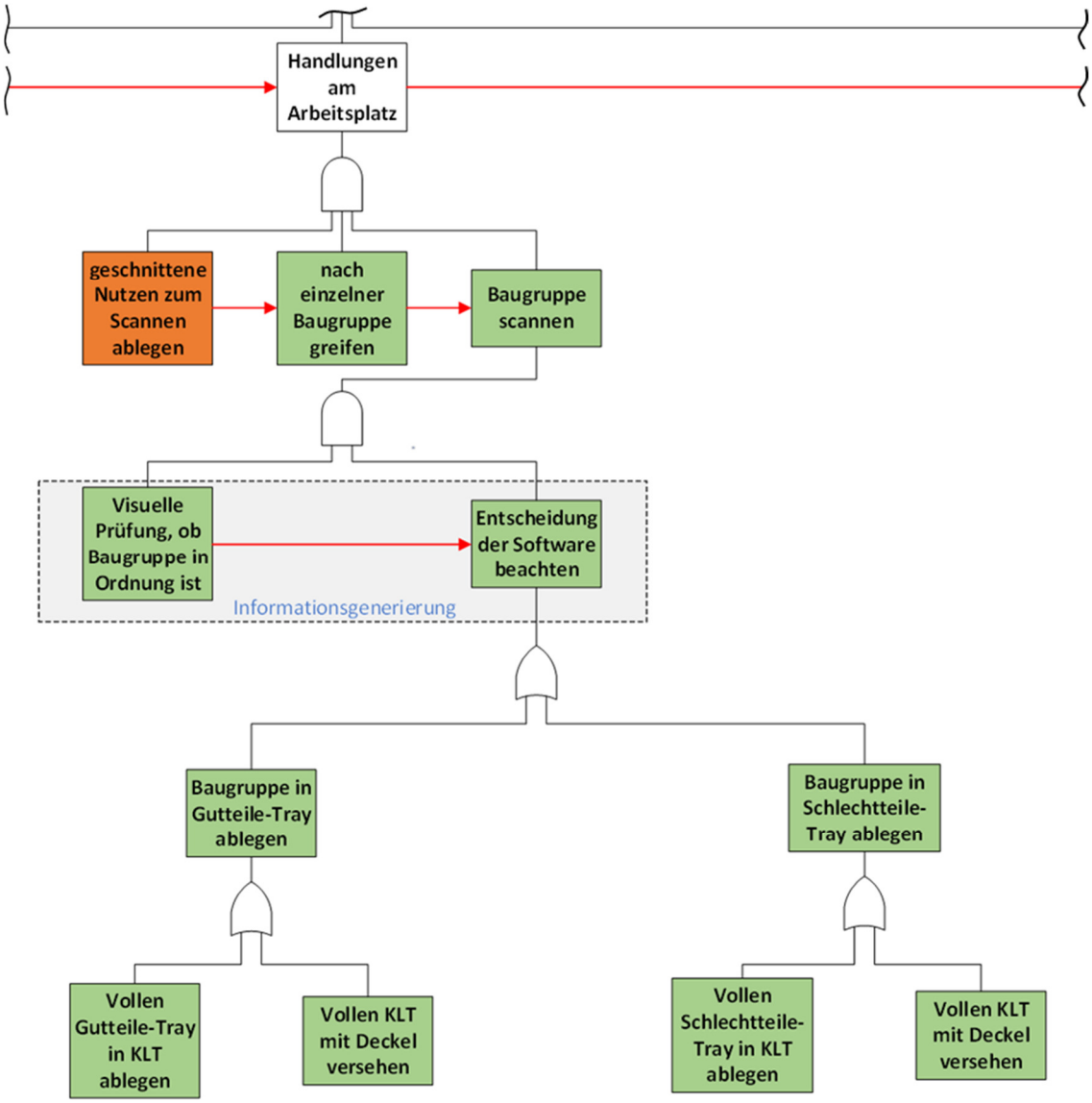

Abbildung 24: Optimierungspotenzial beim Hauptprozess

Die Nachbereitung (siehe Abbildung 25) beinhaltet bei der Etikettierung durchaus Entwicklungspotenzial, wobei das Verbringen der Kleinladungsträger aufgrund der räumlichen Gegebenheiten nicht automatisierbar ist. Ob die Etikettierung, auch wenn es technisch durchaus umsetzbar ist, automatisiert werden soll, ist fraglich. Die Überlegung hinter diesem Argument ist relativ einfach. Es handelt sich nämlich um den letzten Arbeitsschritt des gesamten Prozesses. Daher ist es aus Sicht des Autors dieser Diplomarbeit sinnvoll, diese Tätigkeit dafür

zu verwenden, stichprobenartig Qualitätskontrollen durchzuführen. Sollten offensichtliche Fehler bei der Durchführung der vorherigen Arbeitsschritte passiert sein, kann man sehr rasch reagieren und sofort in den Prozess eingreifen.

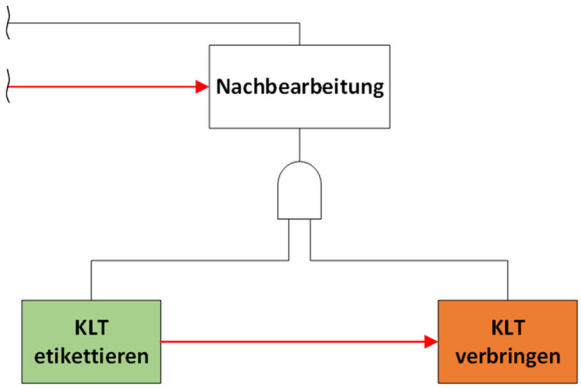

Abbildung 25: Optimierungspotenzial bei der Nachbereitung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es enormes Optimierungspotential an diesem Arbeitsplatz gibt, welches ausgeschöpft werden kann. Es sollte möglich sein, die gewünschten Ziele des Unternehmens zu erreichen und dementsprechend die im Zusammenhang mit dieser Arbeitsstelle entstehenden Kosten zu reduzieren als auch die Effizienz hinsichtlich des zeitlichen Ablaufes zu steigern. In Anbetracht der Platzverhältnisse muss nun eine Strategie entwickelt werden, wie man diesen Arbeitsplatz in Zukunft gestalten möchte. Die in Kapitel 4.3.2 diskutierte Klassifikation bietet hierfür ein gutes Instrument, um die Gedanken zu diesem Thema zu sortieren. Um diese Klassifikation vorzunehmen werden im Folgenden zunächst die zeitlichen Abläufe des manuellen Prozesses beleuchtet.

6.3.2 CPM-GOMS-Verfahren

Mit der Beschreibung der CPM-GOMS-Analyse soll nun eine zweite Betrachtungsweise in Bezug auf die Durchführung der Aufgaben ermöglicht werden. GOMS steht für Ziele, Operatoren, Methoden und Selektionsregeln. Diese Begriffe werden nun mit Blick auf diese konkrete Aufgabe aufgegliedert. Nachdem der gesamte manuelle Prozess der Anlage bereits im HTA-Verfahren näher beschrieben wurde, soll nun konkret auf die Arbeitsschritte eingegangen werden, bei denen eine Automatisierung angedacht wird. Der Hauptprozess an diesem Arbeitsplatz beinhaltet das Aufnehmen, Scannen und korrekte Ablegen der Baugruppen in Trays. Allgemein kann man diese Tätigkeiten auch als Handling der Baugruppen bezeichnen. Die Operatoren zeigen die elementaren physischen und kognitiven Prozesse auf. Diese sind in der folgenden grafischen Darstellung (Abbildung 26) aufgelistet. Hinsichtlich der Methoden

wurde in diesem konkreten Fall der manuelle Arbeitsplatz betrachtet. Dies hat den Grund, dass der Autor dieser Arbeit beleuchten möchte, wie sich die bisherige Situation bei diesem Arbeitsprozess darstellt und an welchen Stellen es Probleme geben könnte. Die Methode als Teil der GOMS-Analyse bezieht sich hier auf eine Umsetzung der Aufgabe mit der technischen Unterstützung eines industriellen Scanners. Auf bestimmte Selektionsregeln soll im Folgenden bewusst verzichtet werden, da es sich hier um einen bestehenden Prozess handelt und dementsprechend die ideale Umsetzung der Aufgabe nicht im Vordergrund steht. Es sollen vielmehr die Beanspruchungen der Mitarbeiter bei der manuellen Umsetzung der geforderten Tätigkeiten eruiert werden.

Tabelle 7: Zeiterfassung – manuelle Vorgangsweise

Arbeitsschritt	Bezeichnung	Dauer (in ms)
1	Ablageort erfassen	50
2	Augenbewegung einleiten	25
3	Augenbewegung	100
4	Infos wie „Ablageort leer“ visuell erfassen	50
5	Geschnittene Nutzen zum Scannen ablegen	1500
6	Einzelne Baugruppe erfassen	50
7	Augenbewegung einleiten	25
8	Augenbewegung	100
9	Visuelle Lokalisierung	50
10	Nach einzelner Baugruppe greifen	1500
11	Augenbewegung einleiten	25
12	Augenbewegung	100
13	Sensor visuell erfassen	50
14	Baugruppe an Sensor halten	2000
15	Augenbewegung einleiten	25
16	Augenbewegung	100
17	Information an Bildschirm wahrnehmen	200
18	Information prüfen	500
19	Entsprechenden Ablageort erfassen	100
20	Augenbewegung einleiten	25
21	Augenbewegung	100
22	Infos wie „Ablageort leer“ visuell erfassen	100
23	Baugruppe ablegen	1500
24	Nächste Baugruppe erfassen	100
25	Augenbewegung einleiten	25
26	Augenbewegung	100
	Gesamtdauer:	8500
Sofern noch Baugruppen zum Scannen vorhanden sind, folgt wieder Schritt 9.		

In diesem Fall handelt es sich daher um eine leicht abgewandelte Form der allgemeinen GOMS-Analyse. Im direkten Vergleich mit dem HTA-Verfahren ermöglicht die CPM-Methode eine umfassende Beschreibung der Arbeitssituation mit den entsprechenden Beanspruchungen.

CPM steht dabei für eine kognitive, perzeptive sowie motorische Einteilung. Diese Analyse, dargestellt in Abbildung 26, zeigt die Herausforderungen im Arbeitsalltag in Hinblick auf die manuelle Arbeitsweise. Es zeigt sich deutlich, dass die im Wesentlichen sehr einfach anmutende Aufgabe eine Baugruppe zu scannen und danach stets richtig abzulegen neben den motorischen ebenso stark die perzeptiven und kognitiven Fähigkeiten fordert. Die Umsetzung der CPM-Methode orientiert sich dabei am dargestellten Beispiel von John und Gray (1995). Die Zusammenfassung der Tätigkeiten, welche in der CPM-GOMS-Analyse berücksichtigt werden, findet sich in der Tabelle 7. Zusammengefasst ergibt sich anhand dieser Liste bei einer manuellen Umsetzung der repetitiven Tätigkeiten eine Gesamtdauer von 8,5 Sekunden. In diesem Zeitraum werden dem Mitarbeiter folgende perzeptiven, kognitiven und motorischen Fähigkeiten abverlangt (siehe Abbildung 26):

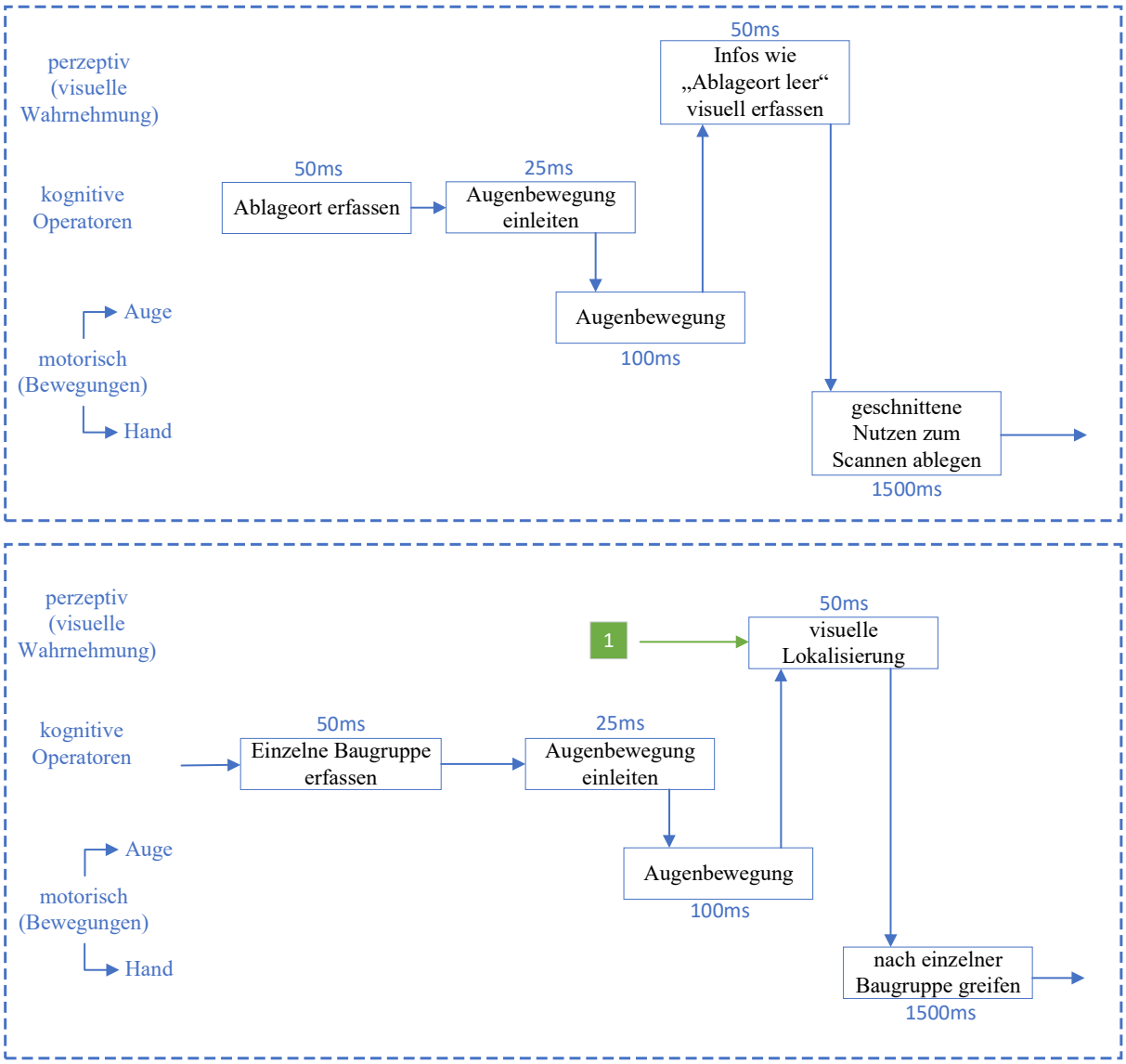

Abbildung 26: CPM-GOMS-Analyse (1/2)

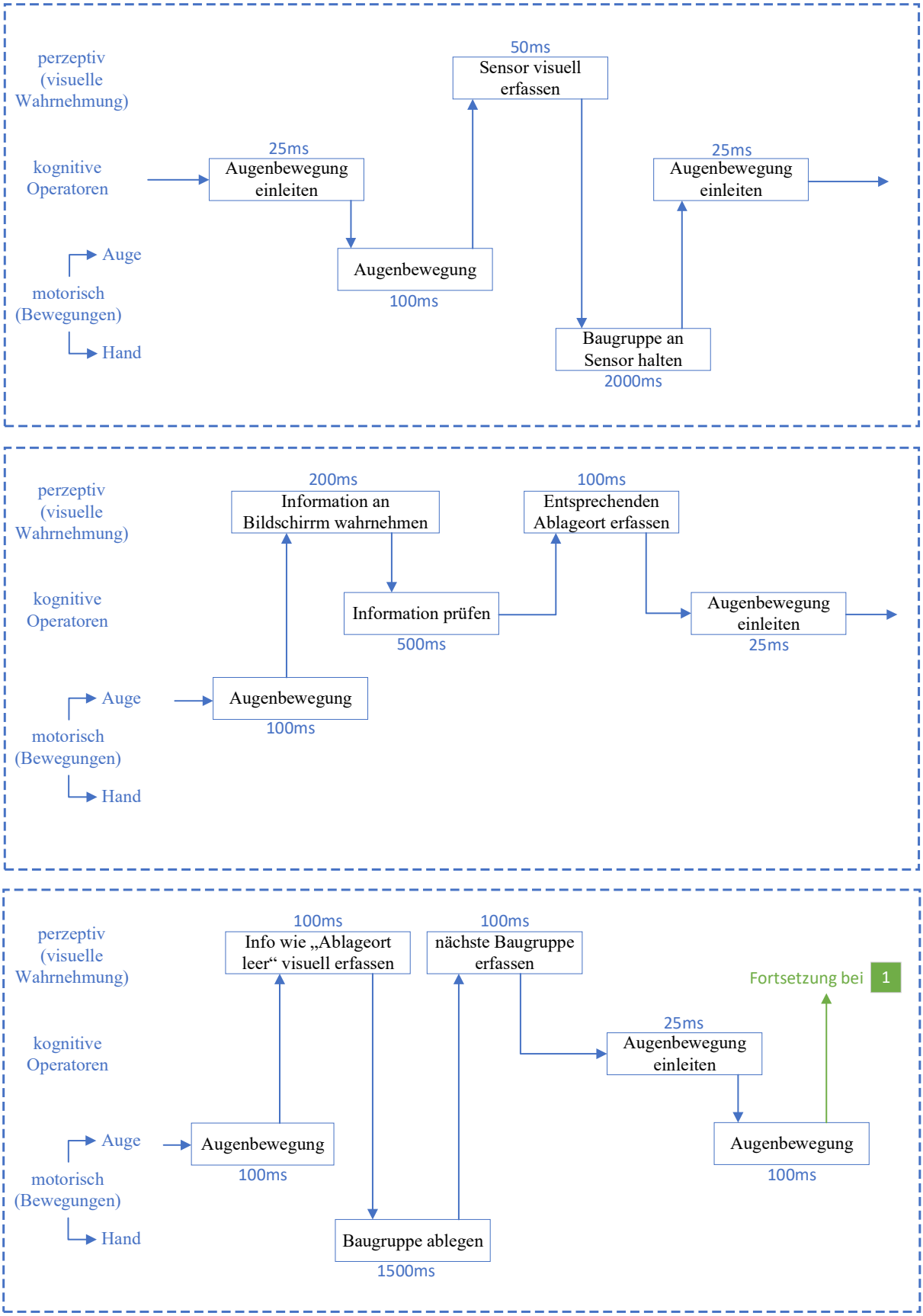

Abbildung 26: CPM-GOMS-Analyse (2/2)

Im Gespräch mit dem Unternehmen wurde darüber aufgeklärt, dass sich bei dieser Arbeitsstelle zwei Personen im Rahmen einer Selbstorganisation sämtliche Aufgaben teilen und bei den Tätigkeiten ständig abwechseln. Infolge der CPM-GOMS-Analyse wurde deutlich, dass die einzelnen Tätigkeiten eine sehr ermüdende Wirkung haben können. Erst durch eine entsprechende Gliederung der Tätigkeiten erkennt man, wie vielen einzelnen Belastungen der Körper bei dieser vermeintlich einfachen Arbeit ausgesetzt ist. Dabei kann hier vor allem von einer psychischen Ermüdung ausgegangen werden, infolgedessen es zu Konzentrations- und Koordinationsstörungen kommen kann. Daher haben die Mitarbeiter auch das Bedürfnis, sich permanent abzuwechseln. Das verwundert auch nicht, wenn man sich die Aufgliederung der Aufgabe in Abbildung 26 im Detail ansieht und sich dabei den Aspekt eines achtstündigen Arbeitstages vor Augen führt.

In diesem Kontext muss man davon ausgehen, dass für die Prüfung einer Baugruppe nur bei optimalen Arbeitsverhältnissen die in Tabelle 7 ermittelte Zeitdauer von 8,5 Sekunden eingehalten wird. Aufgrund von Konzentrationsproblemen kommt es in der Regel auch zu unterschiedlichsten Ablenkungen der Mitarbeiter. Daher ist es realistisch, wenn man von einer Erhöhung der Zeitdauer um 15 % ausgeht und damit über einen Arbeitstag gemittelt mindestens 10 Sekunden für die Prüfung einer Baugruppe annimmt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die ausgelösten Konzentrationsprobleme der Mitarbeiter infolge der kognitiven, perzeptiven und motorischen Herausforderungen dazu führen, dass nicht das volle Potenzial der möglichen Arbeitsleistung abgerufen werden kann. Daher ist es sinnvoll, sich in diesem Fall eines technischen Hilfsmittels zu bedienen. Ein kooperierender Roboter kann die arbeitsintensivsten Tätigkeiten ersetzen, welche sonst der Mensch erledigen müsste. Sobald ein Roboter vollständig in den Arbeitsalltag integriert wäre, ist davon auszugehen, dass sich alleine aus dieser Betrachtung heraus die Arbeitsleistung an diesem Arbeitsplatz beträchtlich erhöhen würde.

6.4 Klassifikation des neugestalteten Arbeitsplatzes

Um die Effizienz dieser Anlage zu steigern, muss man sich nun überlegen, welche konkrete Technologie man einsetzen kann. Dabei ist es in diesem Fall ratsam einen entsprechend ausgestatteten Roboter einzusetzen. Diese Annahme basiert unter anderem auf der Grundlage der räumlichen Verhältnisse und der vielen Möglichkeiten, die eine solche Maschine bietet. Doch auch mit der Entscheidung einen Roboter einsetzen zu wollen, müssen viele Fragen im

Vorfeld geklärt werden. Immerhin ist die Auswahl an Maschinen groß und dementsprechend sind die damit verbundenen Möglichkeiten unterschiedlich. Es wurde anhand von Onnasch, Maier und Jürgensohn (2016) bereits in Kapitel 4.3.2 gezeigt, wie man eine Kategorisierung der Mensch-Roboter-Interaktion möglichst strukturiert vornehmen kann. Diese Kategorisierung ist nun hinsichtlich der Entscheidungsfindung von Bedeutung.

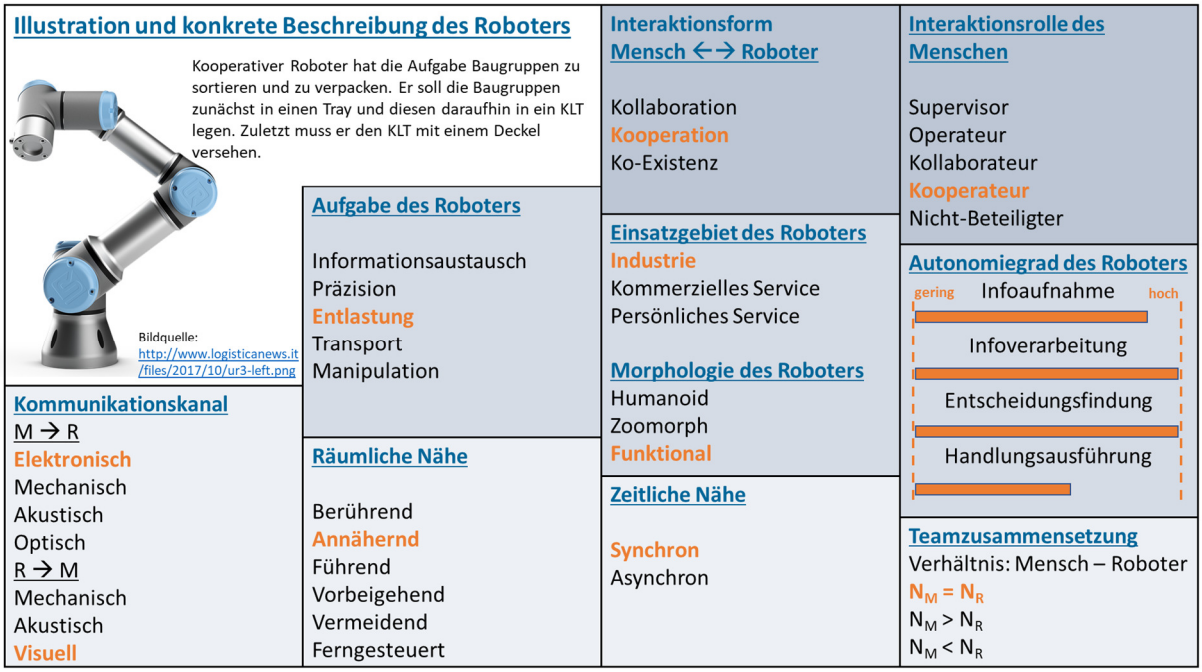

Abbildung 27: Canvas-Darstellung der MRI-Taxonomie - eigene Darstellung in Anlehnung an Onnasch, Maier und Jürgensohn (2016)

In Abbildung 27 sind die im theoretischen Teil dieser Arbeit beschriebenen drei Klassifikationscluster enthalten. Der erste Clusterbereich befindet sich in diesem Fall rechts oben (dunkelgrau) und enthält die Interaktionsklassifikation. Aufgrund der zu verrichtenden Aufgaben macht es Sinn, dass es sich beim eingesetzten Roboter um einen kooperierenden Roboter handeln sollte. Das bedeutet, dass der Mensch mit dem Roboter nebeneinander arbeiten wird, dieser aber in der Regel keinen direkten Kontakt mit der Maschine hat. Deshalb wird hier auch definiert, dass der Mensch ein Kooperateur ist. Die Entscheidung für einen kooperierenden Roboter beruht auf dem Umstand, dass am betroffenen Arbeitsplatz der Mensch ersetzt werden soll. Infolgedessen wird der Roboter den eigentlichen Verpackungsprozess durchführen. Die zweite Arbeitskraft kümmert sich daraufhin hauptsächlich um die Vorbereitung (Trennen der Baugruppen) und die Nachbereitung (Etikettieren der KLT). Damit wird der kognitiv anspruchsvollste Arbeitsbereich durch den kooperierenden Roboter übernommen.

Der zweite Teil der Canvas-Darstellung (mittelgrau) zeigt die Roboterklassifikation. Hier wird festgelegt, dass die Hauptaufgabe des Roboters die Entlastung des Menschen ist. Das Einsatzgebiet wird durch das Unternehmen bestimmt und hat industriellen Charakter. Außerdem handelt es sich beim verwendeten Roboter um eine funktionale Ausführung. Das bedeutet, dass er in seiner Bauweise kein humanoider oder zoomorpher Roboter ist, sondern dass sich die Bauweise nach der Aufgabe richtet. Hinsichtlich des Autonomiegrades ist zu erwähnen, dass sowohl die Informationsverarbeitung als auch die Entscheidungsfindung der Maschine sehr autonom gestaltet sind. Lediglich bei der Handlungsausführung stößt der Roboter an seine Grenzen. Der Grund liegt nicht zuletzt darin, dass der Prozess erst gestartet werden kann, wenn ein Mensch zunächst manuell einen leeren Behälter zuführt. Ebenso ist er in seinen Handlungsmöglichkeiten sehr beschränkt, nachdem er lediglich dafür konzipiert ist, Baugruppen zu bewegen.

Bei der Teamklassifikation, dargestellt in Abbildung 27 (hellgrau), wird in diesem Fall zwischen dem Kommunikationskanal, der räumlichen und zeitlichen Nähe sowie der Teamzusammensetzung unterschieden. Hinsichtlich des Kommunikationskanals wurde festgelegt, dass der Roboter auf elektronische Weise durch den Menschen über einen Computer gesteuert und mit Informationen durch den Scanner versorgt wird. Umgekehrt erfolgt die Informationsweitergabe an den Menschen durch den Roboter visuell über einen Bildschirm. Die räumliche Nähe wird mit „annähernd“ sehr gut beschrieben. Das bedeutet, dass sich der Mensch mit dem Roboter einen gemeinsamen Arbeitsplatz teilt, es aber keinen direkten physischen Kontakt gibt. Des Weiteren wird in diesem Klassifikationscluster festgelegt, dass die Arbeiten synchron durchgeführt werden sollen. Während der Mitarbeiter stets neue geschnittene Baugruppen bereitstellt, kümmert sich der Roboter zeitlich synchron um das Verpacken der Bauteile. Die Teamzusammensetzung wird so bewertet, dass neben dem verwendeten Roboter ein Arbeiter diesem Arbeitsplatz zugeteilt wird.

Die gerade beschriebene Canvas-Darstellung ist in der Abbildung 27 zusammengefasst dargestellt. Die in der Farbe Orange gehaltenen Begriffe und Markierungen zeigen dabei die auf den Arbeitsplatz zutreffende Auswahl. Diese im Kapitel 6.4 definierten Entscheidungen sollen nun mittels eines weiteren HTA-Verfahrens im Rahmen der Neugestaltung des Arbeitsplatzes umgesetzt werden.

6.5 Konzept des neuen Arbeitsplatzes

Aus Unternehmenssicht stellt sich nun in diesem Zusammenhang die Frage, inwiefern ein solcher Roboter die Arbeit des Menschen konkret übernehmen könnte. Nach intensiven Überlegungen zu den erfassten Teilbereichen im Kapitel 6.3.1, ist es nicht sinnvoll alle Arbeitsschritte zu automatisieren. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Zum einen wird der automatisierte Prozess des Trennens der einzelnen Baugruppen als zu komplex und fehlerbehaftet befunden. Wenngleich es aus technischer Sicht theoretisch umsetzbar wäre, muss man sich die Frage stellen, ob es aus zeitlicher Sicht überhaupt eine nennenswerte Zeitersparnis mit sich bringen würde. Nachdem man davon ausgehen kann, dass dies aufgrund verschiedener technischer Probleme eben nicht der Fall wäre, wird der primäre Fokus auf die nachfolgenden Prozesse gelegt.

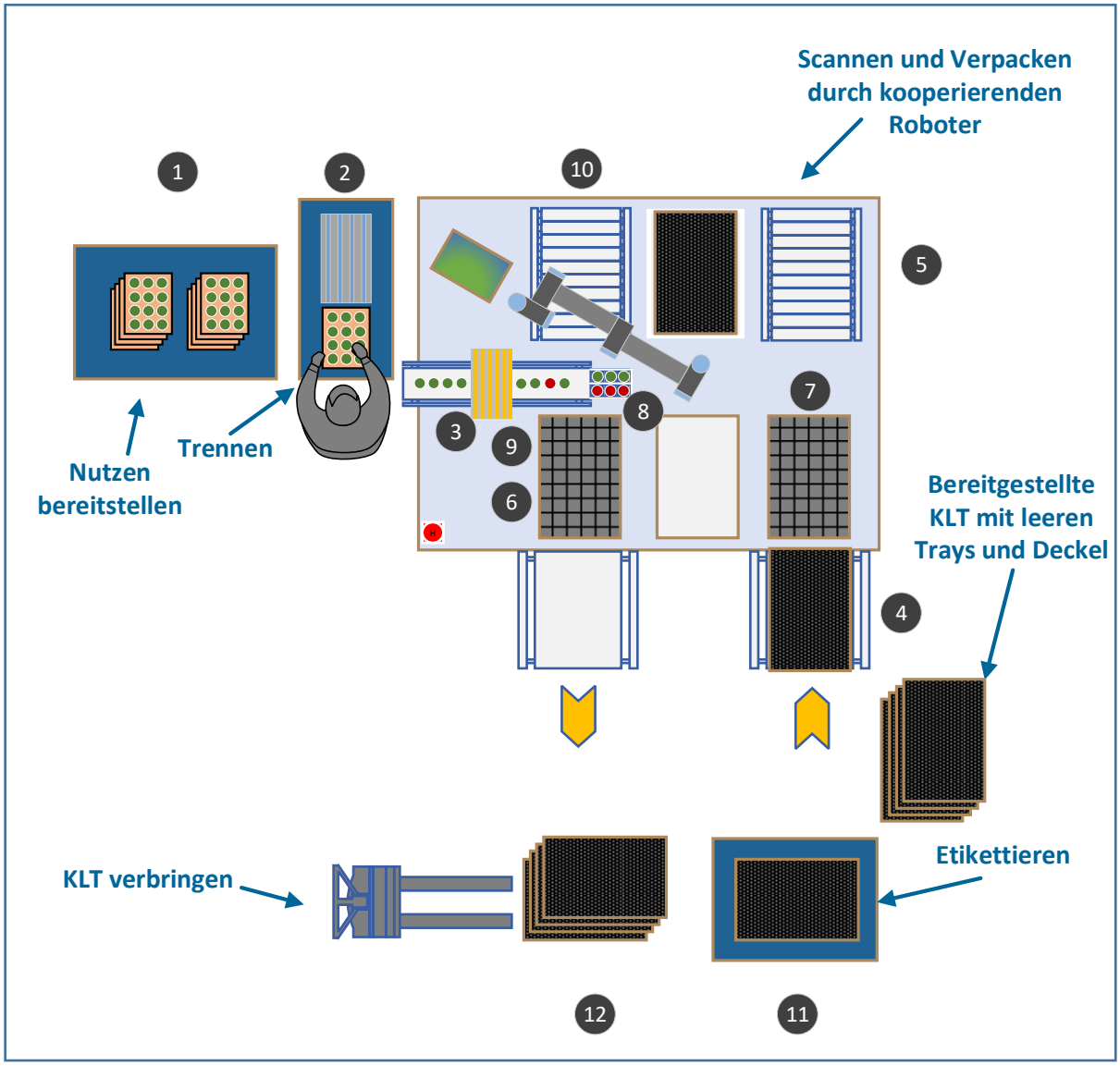

Abbildung 28: Aufbau des mit einem kooperierenden Roboter ausgestatteten Arbeitsplatzes

Das neue Konzept für die Umsetzung der Aufgabe in Zusammenarbeit mit einem kooperierenden Roboter sieht wie folgt aus (die Ziffern der Aufzählung nehmen Bezug auf die Abbildung 28):

1. Bereitstellen der zusammenhängenden Baugruppen in Form eines Nutzens
2. Trennen der Baugruppen
   Einzelne Baugruppen manuell auf Förderanlage platzieren
3. Transport der Baugruppen mit Förderanlage unter Scanner
   Scannen der Baugruppen
4. Manuelle, einmalige Bereitstellung eines leeren KLT ohne Deckel
   Manuelle Bereitstellung und Durchschleusung eines KLT mit fünf leeren Trays und Deckel
5. Durchschleusen des KLT zur Trayentnahmeposition
   Ablage des Deckels durch Roboter
6. Positionierung eines leeren Trays aus KLT auf IO-Tray-Ablage (IO = in Ordnung)
7. Positionierung eines leeren Trays aus KLT auf NIO-Tray-Ablage (NIO = nicht in Ordnung)
8. Vorsortieren, falls fehlerhafte Baugruppe vorhanden, sonst direkt auf Förderanlage nach drei Baugruppen gleichzeitig greifen
   Falls vorsortiert werden muss, bei der Zwischenablage nach drei Baugruppen gleichzeitig greifen
9. Handling dreier Baugruppen durch Roboter
   Baugruppen in jeweiligem Tray ablegen
   Ablage der IO-Baugruppen in das IO-Tray durch Roboter
   Im Falle von NIO-Baugruppe: Vorsortieren, bis drei Baugruppen bereitstehen, dann Ablage der NIO-Baugruppen in NIO-Tray durch Roboter
10. Wenn IO-Trays voll: Ablage der IO-Trays in KLT durch Roboter
    Falls fünf Trays im KLT abgelegt sind, Verschließen des KLT mit Deckel
    Ablage des letzten leeren Trays in KLT durch Roboter
    Ablage des Deckels auf KLT durch Roboter
    Automatische Ausschleusung des vollen KLT
11. Manuelle Etikettierung des vollen KLT
12. Manuelle Verbringung der vollen KLT

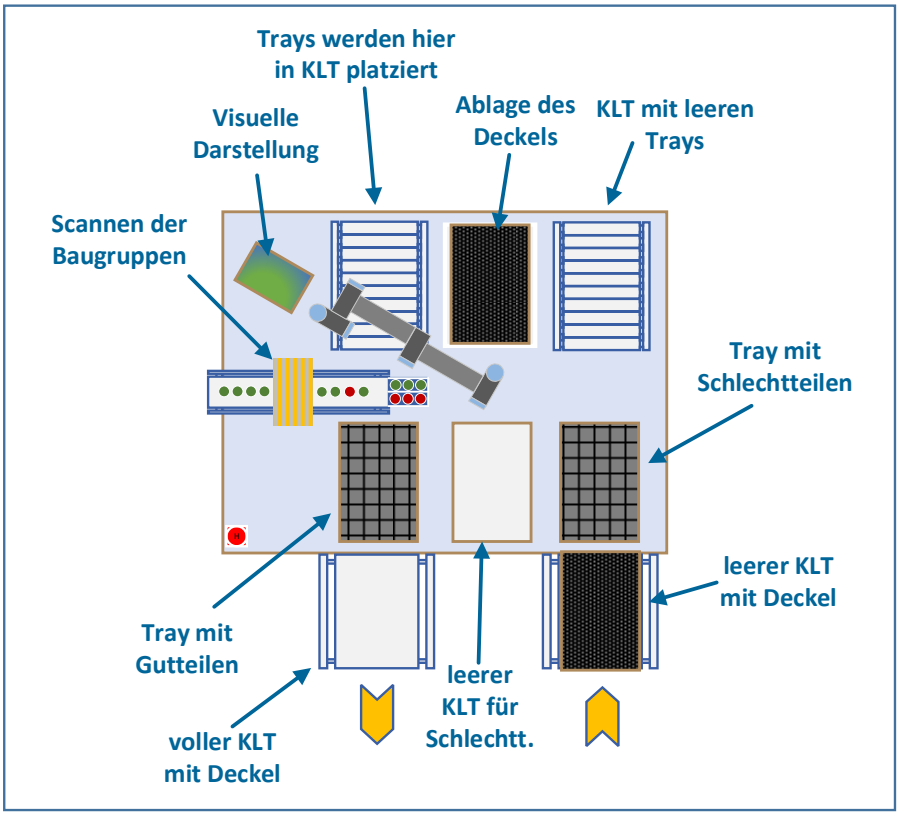

Abbildung 29: Beschreibung des neu gestalteten Arbeitsplatzes

Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen den schematischen Aufbau des kooperierend geführten Arbeitsplatzes. Wie in der vorherigen Auflistung der Arbeitsschritte beschrieben, beginnt die Arbeit beim Bereitstellen der Baugruppen in Form von Nutzen. Diese werden von Mitarbeitern, welche mit den vorhergehenden Aufgaben befasst sind, zu diesem Arbeitsplatz gebracht. Im nächsten Arbeitsschritt werden die Baugruppen geschnitten und daraufhin von der an diesem Arbeitsplatz beschäftigen Person auf die nebenstehende Förderanlage gelegt. Mit dieser Tätigkeit beginnt auch die Neugestaltung des Arbeitsplatzes.

Zuvor sind allerdings noch ein paar wichtige Tätigkeiten durch den Mitarbeiter vorzunehmen. Bei diesem kooperierenden Prozess muss nämlich zu Beginn einmalig ein leerer Kleinladungsträger (KLT) manuell links oben bereitgestellt werden. Im weiteren Verlauf muss in diesem Arbeitsumfeld stets ein neuer KLT mit fünf leeren Trays und einem Deckel (siehe Abbildung 29) rechts unten zugeführt werden. Dieser KLT wird anschließend automatisch nach hinten verbracht, wo der kooperierende Roboter den Deckel abnimmt und im oberen Bereich des Systems zwischenlagert. Ein erster leerer Tray wird dann anschließend vom Roboter in den vorderen Bereich des Arbeitsplatzes gelegt.

Nach dem Trennen und Platzieren der Baugruppen werden diese durch die Förderanlage unter einem Scanner durchgeführt und geprüft. Die Ergebnisse werden zum einen dem Mitarbeiter über einen Bildschirm gezeigt, zum anderen werden die Daten automatisch an den Roboter weitergeleitet. Die Maschine besitzt mit diesen Informationen zwei Möglichkeiten. Wird bei der Prüfung der Baugruppen kein Fehler festgestellt, kann der Roboter diese direkt von der Förderanlage aufnehmen. Ist allerdings eine fehlerhafte Baugruppe dabei, wird der Roboter angewiesen, diese zur Zwischenlagerung vor sich zu platzieren. Sobald drei Baugruppen zwischengelagert sind, greift der Roboter nach diesen und platziert sie im jeweiligen Tray.

Wenn ein Tray mit den Gutteilen gefüllt ist, wird dieser vom kooperierenden Roboter in den anfangs leeren KLT gelegt. Ist in weiterer Folge auch der KLT voll, dann wird dieser ebenfalls vom Roboter mit dem bereitliegenden Deckel geschlossen. Der verschlossene KLT wird daraufhin automatisch nach vorne verbracht, wo ihn ein Mitarbeiter manuell etikettiert und anschließend zum nächsten Arbeitsplatz verbringt. Während dieses Arbeitsschrittes bekommt der Mitarbeiter nochmals die Möglichkeit, den Kleinladungsträger mit den Baugruppen einer Qualitätsprüfung zu unterziehen.

Ziel des Konzeptes sind folgende Verbesserungen (in Anlehnung an Kapitel 6.2):

- Automatisierung der kognitiv anspruchsvollsten Tätigkeiten durch einen kooperierenden Roboter
- Senkung der an diesem Arbeitsplatz entstehenden Kosten
- Erhöhung der Produktivität
- Kürzere Durchlaufzeiten
- Fehlerminimierung am Arbeitsplatz
- Steigerung der Konzentration der Mitarbeiter

6.5.1 HTA-Verfahren zum automatisierten Arbeitsplatz

Mit einem neuerlichen HTA-Verfahren soll in diesem Kapitel der Fokus auf die Umsetzung des neuen Arbeitsplatzes gelegt werden. Mit diesem Werkzeug soll die Neugestaltung des Arbeitsplatzes auf strukturierte Weise durchdacht werden. Die Ergebnisse dieser Analyse finden sich natürlich bereits im Kapitel 6.5 wieder.

Man kann hier bereits auf den ersten Blick erkennen, dass bei der kooperierenden Arbeitsweise eine Darstellungsebene weniger benötigt wird (siehe Tabelle 8). Dies ist auch ein Zeichen dafür, dass der Arbeitsprozess vereinfacht wird. Ein weiteres wesentliches Merkmal beim Betrachten

dieser Analyse sind die unterschiedlichen Bedingungen hinsichtlich der Tätigkeitsfolge. Hierbei wird deutlich, dass beim kooperierend geführten Prozess einige Tätigkeiten parallel ablaufen werden. Dieser Umstand bringt eine wesentliche Zeitersparnis mit sich und ist somit eines der Hauptargumente für die Umstellung des manuellen auf einen kooperierenden Arbeitsplatz. Basierend darauf darf nicht unerwähnt bleiben, dass durch Nutzung dieses Roboters lediglich eine einzige Arbeitskraft notwendig ist. Das bedeutet in der Folge, dass die zweite, bisher notwendige Arbeitskraft für andere Tätigkeiten eingesetzt werden kann und damit zur Gesamteffizienz des Unternehmens beiträgt. Im direkten Vergleich zwischen dem kooperierenden Roboter und einer menschlichen Arbeitskraft amortisieren sich die anfänglich hohen Anschaffungskosten eines Roboters im Laufe der Zeit durch die niedrigen Folgekosten relativ schnell und führen langfristig zu einer signifikanten Kostenersparnis (siehe Kapitel 6.5.2.2.)

Tabelle 8: HTA - Mensch-Roboter-Kooperation

HTA - Methode: Gesamtziel mit Unterzielen und Bedingungen						
	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4	Ebene 5	Zusatzinfo	Arbeitsreihenfolge / Bedingungen
P 0	**Verpackung von Baugruppen - Kooperierende Vorgangsweise**						
P 1	Arbeitsvorbereitung						P 1 : P 2 : P 3
P 1.1		Bereitstellung leerer KLT - erster KLT muss manuell zugeführt werden; weitere werden aus P 1.2.2 überführt					P 1.1 > P 1.2
P 1.2		Bereitstellung KLT mit Trays					
P 1.2.1			Tray aus bereitgestelltem KLT zum Ablegen der Baugruppen bereitstellen				P 1.2.1 / P 1.2.2
P 1.2.2			bereitgestellter KLT entleert				
P 1.3		Deckel ablegen					P 1.3 > P 1.1
P 2	Handlungen am Arbeitsplatz						P 1 : P 2 : P 3
P 2.1		geschnittene Nutzen zum Scannen auf Förderanlage ablegen					P 2.1 + P 2.2
P 2.2		Baugruppen scannen				Aufgabe d. Scanners	P 2.2 + P 2.3
P 2.3		Prüfung, ob Baugruppe in Ordnung ist				Aufgabe d. Scanners	P 2.2 + P 2.4
P 2.4		Entscheidung der Software				Aufgabe d. Scanners	P 2.3 > P 2.4
P 2.5		Baugruppen vorsortieren				Aufgabe d. Roboters	P 2.3 + P 2.4 | P 2.5 / P 2.6
P 2.6		nach **drei** Baugruppen gleichzeitig greifen				Aufgabe d. Roboters	P 2.5 > P 2.6
P 2.6.1			Baugruppen in Gutteile-Tray ablegen			Aufgabe d. Roboters	P 2.6 > P 2.6.1 | P 2.5 > P 2.6.1 P 2.6.1 : P 2.6.2
P 2.6.1.1				Vollen Gutteile-Tray in KLT ablegen		Aufgabe d. Roboters	P 2.6.1 > P 2.6.1.1
P 2.6.1.2				Vollen KLT mit Deckel versehen		Aufgabe d. Roboters	P 2.6.1.1 : P 2.6.1.2
P 2.6.2			Baugruppen in Schlechtteile-Tray ablegen			Aufgabe d. Roboters	P 2.6 > P 2.6.2 | P 2.6.1 : P 2.6.2 P 2.6.1 : P 2.6.2
P 2.6.2.1				Vollen Schlechtteile-Tray in KLT ablegen		Aufgabe d. Roboters	P 2.6.2 > P 2.6.2.1
P 2.6.2.2				Vollen KLT mit Deckel versehen		Aufgabe d. Roboters	P 2.6.2.1 : P 2.6.2.2
P 3	Nachbearbeitung						P 1 : P 2 : P 3
P 3.1		KLT etikettieren					P 2.6.1.2 : P 3.1 | P 2.6.2.2 : P 3.1
P 3.2		KLT verbringen					P 3.1 > P 3.2

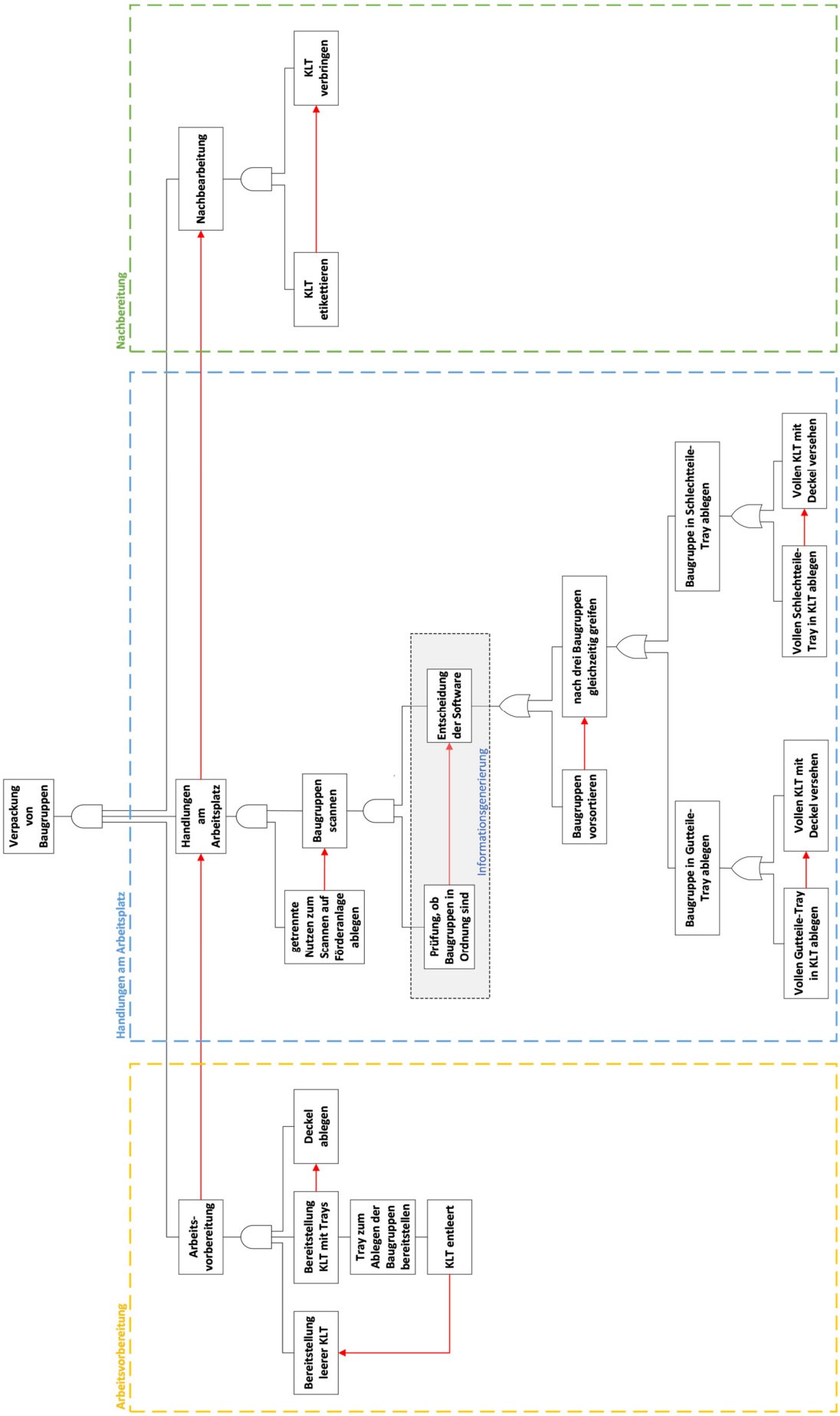

Abbildung 30: Grafische HTA - Mensch-Roboter-Kooperation

6.5.2 Vergleichsanalyse zwischen manuellem und automatisiertem Arbeitsplatz

In diesem Kapitel erfolgt eine Abschätzung der Auswirkungen durch die Anwendung des neuen Konzeptes. Es werden Vorteile und Nachteile der Neugestaltung erörtert und mögliche Probleme aufgezeigt. Der Fokus liegt hier auf den in Kapitel 6.2 formulierten Unternehmenszielen mit Blick auf die zeitlichen Faktoren und finanziellen Herausforderungen.

6.5.2.1 Zeitvergleiche zwischen manuellem und automatisiertem Arbeitsplatz

Im Gegensatz zu Tabelle 7 aus Kapitel 6.3.2 wird nun ermittelt, wie lange es nötig ist, eine Baugruppe zu prüfen, wenn man die Umstrukturierung des Arbeitsplatzes vornimmt. Nachdem sich dieses Projekt erst in der Planungsphase befindet, wurden die Daten zur Beschreibung der zeitlichen Vorgänge für diese Vergleichsanalyse aus vergleichbaren Prozessen herangezogen. Tabelle 9 zeigt die durch die Neugestaltung erforderlichen Arbeitsschritte mit den jeweiligen Zeitdauern.

Tabelle 9: Zeiterfassung - automatisierter Arbeitsplatz

Arbeitsschritt	Bezeichnung	Dauer (in ms)	Zusatz-information
1	Ablageort erfassen	50	Im Vergleich zu manuellem Verfahren gleich.
2	Augenbewegung einleiten	25	
3	Augenbewegung	100	
4	Infos wie „Ablageort leer“ visuell erfassen	50	
5	Geschnittene Nutzen zum Scannen auf Förderanlage ablegen	1500	
Änderungen durch Neugestaltung:			
6	Bewegung der Baugruppe zum Sensor	1500	Arbeitsschritte 6-8 werden parallel zu den Arbeitsschritten 9-14 ausgeführt.
7	Scannen der Baugruppe	500	
8	Information (gut/schlecht) generieren	50	
9	Senken des Roboters	1500	
10	Greifen nach Baugruppe	500	
11	Heben der Baugruppe	1500	
12	Handling der Baugruppe zu Tray	2000	
13	Senken der Baugruppe	1500	
14	Ablegen der Baugruppe	500	
15	Bewegen des Roboters zurück zur Förderanlage	1500	
	Gesamtdauer:	12275	

Die Gesamtdauer beim automatisierten Prozess beträgt hier 12,275 Sekunden. Allerdings muss hier auf zwei wesentliche Aspekte hingewiesen werden. Zum einen ist es mit dem kooperierenden Roboter möglich, drei Baugruppen gleichzeitig zu bewegen. Daraus folgt

natürlich, dass sich im Idealfall die Gesamtdauer auf 4,092 Sekunden / pro Baugruppe reduziert. Das bedeutet im Umkehrschluss eine Reduktion der Arbeitszeit im Vergleich zum manuell durchgeführten Prozess von etwa 50 %. Zum anderen ist hier ein wesentlicher Vorteil zum manuellen Prozess, dass die Arbeitsschritte 6 - 8 parallel zu den Arbeitsschritten 9 - 14 ausgeführt werden. Im Rahmen dieser Überlegung erhält man eine Gesamtdauer dieses Arbeitsprozesses für die Prüfung einer Baugruppe von 3,075 Sekunden. Dies entspricht einer Reduktion der Prozessdauer um 63,82 %.

Diese Werte beziehen sich auf einen idealtypischen Prozess, bei dem keine fehlerhaften Baugruppen identifiziert werden. Tritt dennoch der Fall ein, dass der Roboter vorsortieren muss, wirkt sich diese Tatsache negativ auf den zeitlichen Verlauf aus. In dieser Hinsicht ist der Mensch klar im Vorteil, da er ohne größere Verzögerungen die Baugruppe einfach im dafür vorgesehenen Tray platzieren kann. Die zeitliche Erfassung des Prozesses der Vorsortierung ist in Tabelle 10 festgehalten.

Tabelle 10: Zeitliche Erfassung des Prozesses der Vorsortierung

Arbeitsschritt	Bezeichnung	Dauer (in s)
1	Senken des Roboters	1
2	Greifen nach Baugruppe	0,5
3	Heben der Baugruppe	1
4	Handling der Baugruppe zum Vorsortierbereich	1,5
5	Senken der Baugruppe	1
6	Ablegen der Baugruppe	0,5
	Gesamtdauer:	5,5

Wird diese Zeitdauer der Vorsortierung mit jener des Gesamtprozesses addiert, so ergibt dies pro Baugruppe eine Bearbeitungszeit von 17,775 Sekunden. In diesem Fall ist der Mensch beim manuellen Ausführen um 52,18 % schneller. Geht man allerdings von einer üblichen Fehlerquote von maximal 5 % aus, so ist diese zeitliche Zusatzbelastung nur von geringerer Bedeutung.

Ein weiterer zu betrachtender Prozess ist das Bereitstellen der Kleinladungsträger sowie der Trays. Nachdem auch dieser Prozess teilweise automatisiert wird, ist es hier sinnvoll die beiden Prozesse miteinander zu vergleichen. Bei beiden Prozessbeschreibungen sei hier davon auszugehen, dass bereits ein leerer KLT ohne Trays und Deckel am Arbeitsplatz bereitgestellt ist. Diese Vereinfachung wird angenommen, nachdem es sich hier um einen einmaligen Prozess

handelt und dieser nur am Beginn der gesamten Umsetzung der Aufgabe von Bedeutung ist. Tabelle 11 zeigt im Folgenden die Analyse des manuellen Prozesses.

Tabelle 11: Zeiterfassung der manuellen Bereitstellung von KLT und Trays

Arbeitsschritt	Bezeichnung	Dauer (in s)
1	KLT von Palette auf Arbeitsfläche bewegen	2
2	Abnehmen des Deckels	1
3	Platzieren des Deckels am Arbeitsplatz	1
4	Entnahme eines leeren Trays aus KLT	1,5
5	Platzieren des Trays auf Arbeitsfläche	1
	Gesamtdauer:	6,5
Wiederholung der Arbeitsschritte 4 und 5, sobald ein Tray gefüllt ist. Wenn alle fünf Trays aus einem KLT entnommen sind, beginnt der Prozess wieder bei Schritt 1.		

Im Vergleich dazu werden in Tabelle 12 die vergleichbaren Prozesse in Bezug auf den automatisierten Ablauf beschrieben.

Tabelle 12: Zeiterfassung der automatisierten Bereitstellung von KLT und Trays

Arbeitsschritt	Bezeichnung	Dauer (in s)
1	KLT von Palette manuell zum neugestalteten Arbeitsplatz bewegen	2
2	Durchschleusen zum hinteren Teil der Anlage	2,5
3	Entnahme des Deckels durch Roboter	2
4	Bewegen des Deckels zur vorgesehenen Fläche	1,5
5	Ablegen des Deckels	1,5
6	Bewegen des Roboters zu KLT	1
7	Entnahme des Trays	2
8	Bewegen des Trays zur vorgesehenen Fläche	2
9	Ablegen des Trays	1,5
	Gesamtdauer:	16
Wiederholung der Arbeitsschritte 7 bis 9, sobald ein Tray gefüllt ist. Wenn alle fünf Trays aus einem KLT entnommen sind, beginnt der Prozess wieder bei Schritt 1.		

Die Betrachtung zeigt, dass in diesem Fall der manuelle Prozess um 9,5 Sekunden schneller in der Umsetzung ist. Dem Menschen kommen dabei im Vergleich zum Roboter seine motorischen, flexiblen und kognitiven Eigenschaften zugute. In Anbetracht dieser Zahlen muss man sich die Frage stellen, inwiefern es trotzdem sinnvoll ist, für diese Arbeitsschritte einen Roboter einzusetzen.

Dazu soll abschließend unter anderem nochmals auf den Gesamtprozess eingegangen werden. Tabelle 13 zeigt die jeweils notwendige Mindestzeitdauer sowohl für den automatisierten als

auch für den manuellen Ablauf. Dabei wird deutlich, dass der automatisierte Prozess in Bezug auf die Gesamtzeit (Handling der Baugruppen und Bereitstellung der KLT sowie Trays) die manuelle Bearbeitungszeit unterbieten kann. Lediglich bei einer notwendigen Vorsortierung ist der Mensch im Vorteil, da er die Baugruppen ohne viel Zeitaufwand in den richtigen Tray für Schlechtteile bewegen kann. Demgegenüber sind die ermittelten Zeitdauern in Bezug auf die manuelle Vorgangsweise weniger zuverlässig, nachdem sie lediglich die Mindestzeitdauern angeben. Das bedeutet, dass sich der manuelle Zeitaufwand im realen manuellen Betrieb erhöhen kann. Die Gründe hierfür sind, wie bereits erwähnt, vor allem Konzentrationsprobleme bei Mitarbeitern über den gesamten Arbeitstag hinweg. In Bezug auf die Zeitdauer der automatisierten Bereitstellung der KLT und Trays sei erwähnt, dass in Tabelle 13 (statt wie in Tabelle 12 mit 16 Sekunden angeführt) diese mit 11,5 Sekunden angegeben wird, da bestimmte Prozesse (z.B. Durchschleusung) parallel ablaufen.

Der Roboter muss, um seine Effizienz gegenüber dem Menschen unter Beweis zu stellen, drei Baugruppen zeitgleich bewegen. Im Fall einer Vorsortierung verliert der Roboter allerdings sehr viel Zeit, da dieser Umstand natürlich einen Mehraufwand bedeutet, welchen der Mensch durch intuitives und strukturiertes Handeln vermeiden kann.

Tabelle 13: Zeitvergleich des Gesamtprozesses

Bereich	automatisiert (in s)	manuell (in s)
Handling der Baugruppen	3,075	8,5
Bereitstellung der KLT und Trays	11,5	6,5
Vorsortierung	5,5	-

Aufgrund der niedrigen Fehlerquote ist davon auszugehen, dass die Vorsortierung nur in geringem Maße notwendig ist. Aus diesem Grund ist auch der Einsatz eines kooperierenden Roboters aus zeitlichen Gründen sinnvoll.

6.5.2.2 Kostenabschätzung

Die Abschätzung der Kosten ist ein weiterer wesentlicher Aspekt bei der Neugestaltung des Arbeitsplatzes. In dieser Diplomarbeit darf über detaillierte Zahlen keine Auskunft erteilt werden.

Um dennoch eine Kostenabschätzung vornehmen zu können, wird im Folgenden auf das Interview (Doll, 2015) von Nikolaus Doll mit Horst Neumann vom Unternehmen Volkswagen

verwiesen. Als Personalvorstand und Spitzenmanager spricht er hier über die Kosten von Robotern in Unternehmen. Im Artikel werden konkrete Zahlen genannt und Kosten für unterschiedliche Roboter abgeschätzt. Folgende Eckdaten werden zur Kostenermittlung herangezogen:

- Laufzeit: 7 Jahre
- Betriebszeit: 250 Arbeitstage pro Jahr mit 20 Stunden pro Arbeitstag
  Dies ergibt 5000 Stunden pro Jahr, auf 7 Jahre bezogen 35000 Stunden.
- Betriebskosten: Strom – (1-13kW) mit einem Preis von 0,1 €
- Instandhaltung: 5 % von der Robotergrundstruktur

Tabelle 14: Kosten eines Roboters in Abhängigkeit verschiedener technischer Spezifikationen in Anlehnung an Doll (2015)

Roboterpreis-kategorie	Gesamtkosten des Roboters	Kosten pro Stunde
Kat. 1	30 000 €	0,90 €
Kat. 2	75 000 €	2,10 €
Kat. 3	112 000 €	3,20 €
Kat. 4	182 000 €	5,20 €
Kat. 5	217 000 €	6,20 €
Kat. 6	250 000 €	7,10 €
Kat. 7	400 000 €	11,40 €

Tabelle 14 zeigt eine Auflistung der Gesamtkosten von verschiedenen mit dem praktischen Anwendungsfall vergleichbaren Robotern, basierend auf den Eckdaten des zuvor erwähnten Artikels (Doll, 2015). Die Preiskategorien richten sich nach unterschiedlichen technischen Spezifikationen.

Diese Daten belegen, dass selbst die teuerste Variante (Kat. 7 in Tabelle 14) mit 11,40 € pro Stunde im Vergleich zu einem Arbeiter wesentlich günstiger ist. Der kooperierende Roboter, welcher bei der Neugestaltung des Arbeitsplatzes eingesetzt wird, liegt aufgrund seiner Bauart hinsichtlich der Kosten aller Voraussicht nach im Bereich von unter 100.000 €. Damit kostet jede Arbeitsstunde des Roboters weniger als 3 €. In Anbetracht dieser Zahlen ist der Einsatz des Roboters aus wirtschaftlicher Sicht gerechtfertigt, ökonomisch sinnvoll und deshalb aus Sicht des Unternehmens ein stichhaltiger Grund den manuell geführten Arbeitsplatz mit einem kooperierenden Roboter zu erweitern.

6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Abschließend gilt es zu reflektieren, welche Verbesserungen durch das neugestaltete Konzept des Arbeitsplatzes erreicht werden können. Die Ziele aus Sicht des Unternehmens (siehe Kapitel 6.2) dienen dabei als Referenz.
In diesem Kontext wird zusammengefasst, inwiefern die Produktivität am konkret beschriebenen Arbeitsplatz durch das ausgearbeitete Konzept gesteigert werden kann. Dabei sollen vor allem die zeitlichen Veränderungen hervorgehoben werden. Eine der aufgestellten Kernforderungen von der Unternehmensseite ist der Wunsch, dass die zu verrichtenden Tätigkeiten zumindest gleich schnell, im Idealfall sogar rascher umgesetzt werden. Unter Anwendung der verschiedenen Aufgabenanalysemethoden konnten hierzu zahlreiche Erkenntnisse hinsichtlich möglicher Neustrukturierungen gewonnen werden.

Vorhaben und Zielsetzungen im Rahmen der Neugestaltung des Arbeitsplatzes:

- Produktivitätssteigerung durch Implementierung eines kooperierenden Roboters
- Senkung der durch den Arbeitsplatz verursachten Kosten
- Entlastung der Mitarbeiter infolge von Automatisierung arbeitsintensiver Tätigkeiten
- Neustrukturierung des Arbeitsplatzes auf Grundlage neuer Erkenntnisse

Diese Ziele können durch verschiedene Maßnahmen im Rahmen der Neustrukturierung erreicht werden. Mit dem Einsatz des kooperierenden Roboters werden neue Möglichkeiten zur Umsetzung der geforderten Aufgaben geschaffen. Ein wesentlicher Vorteil des neuen Arbeitsplatzes ist der Umstand, dass verschiedene Tätigkeiten parallel abgehandelt werden können. Zum anderen folgt die Bewältigung der Aufgabe nun einer einheitlichen und in sich konsistenten Prozessstruktur. Am Beispiel des bisher manuell geführten Arbeitsplatzes ist erkennbar, dass gerade im Bereich des Scannens der Baugruppen die hohen psychischen Belastungen eine sehr unorganisierte Form der Arbeitsgestaltung nach sich zog. Mit der Neugestaltung des Arbeitsplatzes können diese Herausforderungen gelöst werden, indem durch die Entlastung der Mitarbeiter mögliche Fehlerquellen bei steigender Arbeitsleistung minimiert werden.

Beim Lösungsfindungsprozess wurde dementsprechend auch ein großer Wert auf die Anordnung der einzelnen Komponenten des neugestalteten Arbeitsplatzes gelegt. Die Arbeitswege des Roboters sollen mit Blick auf die Produktivität möglichst kurz ausgeführt werden und des Weiteren gilt es möglichst viele Fehler- bzw. Gefahrenquellen auszuschließen.

Um frühzeitig mögliche Probleme der Anlage zu erkennen, wurde der Monitor ins Sichtfeld des Mitarbeiters gesetzt. Durch die Darstellung der wichtigsten Daten behält der Mitarbeiter stets den Überblick über sämtliche Prozesse. Außerdem wurde auch in Erwägung gezogen die Sensoren direkt am Roboter zu implementieren, letztlich wurde in dieser Diplomarbeit jedoch davon Abstand genommen. Der Grund liegt einerseits in der Reduzierung des Risikos einer Kollision der Sensoren bzw. der dafür verlegten Kabel mit anderen Komponenten in der Umgebung. Zum anderen kann durch die Aufteilung der beiden Tätigkeiten in zwei parallele Prozesse (Scannen und Bewegen der Baugruppen) der Zeitaufwand minimiert werden.

Die Kennzahl zur Bestimmung des Potentials der Produktivitätssteigerung umfasst vor allem die zeitliche Veränderung im Vergleich zur Arbeitssituation vor der Neugestaltung des Arbeitsplatzes. Hier sind insbesondere die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Kapitel 6.5.2.1 hervorzuheben, welche in Abbildung 31 grafisch dargestellt werden.

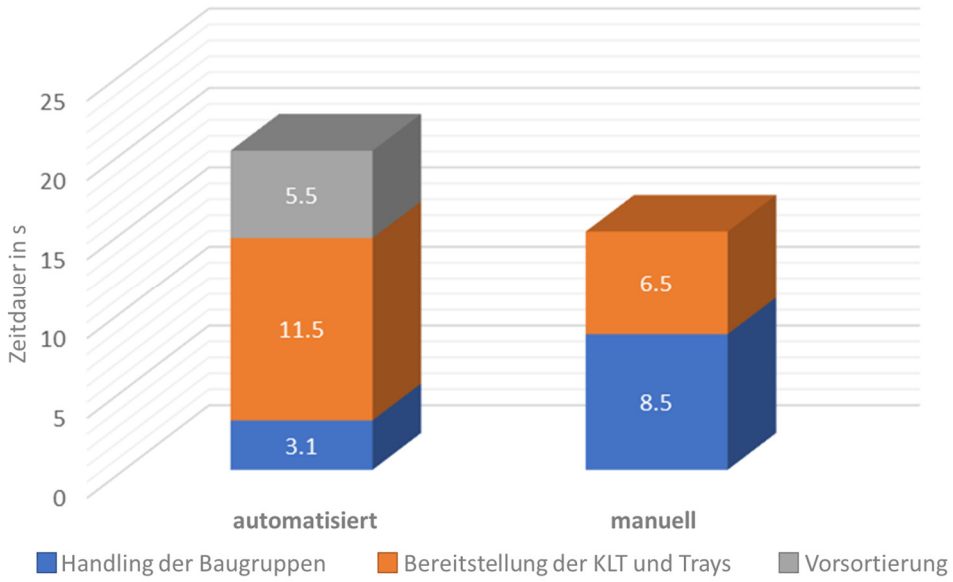

Abbildung 31: Zeitliche Gliederung des Gesamtprozesses (in Anlehnung an Tabelle 13)

Der blaue Balken verdeutlicht dabei die benötigte Zeitdauer für das Bewegen der Baugruppen. Der in orange gehaltene Balken beschreibt wiederum das Bereitstellen der Kleinladungsträger und Trays. Im Gegensatz dazu veranschaulicht der graue Balken die notwendige Zeitdauer für das Vorsortieren der Baugruppen. Dieser Bereich findet allerdings nur beim automatisierten Prozess Beachtung und ist bei einer angenommenen Fehlerquote von maximal 5 % vernachlässigbar. Zudem muss hierbei erwähnt werden, dass der manuelle Prozess in Abbildung 31 von idealen Verhältnissen ausgeht und dementsprechend Konzentrationsprobleme der Mitarbeiter unberücksichtigt bleiben. Diese grafische Darstellung

verdeutlicht, dass ohne Berücksichtigung der Vorsortierung der Baugruppen der automatisierte Prozess eine Steigerung der Produktivität aufgrund zeitlicher Vorteile zur Folge hat.

Um die zeitlichen Auswirkungen hinsichtlich der Neugestaltung des Arbeitsplatzes stärker zu differenzieren wird in Abbildung 32 grafisch auf die einzelnen Teilprozesse im Vergleich zum Gesamtprozess eingegangen. Diese Abbildung verdeutlicht nochmals, dass sich ungeachtet der Vorsortierung die Produktivität des Gesamtprozesses durch einen automatisierten Prozess erhöht.

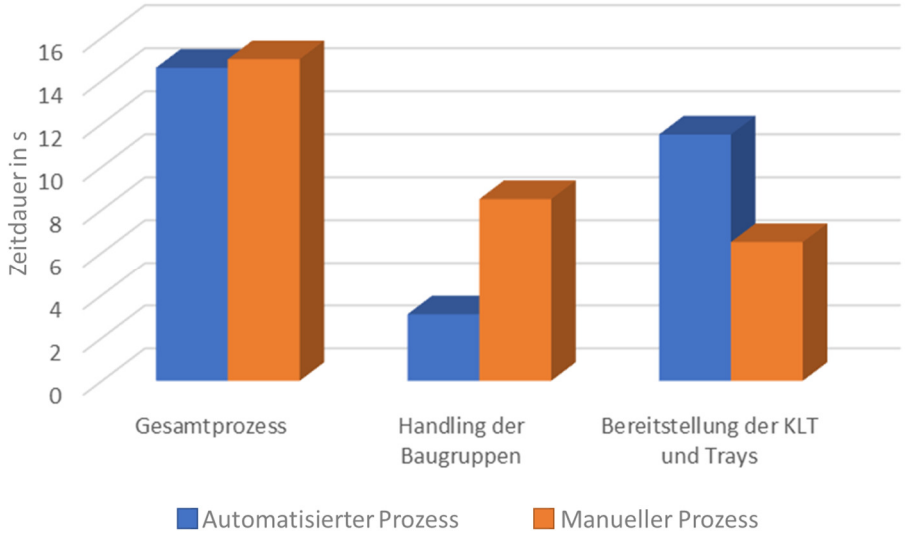

Abbildung 32: Zeitlicher Vergleich zwischen automatisiertem und manuellem Prozess (in Anlehnung an Tabelle 13)

In Bezug auf die Produktivität wurde in Kapitel 6.5.2.2 auch die Kostenfrage betrachtet. Mit Tabelle 14 wurden in Abhängigkeit unterschiedlicher technischer Spezifikationen die Aufwendungen in Bezug auf eine Einführung von Robotern dargelegt. Es wird auf Basis dieser Zahlen eindrucksvoll festgestellt, dass sich selbst bei der teuersten Variante (mit Gesamtkosten von 400.000 €) die Kosten pro Stunde auf lediglich 11,40 € belaufen. Damit ist auch in diesem Fall klar, dass die Forderung des Unternehmens nach einer Reduzierung anfallender Kosten erfüllt werden kann.

Die Entlastung der Mitarbeiter hinsichtlich ermüdender Tätigkeiten trägt ebenso zur Produktivitätssteigerung bei. Hierbei bringt insbesondere der Einsatz des kooperierenden Roboters im Bereich des Scannens und Verpackens wesentliche Vorteile mit sich. Nachdem sich die beiden Mitarbeiter im Rahmen des manuell geführten Arbeitsplatzes aufgrund von Konzentrationsproblemen ständig abwechseln mussten, kann mit Hilfe des Einsatzes eines

kooperierenden Roboters die Produktivität und Effizienz gesteigert und der Mensch gleichzeitig entlastet werden.

7 Ausblick

Mit dem Einzug der Automatisierung ab Mitte des 18. Jahrhunderts wurde eine vollkommene Technisierung der Arbeitsprozesse angestrebt. Mit steigenden technischen Fortschritten und der zunehmenden Bedeutung der Digitalisierung in der Fertigung wurde die menschenleere Fabrik als erstrebenswert angesehen. Der Mensch musste dennoch relativ rasch erkennen, dass industrielle Prozesse sehr komplex und hochsensibel sein können. Oftmals sind es einfache Dinge, wie bspw. eine lockere Schraube, die hochkomplexe Fertigungsanlagen zum Erliegen bringen können. Zum aktuellen Zeitpunkt kann daher kaum auf die menschliche Arbeitskraft im Produktionsumfeld verzichtet werden und eine menschenleere Fabrik scheint in absehbarer Zeit – aus technischer Sicht – ein Wunschtraum zu bleiben.

Zu welcher Produktionsform und in weiterer Folge zu welcher technischen Lösung sich ein Unternehmen letztlich entscheidet, bestimmt sich heutzutage häufig anhand der in Kapitel 3 beschriebenen sozialen Trends. Um den rasant steigenden Bedarf der Konsumgesellschaft zu decken, wurde lange Zeit der automatisierten Massenproduktion der Vorzug eingeräumt. Der zunehmende Wunsch vieler nach Individualisierung und Nachhaltigkeit führt nun zu gänzlich neuen Herausforderungen. Neben den in Kapitel 3 angeführten äußeren Einflüssen prägen ebenso innere Faktoren die Entscheidungen der Unternehmen. So ist es ein wachsendes Anliegen vieler Unternehmen die Flexibilität in der Produktion zu erhöhen. Die Reaktion darauf ist der zunehmende Einsatz industrieller Roboter. Mit den steigenden Fähigkeiten nehmen diese aber immer häufiger die Positionen von Arbeitnehmern ein und lösen einen Verdrängungswettbewerb zu Lasten der Belegschaft aus.

Mit wachsenden technologischen Zusatzfunktionen werden Roboter mobiler und leistungsfähiger. Darüber hinaus ist es nicht mehr Usus Maschinen durch Schutzgitter räumlich vom Menschen zu trennen. Das zeigen immer stärker kollaborative, kooperierende sowie einfache Transport-Roboter im Bereich der industriellen Fertigung. Unterschiedlichste Sensoren und Werkzeuge ermöglichen es den smarten Maschinen einen Großteil der bisher für den Menschen bestimmten Arbeiten zu übernehmen. Nichtsdestotrotz stoßen Roboter nach wie vor an ihre Grenzen. Im Falle eines technischen Gebrechens einer Industrieanlage wird wohl auch in Zukunft ein geschultes Fachpersonal notwendig sein, um das technische Problem zu

beheben. Eine weitere wichtige Eigenschaft, welche den Menschen im Vergleich zu Maschinen auszeichnet, ist das Streben nach technischer Perfektion. Der Mensch sucht aus eigenem Antrieb mit Hilfe des menschlichen Verstandes laufend nach Möglichkeiten, Anlagen und technische Geräte zu verbessern und weiterzuentwickeln. Die durch Bainbridge postulierten Aussagen zu den „Ironien der Automatisierung“ zeigen, wie in der Arbeit beschrieben, weitere Schwächen in der Nutzung von Maschinen auf. Zudem ist es interessant zu beobachten, dass hochtechnisierte Maschinen oft größte Mühe mit aus menschlicher Sicht einfachsten Tätigkeiten haben. Ein in dieser Hinsicht triviales Beispiel ist das Greifen nach biegeschlaffen Objekten.

Nichtsdestotrotz ist davon auszugehen, dass aufgrund der technologischen Weiterentwicklungen Roboter sich die Fähigkeit des Lernens („machine learning“) aneignen werden und somit während der Produktion aktiv mitdenken werden. Eine wesentliche Rolle spielt in diesem Zusammenhang die Vernetzung sämtlicher an der Fertigung beteiligter technischer Systeme. Damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sich Maschinen untereinander unter der Prämisse von Faktoren, wie der Produktionszeit und -menge, anpassen werden können. Von softwareseitigen Weiterentwicklungen wie der Nutzung von cloudbasierten Anwendungen und Fortschritten im Bereich „Internet der Dinge“ werden in Zukunft eminente Effizienzsteigerungen erwartet. Sehr vielversprechend wirken auch innovative Konzeptlösungen mit sog. intelligenten Produkten. So besitzen diese bereits jetzt die Fähigkeit, während der laufenden Produktion Daten über sich an umliegende Maschinen zu übertragen und können so in Zukunft den Produktionsprozess revolutionieren. Doch auch Begriffe wie „Smart Grids“ oder „Smart Buildings“ versprechen radikale Innovationen, gerade im Bereich nachhaltig geführter Produktion.

Im Fertigungsbereich konzentriert sich ein Großteil der Entwicklungen aber nach wie vor auf den Bereich der Robotik. Die eingesetzten Roboter werden in ihren Anwendungsmöglichkeiten immer umfassender und es ist davon auszugehen, dass sie immer komplexere Aufgaben übernehmen werden können. Besonders durch die Abnahme gefährlicher Arbeiten werden sie an Akzeptanz im Arbeitsalltag gewinnen und einen großen Beitrag zur Arbeitsplatzsicherheit leisten. In Arbeitsumgebungen mit hohen Temperaturen bzw. bei der Handhabung gefährlicher Betriebsstoffe, wo es des Öfteren zu schwerwiegenden Arbeitsunfällen kommt, weisen Roboter eine hohe Widerstandsfähigkeit auf. Eine weitere Kompetenz von Maschinen ist ihre unglaubliche Schnelligkeit, gepaart mit einer konstant niedrigen Fehlerquote.

Die künftige Forschung wird sich im Robotikbereich zunehmend auf das Erlernen kognitiver Fähigkeiten konzentrieren. Basierend auf dieser Annahme ist davon auszugehen, dass langfristig gesehen in jeder Produktionshalle ein zentraler Computer die Geschicke der Fertigung leiten wird. Dieser wird die Federführung über einzelne Produktionslinien übernehmen, wobei der Mensch die Rolle des prüfenden und korrigierenden Faktors einnehmen wird. Der Zentralcomputer wird eine Leistungsfähigkeit erlangen, mit der er die Koordination und Kommunikation der einzelnen Produktionssysteme steuern und regeln wird können. Dabei werden in Echtzeit eingehende Informationen der gesamten Wertschöpfungskette die Entscheidungen des Zentralcomputers laufend beeinflussen.

Darüber hinaus wird es auch wesentliche Weiterentwicklungen im Bereich der Mobilität von Robotern geben. Das bedeutet nicht, dass in Zukunft humanoide Roboter in Fabriken arbeiten werden. Vielmehr geht man davon aus, dass aktuelle, bereits bestehende Industrieroboter in einem bestimmten Arbeitsbereich noch mehr individuelle Freiheiten bekommen werden. Die Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen wird mittelfristig noch an einem konkreten, gemeinsamen Arbeitsplatz stattfinden, ähnlich wie es beim praktischen Beispiel in dieser Diplomarbeit der Fall ist. Dies liegt auch am Umstand, dass viele Industrieroboter in ihren Fähigkeiten nach wie vor sehr limitiert sind. So werden kurz- und mittelfristig Produktionsarbeiter als Bindeglied zwischen einzelnen Arbeitsbereichen fungieren und Tätigkeiten übernehmen, die für aktuelle Robotiksysteme nach wie vor schwierig zu handhaben sind. Diesen Umstand erkennt man in Kapitel 6 vor allem am Trennprozess, welcher aktuell nur schwer zu automatisieren ist.

Nichtsdestotrotz wird der Mensch vor allem bei schweren, gefährlichen sowie monotonen und psychisch anstrengenden Arbeiten durch Maschinen ersetzt werden. Bei für Menschen einfach geltenden Aufgaben und Tätigkeiten, wo Fingerspitzengefühl gefragt sein wird, wie dem Verkabeln von Drähten oder eben dem in Kapitel 6 beschriebenen Trennprozess, wird der Mensch hingegen noch länger eingesetzt werden. Dennoch bin ich davon überzeugt, dass langfristig gesehen der Roboter viele der aktuell von Menschen umgesetzten Tätigkeiten durchführen wird. Der Mensch wird künftig vorwiegend Tätigkeiten im Bereich der Instandhaltung übernehmen.

Die bisher erwähnten Änderungen im Bereich der Produktion legen die Vermutung nahe, dass eine vollautomatisierte Fabrik ohne menschliche Arbeitskraft kaum vorstellbar erscheint. Diese

Annahmen haben dabei neben einem technologischen, vor allem auch einen ökonomischen Hintergrund. Es stellt sich demnach auch die Frage, welche organisatorischen Veränderungen mit den technologischen einhergehen werden. Basierend auf diesen Annahmen, wird in Industrieunternehmen kurz- bis mittelfristig die polarisierte Organisationsform einen hohen Stellenwert einnehmen. Diese beschreibt nach Hirsch-Kreinsen und ten Hompel (2016) einen Ansatz, welcher darauf abzielt die innerbetrieblichen Aufgaben sowie die Qualifizierung der Mitarbeiter heterogen zu gestalten. Es stehen bei dieser organisatorischen Variante zwei Arten von Beschäftigungsgruppen einander gegenüber. Die erste Gruppe wird in Zukunft nur noch eine geringe Zahl an Aufgaben mit geringem Handlungsspielraum ausführen. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um Überwachungs- und Kontrollaufgaben. Demgegenüber steht eine größere Gruppe aus hoch qualifizierten Spezialisten. Das Qualifikationsniveau dieser Personengruppe wird entsprechend dem heutigen Stand deutlich über jenen des aktuellen Facharbeiterniveaus liegen. Ihr Aufgabenbereich erstreckt sich nicht nur auf dispositive Tätigkeiten, wie der Bewältigung von Störungsfällen, sondern auch auf den Bereich des Produktionsmanagements.

Auf lange Sicht gesehen ist es wiederum wahrscheinlich, dass die polarisierte Organisationsform von einer Schwarmorganisation abgelöst wird. Grundzüge der polarisierten Organisationsform sind heute bereits häufig in Produktionshallen anzutreffen, so auch am gezeigten Arbeitsplatz in Kapitel 6. Menschen üben Tätigkeiten aus, die für sie leicht durchführbar und bewältigbar sind, währenddessen Roboter sehr aufwendige Aufgaben übernehmen. Andererseits werden viele Unternehmen, ähnlich wie es Daimler (Eckert, 2017) bereits erfolgreich praktiziert, in vielen Produktionsbereichen zu einer Form der Schwarmorganisation übergehen. Ein wesentliches Merkmal dieser Organisationsform ist, dass es für die Arbeiter keine bestimmten und vordefinierten Tätigkeiten mehr gibt. Es kommt vielmehr zu einer Selbstorganisation des Arbeitskollektivs. Die Tätigkeiten werden in diesem Kontext hoch flexibel entsprechend der zugrundeliegenden Situation vergeben. In diesem Kontext wird es notwendig sein, das Qualifikationsniveau der Mitarbeiter zu heben und diese hin zu einer umfassenden Kompetenz der Selbstorganisation auszubilden. Die Mitarbeiter werden ihre Fähigkeiten vermehrt beim Planen und Einführen neuer Produktionssysteme unter Beweis stellen müssen. Die Betreuung einzelner Arbeitsbereiche wird in weiterer Folge neben handwerklichem Geschick zunehmend Managementfähigkeiten der Arbeiter erfordern. Die Instandhaltung sowie das rasche Handeln im Falle von größeren Produktionsproblemen werden

dabei im Mittelpunkt des künftigen menschlichen Arbeitsalltags stehen (Hirsch-Kreinsen und ten Hompel, 2016).

Fundierte Zukunftsaussagen über die Gestaltung der Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen sind aktuell sehr schwierig. Ich gehe davon aus, dass es hinsichtlich der diskutierten Organisationsformen zunächst zur Anwendung von Mischformen kommen wird. Kurzfristig wird sich mit großer Wahrscheinlichkeit noch die polarisierte Organisation durchsetzen. Es wird aber auch sehr stark von den Unternehmen selbst abhängen. Insbesondere kleinere Industriebetriebe werden wahrscheinlich aus humanistischen Gesichtspunkten und den hohen Anschaffungskosten zunächst nur spärlich auf den Einsatz von Robotern setzen. Größere Industriebetriebe hingegen werden aufgrund der vorhandenen Kapitalausstattung den Einsatz von Robotern forcieren und fördern. Darüber hinaus werden größere Betriebe in der Produktion rascher auf eine Form der Schwarmorganisation setzen. Der Einsatz von Maschinen und Robotern wird für große Industriebetriebe letztlich eine entscheidende Rolle spielen, um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können. Für den Menschen steht hingegen fest: Wenngleich die vierte industrielle Revolution viele Herausforderungen mit sich bringt, mit Hilfe sozialer Kompetenz und entsprechendem Willen zur Weiterbildung wird er auch in der Arbeitswelt der Zukunft seinen Platz finden.

8 Literaturverzeichnis

Anderson, R. J. (1996) *Autonomous, teleoperated, and shared control of robot systems*, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Minneapolis, USA. doi: 10.1109/ROBOT.1996.506169.

Bainbridge, L. (1983) „Ironies of automation“, *Automatica*. doi: 10.1016/0005-1098(83)90046-8.

Bauernhansl, T., Ten Hompel, M. und Vogel-Heuser, B. (2014) *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien und Migration*. Springer.

Bechstedt, U., Bengler, K. und Thuering, M. (2005) „Die Entwicklung idealtypischer Nutzermodelle mit Hilfe von GOMS für die Eingabe alphanumerischer Zeichen in Fahrerinformations- und Assistenzsystemen“.

Benyon David; Turner, P. T. S. (2005) *Designing Interactive Systems: People, Activities, Contexts, Technologies*. Pearson Education UK.

Berthomier, C. und Brandewinder, M. (2013) „Sleep scoring: Man vs. machine?“, *Sleep and Breathing*. doi: 10.1007/s11325-012-0715-1.

Billings, C. E. (1997) *Aviation automation: The search for a human-centered approach*. Lawrence Erlbaum Associates Mahwah, NJ.

Botthof, A. und Hartmann, E. A. (2015) *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Springer.

Bruseberg, A. und Shepherd, A. (1997) „Job design in integrated mail processing.“, in Harris, D. (Hrsg.) *Engineering psychology and cognitive ergonomics.* vol 2. Aldershot, Hampshire: Ashgate Publishing.

Clark, R. E. *u. a.* (2008) „Cognitive task analysis“, *Handbook of research on educational communications and technology*. Lawrence Erlbaum Associates Mahwah, NJ, 3, S. 577–593.

Cooke, N. J. (1994) „Varieties of knowledge elicitation techniques“, *International Journal of Human-Computer Studies*. Elsevier, 41(6), S. 801–849.

Cummings, M. M. (2014) „Man versus machine or man + machine?“, *IEEE Intelligent Systems*. doi: 10.1109/MIS.2014.87.

Daimler AG (2016) *Mensch-Roboter-Kooperation im Mercedes-Benz Werk Bremen*. Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=PBLGCl0H8yo&frags=pl%2Cwn%0D (Zugegriffen: 10. Oktober 2018).

Dietsch, S. (2013) *Untersuchung der visuellen Wahrnehmung und des Verhaltens von Autofahrern an Bahnübergängen*. Technische Universität Berlin. Verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=2ahUKEwiy28GrxKreAhWIKCwKHUUbBTkQFjAIegQIABAC&url=http%3A%2F%2Felib.dlr.de%2F81549%2F1%2FMasterarbeit_final.pdf&usg=AOvVaw1TpxdT4suGbABaD9ym9xr8.

Doll, N. (2015) *Das Zeitalter der Maschinen-Kollegen bricht an*, *Welt, Axel Springer SE*. Verfügbar unter: https://www.welt.de/wirtschaft/article137099296/Das-Zeitalter-der-Maschinen-Kollegen-bricht-an.html (Zugegriffen: 20. November 2018).

Draper, J. V (1995) „Teleoperators for advanced manufacturing: Applications and human factors challenges“, *International Journal of Human Factors in Manufacturing*. Wiley Online Library, 5(1), S. 53–85.

Drury, J. L., Scholtz, J. und Kieras, D. (2007) „Adapting GOMS to model human-robot interaction“, in *Proceeding of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction - HRI ’07*. doi: 10.1145/1228716.1228723.

Duncheon, C. (2002) „Product miniaturization requires automation--but with a strategy“, *Assembly Automation*. MCB UP Ltd, 22(1), S. 16–20.

Eckert, R. (2017) *Warum Daimler auf die Schwarm-Organisation setzt*. Verfügbar unter: https://www.springerprofessional.de/organisationsentwicklung/innovationsmanagement/warum-daimler-auf-die-schwarm-organisation-setzt/12000092 (Zugegriffen: 3. Oktober 2018).

Edwards, J. (2017) *Ich habe Sophia interviewt - den Roboter, der drohte, „die Menschen zu zerstören“*. Verfügbar unter: https://www.businessinsider.de/interview-sophia-ai-roboter-hanson-2017-11 (Zugegriffen: 22. September 2018).

Endsley, M. R. und Kaber, D. B. (1999) „Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task.“, *Ergonomics*. Taylor & Francis.

Fitts, P. (1951) „Human engineering for an effective air navigation and traffic control system“, *Ohio State Univ.*

Fitts, P. M. *u. a.* (1951) *Human engineering for an effective air-navigation and traffic-control system, and appendixes 1 thru 3*.

Frey, C. B. und Osborne, M. A. (2013) „The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?“

Frohm, J. *u. a.* (2008) „Levels of Automation in Manufacturing“, *Ergonomia - an International journal of ergonomics and human factors*.

Frohm, J. und Bellgran, M. (2005) „A model for parallel levels of automation within manufacturing“, in *18th International Conference on Production Research*.

Groover, M. P. (2001) *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. 2. ed. Upper Saddle River, NJ [u.a.]: Prentice Hall.

Hartner-Tiefenthaler, M. und Schlund, S. (2017) *Reader Arbeitswissenschaft*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für Managementwissenschaften.

Hirsch-Kreinsen, H. und ten Hompel, M. (2016) *Digitalisierung industrieller Arbeit: Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze*. Springer.

Hodgkinson, G. P. und Crawshaw, C. M. (1985) „Hierarchical task analysis for ergonomics research: An application of the method to the design and evaluation of sound mixing consoles“, *Applied Ergonomics*. Elsevier, 16(4), S. 289–299.

ISO Standard (2016) „ISO/TS 15066: 2016 Robots and robotic devices-collaborative robots“. ISO.

Johannes Kepler Universität (2018) *Lange Nacht der Forschung – mit schnellstem Kaffee der Welt*. Verfügbar unter: https://www.jku.at/technisch-naturwissenschaftliche-fakultaet/organisation/fachbereiche/mechatronik/news-events/detail/news/lange-nacht-der-forschung-mit-schnellstem-kaffee-der-welt/ (Zugegriffen: 25. September 2018).

John, B. E. und Gray, W. D. (1995) „CPM-GOMS: an analysis method for tasks with parallel activities“, in *Conference companion on Human factors in computing systems*, S. 393–394.

Kauffeld, S. und Martens, A. (2011) „Arbeitsanalyse und -gestaltung“, in Kauffeld, S. (Hrsg.) *Arbeits-, Organisations- und Personalpsychologie für Bachelor*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 195–221; doi: 10.1007/978-3-642-42065-8_11.

Kenngott, H. G. *u. a.* (2016) „Der intelligente Operationssaal“, *Der Chirurg*. Springer, 87(12), S. 1033–1038.

Kern, H. und Schumann, M. (1985) *Industriearbeit und Arbeiterbewußtsein: eine empirische Untersuchung über den Einfluß der aktuellen technischen Entwicklung auf die industrielle Arbeit und das Arbeiterbewußtsein*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

Kornev, S. (2016) „Man or Machine: Humans are Better at, Machines are Better at“, *Cyber Physical Systems in the Context of Smart Manufacturing*, S. 11.

Kotha, S. und Orne, D. (1989) „Generic manufacturing strategies: a conceptual synthesis“, *Strategic management journal*. Wiley Online Library, 10(3), S. 211–231.

Kuka AG (2018) *Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)*. Verfügbar unter: https://www.kuka.com/de-at/technologien/mensch-roboter-kollaboration.

KUKA Systems & KUKA Industries (2016) *Sensitives Fügen von Kegelrädern im Mensch-Roboter-Kollaboration-Betrieb (MRK)*. Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=OxNC8yvsZ6s (Zugegriffen: 10. Oktober 2018).

Lindström, V. und Winroth, M. (2010) „Aligning manufacturing strategy and levels of automation: A case study“, *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M*. doi: 10.1016/j.jengtecman.2010.06.002.

Lotter, B. und Wiendahl, H. (2009) „Changeable and Reconfigurable Assembly Systems“, in *Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems*. doi: 10.1007/978-1-84882-067-8.

Lüdtke, A. (2015) „Wege aus der Ironie in Richtung ernsthafter Automatisierung“, in *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Springer, S. 125–146.

Markoff, J. (2011) „Computer wins on ‚jeopardy!‘: trivial, it’s not“, *New York Times*, 16.

Marsh, R. M. und Mannari, H. (1981) „Technology and size as determinants of the organizational structure of Japanese factories“, *Administrative science quarterly*. JSTOR, S. 33–57.

Milgram, P., Rastogi, A. und Grodski, J. J. (1995) „Telerobotic control using augmented reality“, in *Robot and Human Communication, 1995. RO-MAN’95 TOKYO, Proceedings., 4th IEEE International Workshop on*.

Miller, G. A., Galanter, E. und Pribram, K. H. (1960) „Plans and the structure of behavior“. New York.

Newell, A., Card, S. und Moran, T. (1983) „The psychology of human-computer interaction“. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.

Onnasch, L., Maier, X. und Jürgensohn, T. (2016) *Mensch-Roboter-Interaktion-Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Pankow, G. (2016) *Mensch-Roboter-Kooperation erstmals in VW-Werk Wolfsburg*. Verfügbar unter: https://www.automobil-produktion.de/technik-produktion/produktionstechnik/mensch-roboter-kooperation-erstmals-in-vw-werk-wolfsburg-128.html (Zugegriffen: 10. Oktober 2018).

Parasuraman, R. (2000) „Designing automation for human use: empirical studies and quantitative models“, *Ergonomics*. Taylor & Francis, 43(7), S. 931–951.

Parasuraman, R., Sheridan, T. B. und 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*. IEEE, 30(3), S. 286–297.

Piso, E. (1981) „Task analysis for process-control tasks: The method of Annett et al. applied“, *Journal of occupational psychology*. Wiley Online Library, 54(4), S. 247–254.

Preim, B. und Dachselt, R. (2015) *Interaktive Systeme: Band 2: User Interface Engineering, 3D-Interaktion, Natural User Interfaces*. Springer-Verlag.

Quintanar, S. M. (2017) „Man vs. machine: An investigation of speeding ticket disparities based on gender and race“, *Journal of Applied Economics*. doi: 10.1016/S1514-0326(17)30001-6.

Rampersad, H. K. (1994) *Integrated and Simultaneous Design for Robotic Assembly: Product Development, Planning...* John Wiley & Sons, Inc.

Ruff, H. A., Narayanan, S. und Draper, M. H. (2002) „Human Interaction with Levels of Automation and Decision-Aid Fidelity in the Supervisory Control of Multiple Simulated Unmanned Air Vehicles“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. doi: 10.1162/105474602760204264.

Satchell, P. M. (1998) *Innovation and automation*. Ashgate Publishing.

Schlund, S. (2017) „Grundlagen der Arbeitswissenschaft“, *Vorlesung*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für Managementwissenschaften, 8 November.

Scholtz, J. C. (2002) „Human-robot interactions: Creating synergistic cyber forces“, in *Multi-Robot Systems: From Swarms to Intelligent Automata*. Springer, S. 177–184.

Schrepp, M. und Held, T. (2010) „Anwendung von GOMS-Analysen und CogTool in der Design-Praxis.“, in *Mensch & Computer*, S. 351–360.

Sesink, W. (2012) „Menschliche und künstliche Intelligenz“, *Der kleine Unterschied.*

Sihn, W. *u. a.* (2016) *Sicherheit in der Mensch-Roboter-Kollaboration*. Wien. Verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiyipLbnareAhWJEywKHaPPBYEQFjAAegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.fraunhofer.at%2Fcontent%2Fdam%2Faustria%2Fdocuments%2FWhitePaperTUEV%2FWhite%2520Paper_Sicherheit_MRK_Ausgabe%25201.pdf.

Spiegel Online (2009) „Toyota plant Rückruf von 3,8 Millionen Autos“, 30 September. Verfügbar unter: http://www.spiegel.de/auto/aktuell/blockiertes-gaspedal-toyota-plant-rueckruf-von-3-8-millionen-autos-a-652205.html (Zugegriffen: 25. September 2018).

Spiegel Online (2014) „Toyota beordert 6,4 Millionen Autos in die Werkstätten“, 9 April. Verfügbar unter: http://www.spiegel.de/auto/aktuell/rueckrufaktion-toyota-beordert-millionen-autos-in-die-werkstaetten-a-963356.html (Zugegriffen: 25. September 2018).

Spur, G. (1991) *Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen : eine kulturgeschichtliche Betrachtung der Fertigungstechnik*, *Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen : eine kulturgeschichtliche Betrachtung der Fertigungstechnik*. München Wien [u.a.]: Hanser.

SRF Kultur (2015) *Mensch, Roboter! Wenn Maschinen zu denken beginnen*. Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=8_7zgaYGIAI (Zugegriffen: 23. September 2018).

Stanton, N. A. (2006) „Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions“, *Applied ergonomics*. Elsevier, 37(1), S. 55–79.

Steels, L. und Hild, M. (2012) *Language grounding in robots*. Springer Science & Business Media.

„TaskArchitect 3.1“ (ohne Datum). TaskArchitect. Verfügbar unter: https://www.taskarchitect.com/.

Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T. und ten Hompel, M. (2017) *Handbuch Industrie 4.0 Bd.3 - Logistik*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Wei, J. und Salvendy, G. (2004) „The cognitive task analysis methods for job and task design: Review and reappraisal“, *Behaviour & Information Technology*. Taylor & Francis, 23(4), S. 273–299.

Weka Business Medien GmbH (2018) *Omron-Roboter düst durch Škoda-Werk*. Verfügbar unter: https://www.handling.de/robotertechnik/omron-roboter-duest-durch--koda-werk.htm (Zugegriffen: 10. Oktober 2018).

Westkämper, E. und Löffler, C. (2016) *Strategien der Produktion: Technologien, Konzepte und Wege in die Praxis*. Springer Berlin Heidelberg. Verfügbar unter: https://books.google.at/books?id=bNW6jwEACAAJ.

Wickens, C. D., Gordon, S. E. und Liu, Y. (2004) *An introduction to human factors engineering*, *Pearson*.

Wickens, C. D. und Hollands, J. G. (2000) „Engineering psychology and human performance“.

de Winter, J. C. F. und Dodou, D. (2014) „Why the Fitts list has persisted throughout the history of function allocation“, *Cognition, Technology and Work*. doi: 10.1007/s10111-011-0188-1.

de Winter, J. und Hancock, P. (2015) „Reflections on the 1951 Fitts list: Do humans believe now that machines surpass them?“

Wischmann, S. (2015) „Arbeitssystemgestaltung im Spannungsfeld zwischen Organisation und Mensch--Technik-Interaktion--das Beispiel Robotik“, in *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Springer, S. 149–160.