



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN**

**Vienna University of Technology**

## **Diplomarbeit**

**„Anforderungen an digitale Assistenzsysteme in der Fertigung und Montage und die alter(n)sgerechte Gestaltung von entsprechenden Arbeitssystemen“**

*„Requirements for digital assistance systems in production and assembling and the age-based configuration of correspondent working systems“*

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## **Diplom-Ingenieurs**

unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

**Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr.rer.soc.oec. Selim Erol**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Wolfgang Lechner**

8356359 (E066 482)

Gernlandweg 51

4060 Leonding

Wien, im April 2016

---

Wolfgang Lechner



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## **Diplomarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im April 2016

---

Wolfgang Lechner

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich den Experten der Forschung und Industrie besonderen Dank für ihre wertvolle Unterstützung in den Gesprächen und für den konstruktiven fachlichen Austausch aussprechen.

Meinem Betreuer Dipl.-Ing. Dr. rer.soc.oec. Selim Erol danke ich für seine Anregungen im Laufe des Schreibens.

Spezieller Dank gilt meiner Familie, die mich in dieser intensiven Zeit unterstützt hat.

---

## Zusammenfassung

Der demographische Wandel stellt die Volkswirtschaft und Industrie vor große Herausforderungen, da durch diese Entwicklung zunehmend ältere Arbeitnehmer zur Verfügung stehen. Die Industriebetriebe sehen sich somit einer immer älter werdenden Belegschaft gegenüber, wodurch sich die Frage nach optimalen Voraussetzungen und Entlastungen der Mitarbeiter aus Sicht der Produktionstechnik stellt. Diese Arbeit hat die Zielsetzung „Anforderungen an digitale Assistenzsysteme in der Fertigung und Montage und die alter(n)sgerechte Gestaltung von entsprechenden Assistenzsystemen“.

Die Verknüpfung der Demographie, alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung und digitale Assistenzsysteme bietet im Detail einen großen Themenkreis für Studien und Untersuchungen. Da die Bevölkerung in den westlichen Industriestaaten altert und abnimmt, führt dies zwangsläufig zu einem Mangel an Fachkräften, sodass Mitarbeiter länger am Arbeitsleben teilnehmen müssen. Dazu muss die Arbeitsteilung neu organisiert werden, da sich die Wertschöpfungsprozesse verändern. In einer hochflexiblen Produktion stehen autonome Systeme mit technischen Objekten im Mittelpunkt, die eine bestimmte Intelligenz besitzen, indem sie eigenständig verschiedene Analyse-, Verarbeitungs-, Entscheidungs- oder auch Ausführungsvorgänge durchführen. Durch den vermehrten Einsatz von technischen Komponenten, die im Arbeitssystem Informationen aufnehmen und interpretieren können, Arbeitszusammenhänge verstehen und sich mit anderen technischen Objekten und Systemen vernetzen können, kommt es durch die gewonnene Autonomie zu einer veränderten Situation im sozio-technischen Arbeitssystem beim Zusammenspiel von Mensch und Maschine.

In diesem Zusammenhang stellt sich die berechtigte Frage wie industrielle Arbeitsplätze aussehen sollen, damit ein Mitarbeiter lange Zeit seiner Erwerbstätigkeit nachkommen kann. Neueste Formen technischer Assistenz mit digitaler Informationsgestaltung, die Daten und Informationen interaktiv aus der Produktion und Montage, in Echtzeit und gegebenenfalls kognitiv intelligent ermitteln, unterstützen den Benutzer.

Mittels einer umfangreichen Literaturrecherche werden die Gestaltungsrichtlinien von digitalen Assistenzsystemen im Mensch Maschinen Kontext in Fertigung und Montage, die unter dem Gesichtspunkt des demographischen Wandels zielführend sind, aufgezeigt. Experteninterviews bekräftigen die gewonnenen Erkenntnisse zu der innovativen technologischen Assistenz und stellen einen Praxisbezug her. Das Ergebnis dieser Arbeit stellt auf Basis der Anforderungen an digitale Assistenzsysteme die alternsgerechte Gestaltung dieser Systeme dar und zeigt mögliche Handlungsfelder sowie Szenarien für weitere Untersuchungen.

## Abstract

Demographic change puts great challenges to economy and industry. Because of this trend the number of aged people increases. Manufacturing companies have to manage an aging staff whereby the question of the optimal requirements and relief of the employees in terms of industrial engineering occurs. This thesis has the goal to comprehensively and systematically outline requirements and guidelines for the design and application of digital assistance in production and assembling and the age-based configuration of correspondent working system.

The combination of demography, age-based job design and digital assistance systems offers in detail a big topic for studies and research. The fact that the population of the western industrial nations grows older and decreases lead to a lack of experts so that employees have to participate longer in working life. Therefore the division of work must be organised because of the change of the value-added process. Within a high flexible production autonomous systems with technical objects occupy center stage which possesses a specific intelligence to be able to execute different processes like analysing, manufacturing, deciding or implementing. Because of the increased use of technical components which can collect and interpret information in the working system, understand working connections and link to other technical objects and systems, it will come to a modified situation in the socio-technical working system at the cooperation between human and machine due to the gained autonomy. In this case the qualified question arises how industrial work stations have to look like that an employee can pursue gainful employment for a long time. Latest forms of technical assistance with digital and virtual information design which identify data and information interactive in real time and possibly cognitive intelligent from production and assembling support the user.

In this thesis we conducted a comprehensive literature review to identify relevant literature in the field of digital assistance systems in the context of the human machine in production and assembling which are target-oriented from the point of view of the demographic change. As a result a complete set of requirements and guidelines for digital assistance systems and an age-related design were obtained. The relevance of the findings from the literature review was validated through an interview of experts who confirm the practical experience of the innovative technology. This thesis shows possible action fields and scenarios for further studies.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einführung .....	4
1.1	Die Problematik und Ausgangssituation .....	4
1.2	Die Forschungsfrage .....	6
1.3	Die thematische Abgrenzung .....	7
1.4	Vorgehensweise .....	8
2	Demographische Entwicklung .....	9
2.1	Einleitung in die demographische Entwicklung .....	9
2.2	Österreichische Bevölkerungsentwicklung .....	11
2.3	Paradoxon des demographischen Wandels .....	25
2.4	Auswirkungen des demographischen Wandels .....	28
3	Alter(n)sgerechte Gestaltung von Arbeitssystemen .....	32
3.1	Gerontologie und Entwicklungspsychologie .....	32
3.2	Altersdefizite und –kompetenzen .....	33
3.2.1	Altersdefizite älterer Beschäftigter .....	33
3.2.2	Alterskompetenzen älterer Beschäftigter .....	36
3.3	Veränderungen im Alter und im Altersgang .....	38
3.3.1	Veränderungen im Alter .....	38
3.3.1.1	Wahrnehmungsfähigkeit .....	38
3.3.1.2	Kognitive Veränderungen .....	40
3.3.1.3	Motorische Einschränkungen .....	42
3.3.1.4	Kompensationsstrategien .....	43
3.3.2	Veränderungen im Altersgang .....	45
3.3.2.1	Körperliche physische Leistungsfähigkeit .....	45
3.3.2.2	Physiologische Veränderung im Alter .....	50
3.3.2.3	Mentale psychische Leistungsfähigkeit .....	53
3.3.2.4	Soziale Leistungsfähigkeit .....	53
3.3.2.5	Zusammenfassungen der Leistungsfähigkeitsentwicklung .....	54
3.4	Auswirkungen in Form von günstigen/ungünstigen Arbeitsaufgaben .....	56
3.4.1	Günstige/ungünstige Arbeitsaufgaben .....	56
3.4.2	Altersmanagement für alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung .....	57
3.4.3	Praxisbeispiele für Leistungsfähigkeitsstabilisierung/-steigerung .....	58
3.5	Gestaltung von alter(n)sgerechten Arbeitssystemen .....	59

---

3.5.1	Ergonomische und benutzerorientierte Gestaltung .....	59
3.5.1.1	Ergonomische Gestaltung .....	59
3.5.1.2	Benutzerorientierte Gestaltung .....	60
3.5.2	Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung .....	62
3.5.2.1	Arbeits(system)gestaltung .....	63
3.5.2.2	Arbeitssystem, Arbeitsstrukturierung und Arbeitsorganisation .....	67
3.5.3	Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung in Arbeitssystemen .....	70
3.5.3.1	Alterskritische Arbeitanforderungen .....	70
3.5.3.2	Psychoorganische Veränderungen für einen alter(n)sgerechten Arbeitsplatz .....	71
3.5.3.3	Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung mit erhöhten Belastungen .....	72
3.5.3.4	Flexible Organisation bei alter(n)sgerechter Arbeitsplatzveränderung .....	74
3.5.3.5	Vorgaben für altersgerechten Arbeitsbedingungen .....	76
3.5.4	Maßnahmen und Gestaltungsansätze .....	79
3.5.4.1	Maßnahmen zur altersgerechten Arbeitsgestaltung in Produktionssystemen .....	79
3.5.4.2	Gestaltungsansätze alter(n)sgerechter Wahrnehmung .....	80
3.5.4.3	Gestaltungsansätze alter(n)sgerechter physischer Leistungsfähigkeit .....	82
3.5.4.4	Gestaltungsansätze alter(n)sgerechter Umwelt .....	82
4	Assistenzsysteme in Produktion und Montage .....	84
4.1	Cyber Physical System (CPS) .....	84
4.2	Beschreibung und Unterteilung von Assistenzsystemen .....	85
4.3	Digitale Assistenzsysteme .....	88
4.3.1	Digitale persönliche Assistenzsysteme .....	89
4.3.2	Digitale Assistenzsysteme mit virtueller Ausgabe .....	90
4.3.3	Anwendungen digitaler Assistenzsysteme .....	92
4.4	Anforderungen an digitale Assistenzsysteme .....	94
4.4.1	Anforderungen aus dem Arbeitssystem an Assistenzsysteme .....	94
4.4.2	Anforderungen an die Gestaltung von Assistenzsystemen .....	94
4.4.3	Mensch Maschinen Schnittstelle .....	96
4.4.4	Anforderungen an die Funktionalitäten von Assistenzsystemen .....	100
4.4.4.1	Nutzerseitig funktionale Anforderungen .....	100

---

4.4.4.2	Technisch funktionale Anforderungen .....	102
4.4.5	Nichtfunktionale Anforderungen an Assistenzsysteme .....	105
4.4.6	Chancen und Risiken der Assistenzsysteme .....	107
4.5	Praktischer Einsatz von digitalen Assistenzsystemen .....	112
4.5.1	Aufbau digitaler Assistenzsysteme .....	112
4.5.1.1	Eingabekomponenten .....	112
4.5.1.2	Verarbeitungskomponenten .....	114
4.5.1.3	Ausgabekomponenten .....	116
4.5.1.4	Cave Automatic Virtual Environment (CAVE).....	121
4.5.2	Einsatzbereiche und Anwendungen digitaler Assistenzsysteme.....	123
4.5.2.1	Einsatzbereiche digitaler Assistenzsysteme.....	123
4.5.2.2	Anwendungen in Fertigung und Montage.....	125
4.6	Gestaltung digitaler Assistenzsysteme im Fertigungs- und Montageprozess unter dem Aspekt „alter(n)sgerechter Arbeitssysteme“ .....	129
4.6.1	Allgemeine Bereiche der Gestaltung.....	129
4.6.2	Gestaltung digitaler Assistenzsysteme.....	132
4.6.2.1	Funktionale nutzerbedingte Gestaltung.....	134
4.6.2.2	Funktionale technische Gestaltung .....	144
4.6.2.3	Nichtfunktionale Gestaltung.....	156
4.6.2.4	Alternsgerechte Gestaltung digitaler Assistenzsysteme.....	158
5	Experteninterview.....	165
5.1	Zusammenfassung / Ausblick .....	167
5.2	Validierung .....	184
6	Resümee .....	187
7	Literaturverzeichnis .....	193
7.1	Verwendete Literatur .....	193
7.2	Studien / Publikationen.....	195
7.3	Blätter / Weiterführende Literatur .....	199
8	Abbildungsverzeichnis.....	201
9	Tabellenverzeichnis.....	203
10	Abkürzungsverzeichnis.....	204

# 1 Einführung

## 1.1 Die Problematik und Ausgangssituation

Der demographische Wandel und seine Bedeutung ist zurzeit und zukünftig eines jener sozialgesellschaftlichen Themen, welches unsere Wirtschaft nachhaltig mit seinen Auswirkungen bestimmt.

Wie die allgemeine demographische Entwicklung der Industrienationen im europäischen Zentralraum zeigt, steigt das Durchschnittsalter immer weiter an. Aufgrund der ansteigenden Lebensdauer bei kontinuierlich sinkender Geburtenrate führt dies mittel- bis langfristig zu einer deutlichen Veränderung der Altersstruktur. Die Bedeutung des demographischen Wandels in der Gesellschaft und der damit einhergehenden Alterung der Bevölkerung wird bereits seit längerem im Zusammenhang mit der Finanzierbarkeit des Sozialsystems thematisiert. Die in diesem Zusammenhang auftretenden beschäftigungs- und arbeitspolitischen Folgen gehen bei näherer Betrachtung einher und schlagen sich in aktuellen Arbeitsmarktdaten (vgl. Abschnitt 2) nieder. In Unternehmen steigt hierbei zukünftig der Anteil der älteren Belegschaft deutlich.

Durch die Überalterung kommt es innerbetrieblich zu einem Spannungsfeld zwischen älteren Mitarbeitern und Engpässen beim fachlich qualifizierten Nachwuchs, aber auch konfrontiert die Praxis unsere Gesellschaft mit den Vorurteilen älterer Erwerbstätiger am Beschäftigungsmarkt. Bei näherer Betrachtung dieser Problematik erscheint die Bedeutung des demographischen Wandels als das zentrale Thema unserer Wirtschaft. Aus unternehmerischer Sicht geht es bei einem monetären Lösungsansatz um Kosten, aber auch um Effizienz und Produktivität. Ingenieurwirtschaftswissenschaftlich gesehen wird weniger unter einer rein wirtschaftlichen, als vielmehr einem technisch wirtschaftswissenschaftlichen Ansatz bei einer Betrachtung des Einflusses auf die ältere Belegschaft im Betrieb unterschieden. Bei innerbetrieblicher Überalterung wird von höheren Lohnkosten gesprochen, andererseits versucht die Politik mit gesetzlichen Regulativen der Reduktion der älteren Belegschaft in den Unternehmen gegenzusteuern. Hier entsteht ein Spannungsfeld, welches betriebswirtschaftlich wie auch sozialpolitisch bedenklich erscheint.

Neueste Studien vom Institut für Höhere Studien (IHS)<sup>1 2</sup>, die das Alter selbst als wirtschaftliches Problem darlegen, widersprechen der Agenda Austria Studie<sup>3</sup>. Diese sieht das Senioritätsprinzip mit dem automatischen Anstieg der Löhne als große Aufgabe eines wirtschaftlich orientierten Unternehmens unter der Herausforderung der demographischen Entwicklung. Beide Studien argumentieren unter dem Blickwinkel

---

<sup>1</sup> IHS, 2015a

<sup>2</sup> IHS, 2015b

<sup>3</sup> Agenda Austria, 2015

der Altersarbeitslosigkeit. Bei einer Lebensarbeitszeit von 45 Jahren gelten die Aufmerksamkeit bezüglich des demographischen Wandels und dessen Auswirkungen, dem letzten Drittel der Erwerbstätigkeit. Bei näherer Betrachtung verschwimmt und verschiebt sich aber auch die Grenze zu jenem Personenkreis mit einem Alter nach ihrer beruflichen Herausforderung.

Es zeigt sich, dass die absolute Zahl der älteren Arbeitslosen wesentlich zugenommen hat. Erschreckend ist, dass diese eine deutlich schlechtere Chance bei einem Wiedereinstieg im Arbeitsprozess haben und rund 30 %, die derzeit in den Pensionsantritt wechseln arbeitslos und/oder krank sind<sup>4</sup>.

Der ökonomische Strukturwandel muss in Zukunft von einer deutlich älteren Belegschaft bewältigt werden. Dabei ist es notwendig, dass gleichzeitig mit dem wirtschaftlichen und innerbetrieblichen Alterswandel die bestehenden Altersrisiken in den Unternehmen zurückgehen. Diese sind in den Auswirkungen langjähriger Belastungen und technologischer Weiterentwicklung zu sehen. Um dieser prekären Situation entgegenzusteuern, stellt sich die Frage nach altersintegrativer Arbeitskräftenutzung und unterstützenden Systemen, um das gegebene Potential bestmöglich auszuschöpfen.

Aus Sicht des Unternehmens gelten neben der Prozesssicherheit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit neuer betriebstechnischer Ansätze, vorrangig Fragen der Produktivitätssteigerung, Steigerung der Prozesseffizienz und eine bessere Beherrschung von Komplexität der Arbeitssysteme, nicht zuletzt durch den Arbeitnehmer selbst. Neben der technologischen Weiterentwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) ist deren Einsatz und Praxisbezug ein wesentliches Thema für eine Untersuchung, auch betreffend alters- und alternsgerechter Arbeitsplätze und -systeme. Aus der Sicht des Arbeitnehmers stehen seine Arbeitsfähigkeit, bezüglich Fähigkeiten und Fertigkeiten, seine extrinsische/intrinsische Motivation und vor allem die Sicherheit des/und am Arbeitsplatz im Vordergrund. Lebenslanges Lernen, sich auf neueste Technologien einstellen und Flexibilität im Arbeitsprozess stellen neben sicherheits- und arbeitswissenschaftlichen Aspekten grundlegende Garantien für den Mitarbeiter für eine langfristige Teilnahme am Arbeitsprozess dar.

In Konsequenz ergibt sich aus der demographische Entwicklung und den unternehmerischen Herausforderungen, dass der wirtschaftliche Strukturwandel mit einem notwendigen Paradigmenwechsel zu bewältigen ist. Für die Zukunft der Wirtschaft und am Arbeitsmarkt wird es wichtig sein, ob die Mitarbeiter eines Unternehmens den Anforderungen der technisch arbeitsorganisatorischen Entwicklung entsprechen können und ob rechtzeitig entsprechende betriebsinterne und -externe Maßnahmen eingeleitet worden sind. In diesem Zusammenhang gilt es als sinnvoll anstelle einer

---

<sup>4</sup> AMS Info 313, 2015

überwiegend praktizierten jugendzentrierten Personalpolitik in den Betrieben zu einer prospektiven altersgerechten und integrativen Personalentwicklung zu kommen um das Produktivitätspotential erhalten und nutzen zu können.

Neben einem sozialpolitischen Einstieg in das Thema hat vielmehr die ingenieurwissenschaftliche Betrachtungsweise seine wesentliche Bedeutung für eine Untersuchung, ob neue Technologien am Arbeitsplatz und in Arbeitssystemen alters- und altersgerecht unterstützen und in weiterer Folge den Auswirkungen der demographischen Entwicklung entgegensteuern können. Neben den bekannten betriebswirtschaftlichen Lean Ansätzen des Prozessmanagements, helfen technische Unterstützungen im produktionstechnischen Bereich den Arbeitsprozess zu optimieren. Im soziotechnischen Zusammenhang erhöhen neue Technologien die Leistungs- und Ausdauerfähigkeit der Beschäftigten und verbessern die Arbeitsbedingungen in der Produktion und Montage. Der Einsatz von Hilfssystemen führt zu einer ergonomisch gerechten Unterstützung des Mitarbeiters. Die Digitalisierung und Visualisierung von Daten sowie die Wissens- und Informationsbereitstellung in Echtzeit zur Entscheidungsfindung und –unterstützung werden zu zentralen Themen in Produktionsprozessen.

Die Gestaltung alters- und altersgerechte Arbeitssysteme garantiert die längere Nutzung mitarbeiterseitiger Produktionskapazität. Mit zusätzlichen Hilfssystemen zur Unterstützung in Form von z.B. digitalen Assistenzsystemen in Fertigung und Montage soll der Erwerbsprozess verlängert werden und der Mitarbeiter bleibt länger arbeitsfähig und im Erwerbsprozess integriert.

## 1.2 Die Forschungsfrage

Die bei in Betracht ziehen der Ausgangsposition konkrete Forschungsfrage für eine ingenieurwissenschaftliche Untersuchung lautet:

*„Welche Anforderungen werden an digitale Assistenzsysteme der Produktion und Montage gestellt, um einer alter(n)sgerechten Gestaltung in Arbeitssystemen gerecht zu werden?“*

Dazu müssen die zentralen Fragen:

*„Warum und wie müssen Arbeitssysteme alter(n)sgerecht gestaltet werden?“, „Welche Anforderungen werden an digitale Assistenzsysteme gestellt?“ und „Welche Gestaltungsprinzipien sind aus der Sicht des alternden Mitarbeiters zielführend?“*

erörtert werden.

Für eine Beantwortung der Fragestellungen ist neben dem Aufzeigen der Problematik des demographischen Wandels, insbesondere der spezifisch österreichischen

Entwicklung, dessen konkrete Auswirkungen vor dem Hintergrund der Veränderungen bei zunehmendem Mitarbeiteralter in Arbeitssystemen zu erörtern. Als Ausgangsbasis der Untersuchung ist die Arbeitsgestaltung in alters- und altersgerechten Arbeitssystemen von wesentlicher Bedeutung. Diesbezüglich gilt es diese auf die Anforderungen an digitale Assistenzsysteme der Fertigung und Montage, im Speziellen an Systeme mit virtueller Informationsausgabe anzuwenden und Gestaltungsprinzipien aus der Sicht des alternden Mitarbeiters zu ermitteln.

### **1.3 Die thematische Abgrenzung**

Aus der sehr umfangreichen Thematik, wie industrielle Arbeitsplätze auszusehen haben damit Beschäftigte dort über lange Zeit arbeiten können, ist nach Betrachtung des arbeitswissenschaftlichen Bedarfs im Arbeitssystem ein zentrales Thema, jenes nach einem produktiven Assistenzeinsatzes. Neue Technologien eröffnen Bereiche der digitalen Informations- und Kommunikationsinteraktion und führen in weiterer Folge zu Anwendungen kognitiver intelligenter Assistenzsysteme in der Produktion. Die Wissensaufnahme aus dem Arbeitssystem im Zeitalter einer Industrie 4.0 Produktion führt in die zukünftige Thematik von cyber-physikalischen Systemen.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen digitale Assistenzsysteme soziotechnischer Arbeitssysteme, insbesondere jene der Fertigung und Montage unter dem Gesichtspunkt des demographischen Wandels betrachtet werden. Hierbei gilt es die Anforderungen an die Gestaltung dieser Unterstützungssysteme herauszuarbeiten.

Ein erster wesentlicher Schwerpunkt der Ausarbeitung für die Untersuchung liegt in der Erarbeitung der Veränderungen im Altersgang eines Erwerbstätigen, sowie den daraus resultierenden Auswirkungen auf dessen Fertigkeiten und das Feststellen von günstigen/ungünstigen Arbeitsaufgaben für einen älteren Mitarbeiter. Unter ergonomischen und benutzerorientierten Richtlinien gilt es unter Berücksichtigung von Altersdefiziten und –kompetenzen der Beschäftigten, die Gestaltung von alters(n)gerechten Arbeitssystemen zu erörtern. Diese bieten die Grundlage für ein Feststellen eines Assistenzbedarfs aus dem Gesichtspunkt der Folgen einer demographischen Entwicklung der westlichen Industriestaaten. Neben der allgemeinen Beschreibung und Gliederung von Assistenzsystemen gilt die Betrachtung im zweiten Schwerpunkt der Arbeit dem Aufbau und den Anwendungen digitaler Unterstützungssysteme, sowie deren Gestaltungsmaßnahmen.

Das Ziel der Arbeit ist eine systematische Darstellung der Anforderungen an digitale/virtuelle Assistenzsysteme, sowie daraus resultierende Richtlinien im Mensch Maschinen Kontext. Zusätzlich zu den theoretischen Untersuchungen mittels Literaturrecherche soll der Praxisbezug durch Experteninterviews bekräftigt werden. Dabei werden auch zukünftige Perspektiven und Entwicklungen aus der Sicht der Praxis in Unternehmen erörtert.

Dies bietet Möglichkeiten zu weiterführenden Themen, wie die Evaluierung oder Entwicklung von Maßnahmen oder Strategien im Zusammenhang mit älteren Arbeitnehmern und welche neuen Herausforderungen sich aus der Veränderung einer Mensch Maschinen Interaktion zur Mensch Maschinen Kooperation stellen. Solche und im Zusammenhang stehende Fragestellungen, die sich bei Auseinandersetzen mit intelligenten Assistenzsystemen stellen, sind jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit. Ebenso werden alters- und arbeitsbezogene frauenspezifische Gesichtspunkte, sowie Diversitätsaspekte nicht näher berücksichtigt.

## **1.4 Vorgehensweise**

Diese wissenschaftliche Arbeit hat einen konzeptionellen Hintergrund, bei dem folgendermaßen vorgegangen wurde:

Über eine detaillierte Analyse und Darstellung der volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen, basierend auf statistische Daten zur altersbezogenen Bevölkerungsentwicklung, wird die Entwicklung der Beschäftigung älterer Arbeitnehmer in den Industriestaaten aufgezeigt.

Aufbauend auf den Erkenntnissen der demographischen Bevölkerungsentwicklung erfordern die Veränderungen im Altersgang eines Beschäftigten Maßnahmen bei der Gestaltung betreffender Arbeitssysteme. Mittels Analyse und systematischer Zusammenfassung der Anforderungen an digitale Assistenzsysteme durch eine umfassende Literaturrecherche wurden neben interdisziplinären Überlegungen ergonomische, benutzerorientierte und alter(n)sgerechte Maßnahmen evaluiert.

Um zielführende Gestaltungsmaßnahmen in Fertigungs- und Montageanwendungen digitaler Assistenz zu erhalten, wurde eine systematische Analyse und Beschreibung unter technologischen Gesichtspunkten und Nutzeraspekten erstellt. Zur Bekräftigung der Ergebnisse und dem nötigen Praxisbezug zur Thematik wurden Experteninterviews in österreichischen Unternehmen durchgeführt. Diese qualitative explorative Forschungsarbeit stellt eine Grundlage für weiterführende konzeptionelle und empirische Arbeiten dar.

## 2 Demographische Entwicklung

Für eine Bekräftigung der Ausgangssituation und Problemstellung dieser wissenschaftlichen Arbeit, gilt es die demographische Entwicklung Beschäftigter in den Industriestaaten näher zu erörtern. Dazu werden in diesem Abschnitt neben grundlegenden Begriffen, statistische Daten zur altersbezogenen Bevölkerungsentwicklung erklärt, um die Entwicklung der Beschäftigung älterer Arbeitnehmer in Industriebetrieben aufzuzeigen. Neben der österreichischen Situation wird ein regionaler Kontext berücksichtigt, sowie die Auswirkungen in einer kritischen Betrachtung dargestellt.

### 2.1 Einleitung in die demographische Entwicklung

Als demographischer Wandel wird die nachhaltige Änderung der Altersstruktur bezeichnet. Die Altersstruktur oder Altersverteilung bezeichnet eine statistisch altersmäßige Verteilung, in Gruppen von Personen zum Erfassungszeitpunkt. Sie dient als ein Hilfsmittel der Demografie und bezieht sich auf die Altersverteilung der Bevölkerung zur Unterstützung bei Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung. Graphisch kann dies mit einer einfachen Darstellung veranschaulicht werden. Während auf der Ordinate das Lebensalter der Menschen aufgetragen wird, kennzeichnet die Abszisse die Anzahl der Personen der jeweiligen Altersgruppe (Jahrgang), wobei die Altersstruktur getrennt nach Geschlecht auf zwei Seiten dargestellt wird. Aus der Entstehungsgeschichte wird diese Darstellungsform auch als Alterspyramide oder Bevölkerungspyramide bezeichnet.

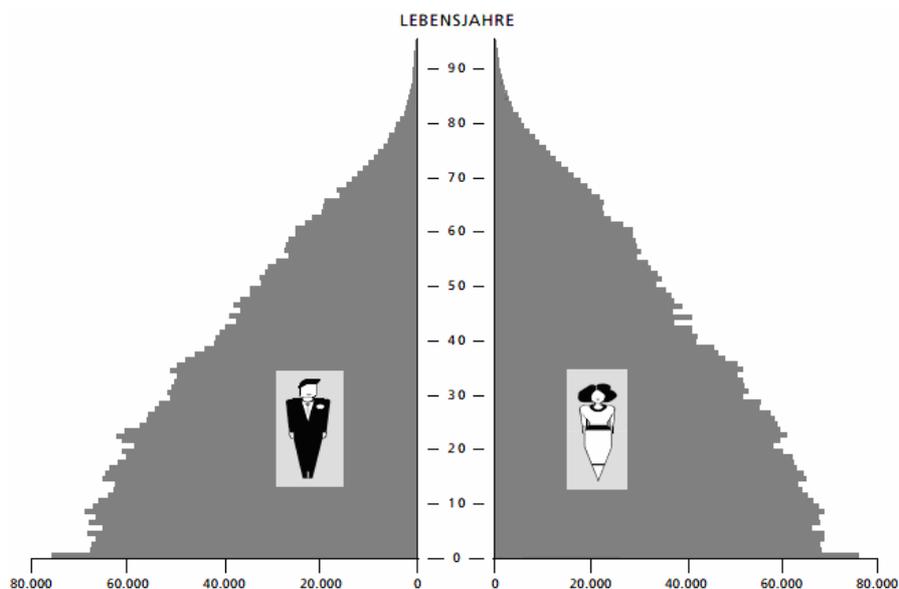


Abb. 1: Österreichische Bevölkerungspyramide 1910 (Quelle: Statistik Austria)<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Kronberger R., AWS Nr. 46, 2004

Die Darstellung aus dem Jahr 1910 zeigt die ursprüngliche Bedeutung der Namensgebung. Diese ähnelt einer heutigen Bevölkerungs- und Altersstruktur keinesfalls. Trotzdem wird dieser Begriff weiterhin allgemein verwendet, auch wenn sich in den allermeisten Industriestaaten die Altersstruktur aufgrund der sinkenden Geburtenraten, einer gestiegenen Lebenserwartung und der verringerten Sterblichkeit (Sterberate) schon längst von einer optischen Darstellung in Pyramidenform weg entwickelt hat.

Zurzeit steht eine Erhöhung von älteren Menschen der Reduktion der jüngeren Bevölkerung gegenüber. Diese Entwicklung ist keine Österreich spezifische Problematik, sondern betrifft nahezu alle hoch entwickelten Industrienationen. Grundsätzlich wird die Veränderung meist auf eine geographische oder branchenspezifische Bevölkerungsentwicklung einer Altersgruppe bezogen.

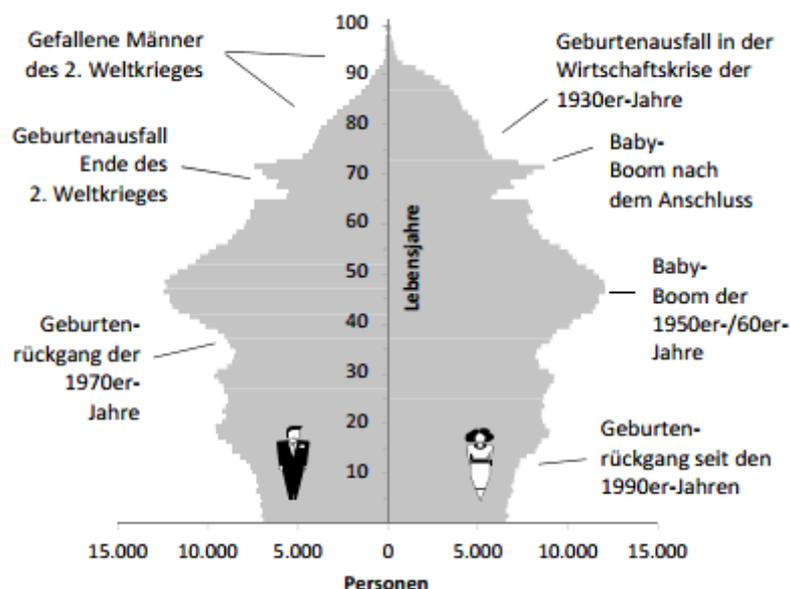


Abb. 2: Bevölkerungspyramide 2011 im Jahresdurchschnitt (Quelle: Land OÖ, Abt. Statistik/2015)<sup>6</sup>

Das demographische Altern beschreibt die quantitative Verschiebung zwischen den Altersgruppen. Hinsichtlich der Betrachtung und ihrer Wirkung wird zwischen den Faktoren Alter und Altern unterschieden. Einerseits gilt es die Veränderungen innerhalb von Altersgruppen, andererseits die Proportionen der Altersgruppen zueinander näher zu betrachten. Die Annahme, dass kausale Zusammenhänge betreffend Altersfaktoren mit deren Auswirkungen in Zukunft bestehen bleiben, ermöglichen Aussagen über zukünftige Aussichten alter(n)sgerechter Systeme. Dagegen spricht, dass eine gestaltbare Zukunft eine Gestaltungsmöglichkeit der Zusammenhänge und dadurch deren Wirkung bedeutet. Die altersbezogenen Einflussfaktoren die sich zukünftig ändern werden sind weniger geschlechter-, einkommens- und wertbezogen,

<sup>6</sup> Land OÖ, Abt. Statistik, Bevölkerungsveränderung, 2015

sondern liegen vermehrt in Qualifikation und technischem Fortschritt. Von diesen divergierenden Aussagen ausgehend wird der Status quo als Grundlage der Untersuchung festgesetzt.

In einer gesellschaftlichen wirtschaftlichen Betrachtungsweise der demographischen Entwicklung ist bei der Betrachtung der Bevölkerungsentwicklung vorwiegend der Zusammenhang des steigenden Altersdurchschnitts der Menschen und deren individueller Leistungsfähigkeit von Interesse. Die Betriebsökonomie befasst sich hingegen mit der entstehenden Auswirkung für das Unternehmen und den daraus resultierenden Leistungskennzahlen. Während sozialpolitisch verschiedene Lösungsansätze wie Erhöhung der Geburtenrate zur Absenkung des Durchschnittsalters, geregelte Einwanderungspolitik, sowie veränderte Abgabenbelastungen um den Generationenvertrag zu gewährleisten, diskutiert werden, bietet der Ansatz über die Produktivität im Unternehmen einen wirtschaftswissenschaftlichen Zugang zur gegenständlichen Thematik. Die Erhöhung der Produktivität durch Förderung des technischen Fortschritts ist einerseits politisch zu unterstützen, bietet aber auch betriebswirtschaftlich eine erhebliche Möglichkeit sich aktiv mit dem Thema älterer Beschäftigter zu befassen.

Wie wichtig zukünftig die Auswirkungen einer demographischen Entwicklung auf die betriebliche Arbeitssituation sein werden, zeigen nachfolgende Bereiche die näher ausgeführt werden.

## 2.2 Österreichische Bevölkerungsentwicklung

- Entwicklung der Bevölkerungs- und Altersstruktur in Österreich:

Unter Zuhilfenahme der Bevölkerungsprognose früherer Jahre zeigt sich aus nachstehender Tabelle (Tabelle 1) eine stetige Abnahme der Anzahl der unter 15-Jährigen (im Zeitraum 2015 bis 2060: minus 1,8%) bei einer Zunahme der über 60-Jährigen in den nächsten Jahren (im Zeitraum 2015 bis 2060: plus 11,9%), was sich auch auf das Durchschnittsalter mit +5,7 Jahren im den Jahren zwischen 2015 und 2060 niederschlägt.

Jahr	insgesamt	0 bis unter 15 Jahre		15 bis unter 60 Jahre		60 und mehr Jahre		Durchschnittsalter
		absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	in Jahre
2005	8,131.353	1,298.421	16,0	5,032.604	61,9	1,800.329	22,1	40,6
2010	8,255.368	1,214.576	14,1	5,112.440	61,9	1,928.352	23,4	41,7
2015	8,347.927	1,174.297	14,1	5,120.675	61,3	2,052.955	24,6	42,7

2020	8,400.920	1,156.808	13,8	5,002.745	59,5	2,241.367	26,7	43,7
2025	8,425.533	1,140.076	13,5	4,799.706	57,0	2,485.751	29,5	44,6
2030	8,420.812	1,111.997	13,2	4,609.085	54,7	2,699.730	32,1	45,6
2040	8,329.468	1,037.509	12,5	4,431.956	53,2	2,860.003	34,3	47,2
2050	8,162.695	995.590	12,2	4,226.886	51,8	2,940.219	36,0	48,2
2060	7,907.122	969.716	12,3	4,048.188	51,2	2,889.218	36,5	48,4
2070	7,651.316	937.557	12,3	3,947.419	51,6	2,766.340	36,2	48,3

Tabelle 1: Bevölkerungsprognose 2003 (Quelle: Statistik Austria, mittlere Variante)

Für Österreich werden regelmäßig Bevölkerungsprognosen von Statistik Austria erstellt. Die Zahl und Struktur der Bevölkerung werden in die Zukunft mit Hilfe von Annahmen über die künftige Entwicklung von Geburten, Sterbefällen und Wanderungsbewegungen fortgeschrieben. Um den Unsicherheiten der künftigen Entwicklung Rechnung zu tragen, wird die Prognose in mehreren Varianten zur künftigen Entwicklung gerechnet. Neueste Prognosen von Statistik Austria aus dem Jahr 2015 (Tabelle 2) zeichnen trotz leicht veränderter Altersgruppeneinteilung in den Segmenten der Erwerbsfähigkeit und Pensionierung ein ähnliches Bild. Die Prognosen für die erwerbsfähige Bevölkerung in der Zeitspanne zwischen 2015 und 2060 reduziert sich die Anzahl um 9,3%.

Jahr	insgesamt	0 bis unter 20 Jahre		20 bis unter 65 Jahre		65 und mehr Jahre	
		absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %
2014	8.543.932	1.686.089	19,7	5.285.847	61,9	1.571.996	18,4
2015	8.620.822	1.688.121	19,6	5.336.066	61,9	1.596.635	18,5
2016	8.691.369	1.690.276	19,4	5.380.767	61,9	1.620.326	18,6
2017	8.758.681	1.693.851	19,3	5.420.954	61,9	1.643.876	18,8
2018	8.822.537	1.700.268	19,3	5.453.087	61,8	1.669.182	18,9
2019	8.882.863	1.709.068	19,2	5.478.163	61,7	1.695.632	19,1
2020	8.939.242	1.718.848	19,2	5.495.215	61,5	1.725.179	19,3
2025	9.155.847	1.765.468	19,3	5.466.877	59,7	1.923.502	21,0

2030	9.313.617	1.801.356	19,3	5.333.303	57,3	2.178.958	23,4
2035	9.432.401	1.814.795	19,2	5.212.916	55,3	2.404.690	25,5
2040	9.521.975	1.805.601	19,0	5.182.162	54,4	5.182.162	26,6
2045	9.588.125	1.789.164	18,7	5.188.564	54,1	2.610.397	27,2
2050	9.634.293	1.781.642	18,5	5.160.954	53,6	2.691.697	27,9
2055	9.666.516	1.787.911	18,5	5.131.221	53,1	2.747.384	28,4
2060	9.701.990	1.803.311	18,6	5.103.496	52,6	2.795.183	28,8
2075	9.804.213	1.834.446	18,7	5.157.177	52,6	2.812.590	28,7

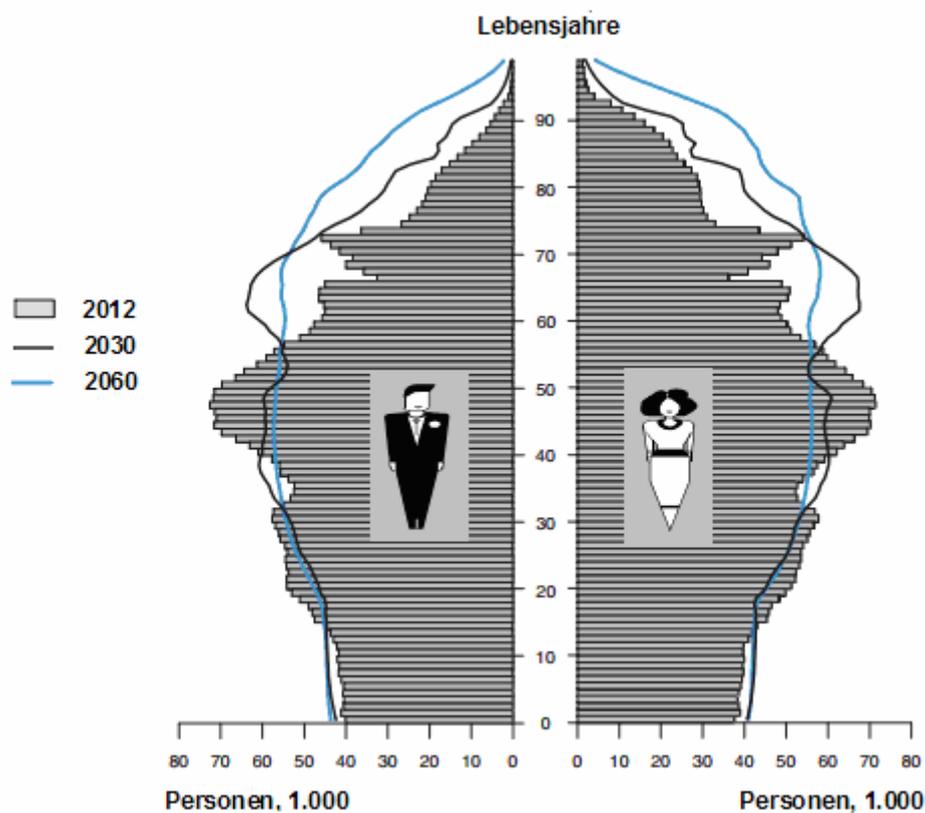
**Tabelle 2: Bevölkerungsprognose 2015 (Quelle: Statistik Austria, erstellt am 18.11.2015)**

Im Jahresdurchschnitt 2014 lebten insgesamt rund 8,54 Millionen Menschen in Österreich. Auch der Anstieg des Durchschnittsalters, hervorgerufen durch einen Rückgang der Geburtenzahlen und eine stetig höhere Lebenserwartung ist sowohl bei Männern als auch bei Frauen (lt. Statistik Austria) deutlich erkennbar. Anfang der 1960er-Jahre ist das Durchschnittsalter der Männer bei 34,5 Jahren und jenes der Frauen bei 38,3 Jahren gelegen. Gegenwärtig liegt das Durchschnittsalter bei 40,9 Jahren (Männer) bzw. 43,6 Jahren (Frauen), wobei bis zum Jahr 2050 ein weiterer Anstieg des Durchschnittsalters bei beiden Geschlechtern um rund viereinhalb Jahre prognostiziert wird.

Aus den beiden Bevölkerungsprognosen zeigt sich, dass Österreichs Bevölkerungszahl stärker wächst als erwartet. Nach den aktuellen Einwohnerzahlen und Prognosen ist der Zuwachs der Bevölkerung Österreichs derzeit jährlich um rund 70.000 Personen. Dies ist im Wesentlichen eine Folge der Zuwanderung nach Österreich, sowie auch der asylwerbenden Personen. Der bisher erwartete Rückgang des Erwerbspotenzials, der Bevölkerung im Erwerbsalter zwischen 20 und 65 Jahren wird durch die Zuwanderung nach Österreich verschoben. Standen im Jahr 2014 5,29 Mio. Personen im erwerbsfähigen Alter zwischen 20 und 65 Jahren wird sich das Erwerbspotenzial um 4% auf 5,50 Mio. Personen bis zum Jahr 2021 erhöhen. Anschließend werden deutlich mehr Menschen ins Pensionsalter übertreten, als Zugewanderte und Jugendliche aus der Ausbildung in eine Berechnung einfließen. So wird die Anzahl der potenziellen Erwerbspersonen nach 2030 etwas unter das derzeitige Niveau sinken und 2060 rund 5,10 Mio. betragen. Ohne eine Zuwanderung würde das Erwerbspotential langfristig drastisch sinken. In der Gruppe der über 65-jährigen Bevölkerung werden hohe Zuwächse prognostiziert. Dabei treten seit der Jahrhundertwende immer stärker besetzte Generationen ins Pensionsalter über. In der jüngeren Vergangenheit waren dies die Geburtsjahrgänge um 1940. Zukünftig müssen die Baby-Boom Jahrgänge der späten 1950er,

sowie der 1960er Jahre gezählt werden. Auch werden anteilmäßig mehr Menschen als früher durch die Zugewinne bei der Lebenserwartung ein höheres Alter erreichen.

Nachstehend folgt eine aus den Annahmen früherer Jahre entwickelte Alterspyramide (Abb. 3) für die Jahre 2012, 2030 und 2060. Darin ist sehr gut ersichtlich wie sich die Personengruppe der 50-Jährigen über die Jahre weiterentwickelt und die Spitze, die jene der älteren Personen bezeichnet, abflachen lässt.



**Abb. 3: Österreichische Bevölkerungspyramide 2012, 2030 und 2060 (Quelle: Statistik Austria, mittlere Variante)<sup>7</sup>**

Die Daten einer Bevölkerungsentwicklung ergeben sich aus dem Zusammenspiel der aktuellen Bevölkerungsstruktur, der natürlichen Bevölkerungsbewegungen (aus den Geburten und Sterbefällen), sowie den räumlichen Bevölkerungsbewegungen (der Zuwanderung und Abwanderung). Diese drei Faktoren bestimmen Umfang, Richtung und Tempo der Bevölkerungsentwicklung und damit auch die Bevölkerungsstruktur.

Die quartalsweise Statistik des Bevölkerungsstandes in Österreich beruht seit dem 1.1.2002 auf den statistisch aufgearbeiteten Daten der mit Hauptwohnsitz

<sup>7</sup> Statistik Austria, Demographisches Jahrbuch 2015

gemeldeten Personen im Zentralen Melderegister (ZMR)<sup>8</sup>. Für Österreich ist mittelfristig kein Bevölkerungsrückgang zu erwarten. Es ist gegenteilig davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren die Einwohnerzahlen noch steigen<sup>9</sup>. Dramatische Veränderungen jedoch wird es in der Altersstruktur geben. Während der Anteil der 0- bis 15-Jährigen um 0,9% sinkt, steigt der Anteil der über 60-Jährigen um 7,5%. Die relevante Gruppe der Erwerbstätigen im Alter von 15-60 Jahren sinkt um 6,6% (langfristig um fast 10%). Gleichzeitig steigt das Durchschnittsalter der Bevölkerung in den nächsten 15 Jahren um 2,9% auf 45,6 Jahre (langfristig bis auf 48,3 Jahre).

Als natürliche Bevölkerungsbewegung wird die Zusammensetzung aus der Anzahl von Geburten, Eheschließungen, eingetragenen Partnerschaften (Begründung und Auflösung), sowie Ehescheidungen und Sterbefälle bezeichnet von Personen, die in Österreich ihren Wohnsitz gemeldet haben. Diese Statistik beruht auf den Daten der Standesämter und Behörden der Bezirksverwaltung. Im Ausland verstorbene Personen mit ordentlichem Wohnsitz in Österreich werden ab 2009 ebenso erfasst, wie auch rechtskräftige Ehescheidungen und Auflösungen eingetragener Partnerschaften laufend durch die zuständigen Gerichte gemeldet werden.

Auf der Basis des Meldegesetzes unter Zuhilfenahme des Zentralen Melderegisters (ZMR) erstellt Statistik Austria eine umfassende und kontinuierliche Wanderungsstatistik (Zuwanderung aus dem und Abwanderung ins Ausland). Diese beinhaltet alle Inlands- und Außenwanderungen, welche hier im Zusammenhang mit der aktuellen Bevölkerungsstruktur explizit ausgearbeitet ist. Aus der Statistik der internationale Wanderungen 2013 nach Staatsangehörigkeitskategorien ergibt sich für die wichtigsten Länder nachstehende Differenzen (Zuzüge aus- minus Wegzüge ins Ausland). Aus Deutschland verzeichnet Österreich ebenso einen Zuzug von 0,3% wie aus den EU Beitrittsstaaten (EU Beitrittsstaaten ohne Ungarn und Rumänien: +4,1%, Ungarn: +3,2%, Rumänien: +0,8%) mit 8,1%. Bei allen anderen Staaten Europas (inkl. Türkei) plus 1%, sowie Asien mit plus 1,8% weist der Zuzug eine positive Bilanz auf. Amerika mit minus 0,4% und Afrika mit plus 0,4% halten sich die Waage. In Summe ist die Bevölkerung 2013 aus der räumlichen Bevölkerungsbewegung um 54.728 Einwohner gewachsen.

Die folgende Abbildung (Abb. 4) zeigt eine Statistik der internationalen Wanderungen 2013 nach Zuzügen aus dem Ausland, sowie Wegzügen ins Ausland mit den jeweiligen Staatszugehörigkeiten.

---

<sup>8</sup> Buxbaum A. et al., 2009

<sup>9</sup> Schipfer R., ÖIF, 2005

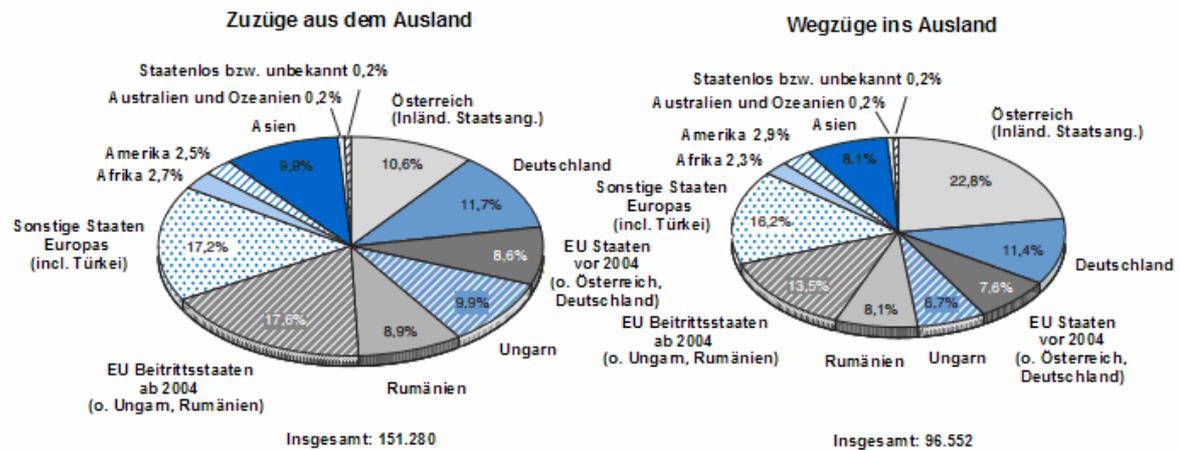


Abb. 4: Wanderungsstatistik 2013 (Quelle: Statistik Austria)<sup>10</sup>

- Bevölkerungsdichte, -wachstum und Arbeitslosenquote:

Entgegen der beispielhaften Bevölkerungsprognose von 2003 (vgl. Tabelle 1) stellt sich die Situation nach letzten Aufzeichnungen wie folgt dar. Anhand der Arbeitsmarktstatistik 2015 (Tabelle 3) ist ein um 7,3% höherer Erwerbstätigkeitsquotient als im EU 28 Vergleich ausgewiesen. Dies bedeutet eine halb so große Arbeitslosenquote. Damit liegt Österreich in einem ähnlichen Bereich wie Deutschland. Neben der traditionellerweise wirtschaftlichen Anlehnung und Orientierung am Nachbar Deutschland, zeigt sich bei einer 1,9% reduzierten Erwerbstätigenquote der 15- bis 64-Jährigen eine um 0,1% höhere Arbeitslosenquote.

Bezugnehmend auf die älteren Erwerbstätigen und den demographischen Wandel zeigt sich in den kommenden Jahrzehnten innerhalb des Erwerbsalters in der Altersgruppe 15-64 Jahre eine massive Verschiebung in Richtung des höheren Erwerbsalters. Durch das Aufrücken der geburtenstarken Jahrgänge in das höhere Erwerbsalter kommt es zu einem Trend, in dem die am stärksten besetzten Jahrgänge (45-49 / 50-54 Jahre) durch die vom Rückgang der jüngerer Mitarbeiter am Markt gekennzeichnete Altersgruppe ersetzt werden. Gleichzeitig führt dies zu einem beträchtlichen Anstieg der Altenquote, dem Verhältnis der wachsenden Zahl der Menschen im Alter ab 65 zu einer gleichbleibenden Anzahl von Erwerbstätigen.

<sup>10</sup> Statistik Austria, Demographisches Jahrbuch 2015

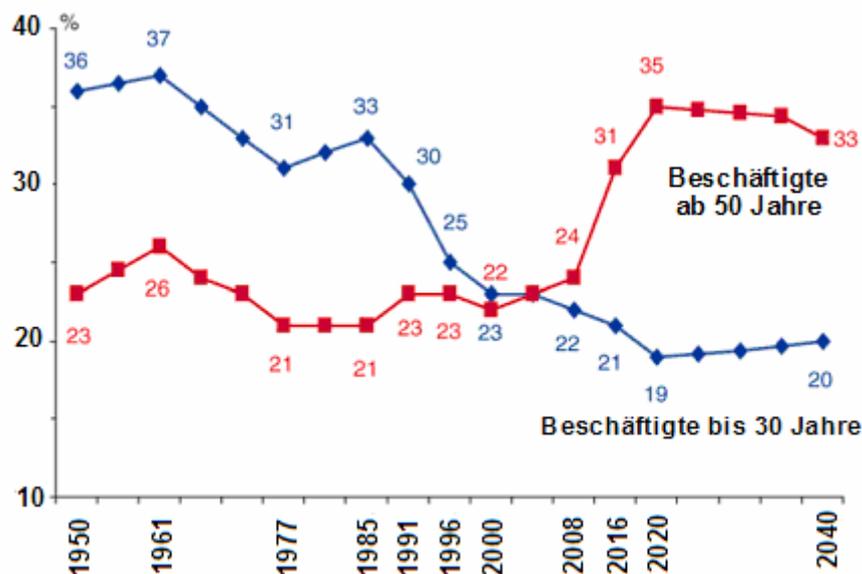
Region	Bevölkerungszahl 2014	Bevölkerungswachstum 1995-2014, in %	Bevölkerungsquote [15-64 Jahre] 2013, in %	Arbeitslosenquote 2013, in %
Österreich	8,507.786	7,1	71,4	5,4
EU28	506,824.509	5,2	64,1	10,8
Eurozone	334,453.240	7,5	63,5	12,0
Belgien	11,203.992	10,6	61,8	8,4
Bulgarien	7,245.677	-14,0	59,5	13,0
Dänemark	5,627.235	7,9	72,5	7,0
Deutschland	80,767.463	-0,9	73,3	5,3
Estland	1,315.819	-9,1	68,5	8,6
Finnland	5,451.270	6,9	68,9	8,2
Frankreich	65,835.579	11,0	64,1	10,3
Griechenland	10,903.704	2,9	49,3	27,5
Irland	4,605.501	28,0	60,5	13,1
Italien	60,782.668	6,9	55,6	12,2
Kroatien	4,246.809	-8,8	49,2	17,3
Lettland	2,001.468	-20,0	65,0	11,9
Litauen	2,943.472	-19,2	63,7	11,8
Luxemburg	549.680	35,5	65,7	5,9
Malta	425.384	15,1	60,8	6,4
Niederlande	16,829.289	9,1	74,3	6,7
Polen	38,017.856	-1,5	60,0	10,3
Portugal	10,427.301	4,2	61,1	16,4
Rumänien	19,947.311	-12,2	59,7	7,3
Schweden	9,644.864	9,4	74,4	8,0
Slowakei	5,415.949	1,1	59,9	14,2
Slowenien	2,061.085	3,6	63,3	10,1
Spanien	46,512.199	18,2	54,8	26,1

Tschechien	10,512.419	1,7	67,7	7,0
Ungarn	9,877.365	-4,4	58,4	10,2
Ver. Königreich	64,308.261	11,0	70,8	7,5
Zypern	858.000	32,9	61,7	15,9

**Tabelle 3: Arbeitsmarktstatistik 2015, Bevölkerung und Arbeitsmarkt im EU Vergleich (Quelle: Statistik Austria)<sup>11</sup>**

- Altersschere:

Die besorgniserregendste Tatsache und das Maß der Dringlichkeit für das Thema „Einfluss des demographischen Wandels in betriebswirtschaftlicher Sicht“, werden bei Betrachtung der Altersschere ersichtlich. Diese bezeichnet die Änderung der Altersstruktur bei Beschäftigten, die durch eine größer werdende Divergenz zwischen jüngerer und älterer Belegschaft verursacht wird. Wie schon eine Ausföhrung der jungen und alten Arbeitskräfte von 1950 bis 2040 (Statistische Jahrbücher, IAB-Projektion 1999 zitiert nach Volkholz 2000)<sup>12</sup> zeigt, wurde diese besorgniserregende Entwicklung in früheren Jahren aufgezeigt.



**Abb. 5: Altersschere (Quelle: Statistische Jahrbücher, IAB-Projektion 1999)**

In Anlehnung an diese Abbildung (Abb. 5) liegt auch für die österreichischen Verhältnisse ein quantitatives ähnliches Bild (Abb.6) auf. Hierbei zeigt ohne nähere Spezifizierung der Altersstrukturen die nachstehende Darstellung der Bevölkerungsanzahl der Personen im erwerbsfähigen Alter nach Altersgruppen bezogen auf die jeweiligen Jahre.

<sup>11</sup> Statistik Austria, Demographisches Jahrbuch 2015

<sup>12</sup> Langhoff T., 2009

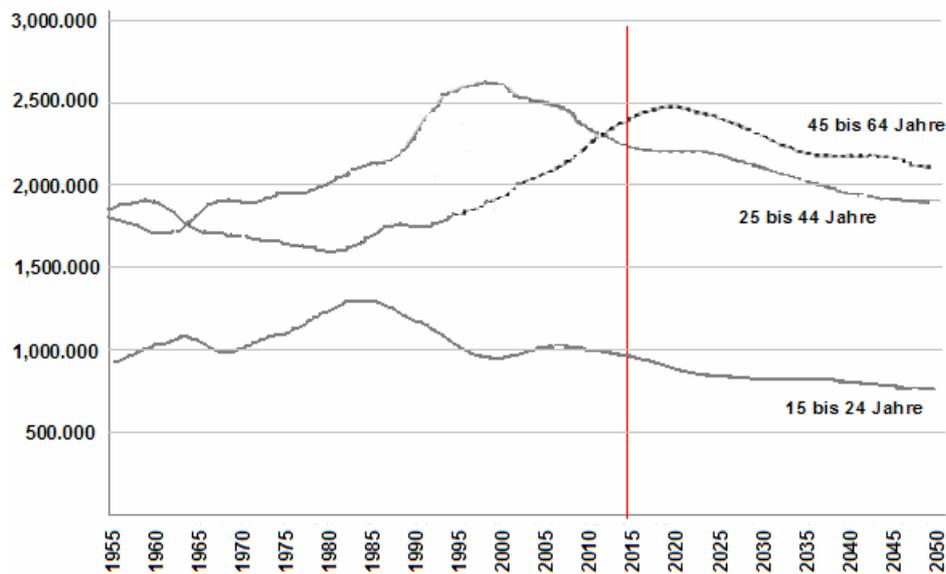


Abb. 6: Ältere Arbeitnehmer, ÖGB 2010 (Quelle: Biffi G., basierend auf Statistik Austria Daten 2009)<sup>13</sup>

Die neuesten österreichischen Daten zeichnen qualitativ ein ähnliches Bild und können unter Zuhilfenahme von Statistik Austria ermittelt werden.

- Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung Österreich/Deutschland:

Um den Zusammenhang zwischen österreichischen und deutschen Daten zu ermitteln, sei hier auf die jeweilige Bevölkerungsentwicklung in Form nachstehender Darstellungen (Abb. 7 und Abb. 8) eingegangen.

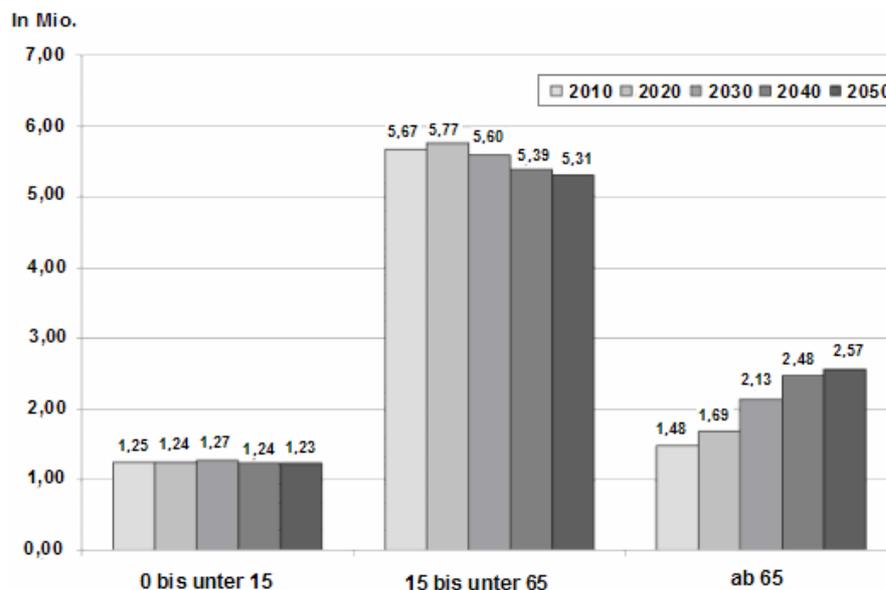
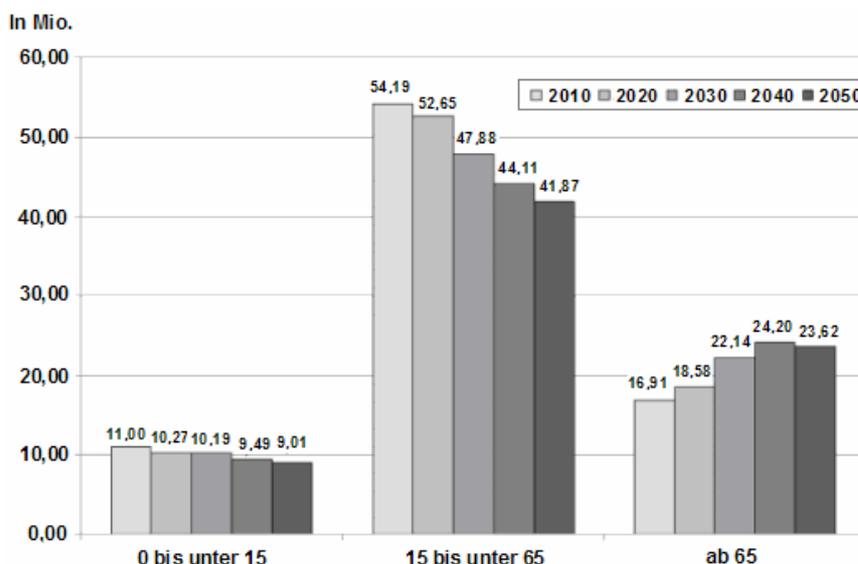


Abb. 7: Bevölkerungsentwicklung Österreich (Quelle: Eurostat, EU Kommission, Ageing Report 2009)<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Buxbaum A. et al., 2009

<sup>14</sup> WKÖ, AK, ÖGB, LK, 2011



**Abb. 8: Bevölkerungsentwicklung Deutschland (Quelle: Eurostat, EU Kommission, Ageing Report 2009)**

Dabei zeigt sich eine für Österreich günstigere Entwicklung der Bevölkerungsstruktur, die durch die Annahme (seitens Statistik Austria) einer kräftigen Nettozuwanderung zustande kommt. Wie aktuelle Daten zeigen, bestehen sowohl bei der aktuellen Bevölkerungsstruktur als auch bei den projektierten Entwicklungen für die kommenden Jahrzehnte erhebliche Unterschiede.

- **Projektierte Entwicklung der Altenquote 2010-2050:**

Unter der Altenquote (Tabelle 4) wird die Betrachtung der Proportion von Pensionsalter (Personen über 65 Jahre) zum Erwerbssalter (15 bis 64 Jahre) bezeichnet. Ein massiver Zuwachs in der Altersgruppe ab einem Alter von 65 Jahren führt in Relation bei gleichzeitiger Stagnation der Zahl der Menschen im Erwerbssalter zu einem beträchtlichen Anstieg dieser Kenngröße. Nach der Bevölkerungsvorausschätzung mit den Daten von Statistik Austria wird die Altenquote in den nächsten Jahrzehnten soweit ansteigen, dass auf einen Pensionisten zwei Erwerbstätige kommen.

	2010	2020	2030	2040	2050
Deutschland	31%	35%	46%	55%	56%
Italien	31%	36%	43%	54%	59%
Schweden	28%	34%	37%	41%	42%
Österreich	26%	29%	38%	46%	48%
Finnland	26%	37%	44%	45%	47%
Frankreich	26%	33%	39%	44%	45%

Dänemark	25%	32%	38%	43%	41%
UK	25%	29%	33%	37%	38%
Ungarn	24%	30%	34%	40%	51%
Tschechien	22%	31%	36%	43%	55%
Polen	19%	27%	36%	41%	56%
Irland	17%	20%	25%	31%	40%
EU-27	26%	31%	38%	45%	50%

**Tabelle 4: Altenquote (Quelle: Eurostat, EU Kommission, Ageing Report 2009)**

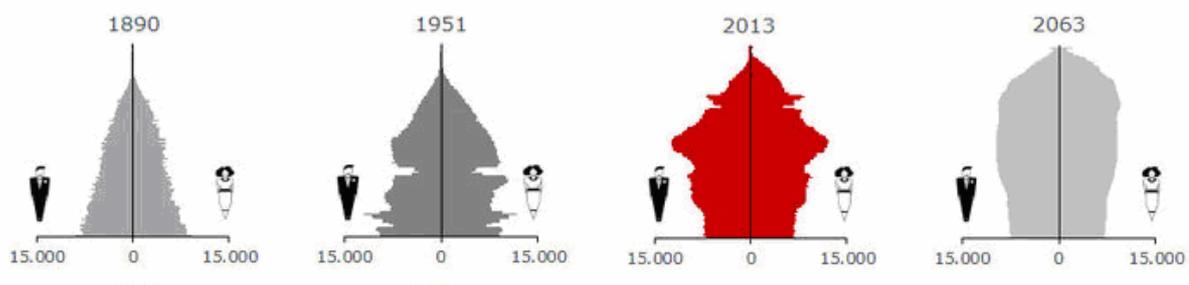
Die am höchsten gekennzeichneten Werte des jeweiligen Jahrzehntes sind in orange, die Niedrigsten in gelb für den dargestellten Ländervergleich unterlegt. Aus den vorliegenden Daten zeigt sich, dass Österreich bei der projizierten Altenquote knapp unter dem EU Durchschnitt liegt. Es kommt zu einer zunehmenden Vergrößerung der Altersschere, wenn auch in geringeren Ausmaß als zu deutschen Prognosen. Irland liegt über den gesamten Zeitraum bei den niedrigsten Werten was an einer hohen Beschäftigtenquote oder auch an einem niedrigen Altersanteil 65+ liegt.

International zeigt sich mit England ein Spitzenreiter (2050-2010: 13%) und mit Polen das Schlusslicht (2050-2010: 37%) bezüglich des Verhältnisses der erwerbstätigen zur pensionsberechtigten Bevölkerungsgruppe.

Auf eine nähere Untersuchung im europäischen Vergleich sei hier nicht näher eingegangen.

- Spezielle oberösterreichische Entwicklung:

Anhand einer nachstehenden schematischen Darstellung (Abb. 9) zeigt sich ein erheblicher Anstieg bei der älteren Bevölkerung im Bundesland Oberösterreich.



**Abb. 9: Alterspyramiden der OÖ Bevölkerung (Quelle: Land OÖ, Abt. Statistik/2015)**

Die Alterspyramide stellt die über die Jahre durchwandernde Basis, wie viele Personen zu einer bestimmten Altersklasse gehören in ihrer Ausprägung dar. Die Form der Alterspyramide hat sich in den letzten Jahren dahingehend verändert, dass ihr Erscheinungsbild eher in Form eines Tannenbaums oder Tropfens dargestellt wird. Dies zeigt, dass der Anteil an älteren Personen ist in den letzten Jahren gestiegen und jener der jüngeren Personen gesunken ist. Aus den Daten und Prognosen der unterschiedlichen Jahre war ersichtlich, dass die Entwicklung der Bevölkerung in Richtung höheres Alter geht. Die Menschen werden immer älter und es werden weniger Kinder geboren als früher.

Eine graphische Darstellung des oberösterreichischen Durchschnittsalters der Bevölkerung zeigt eine Alterung um rund 7,4 Jahre innerhalb von vier Jahrzehnten.

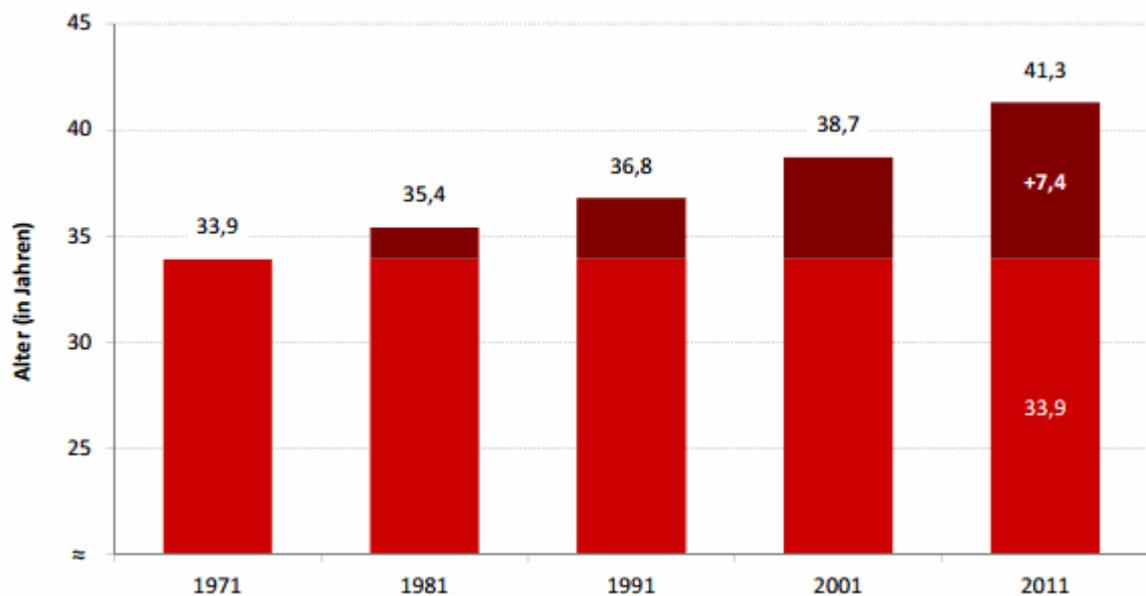
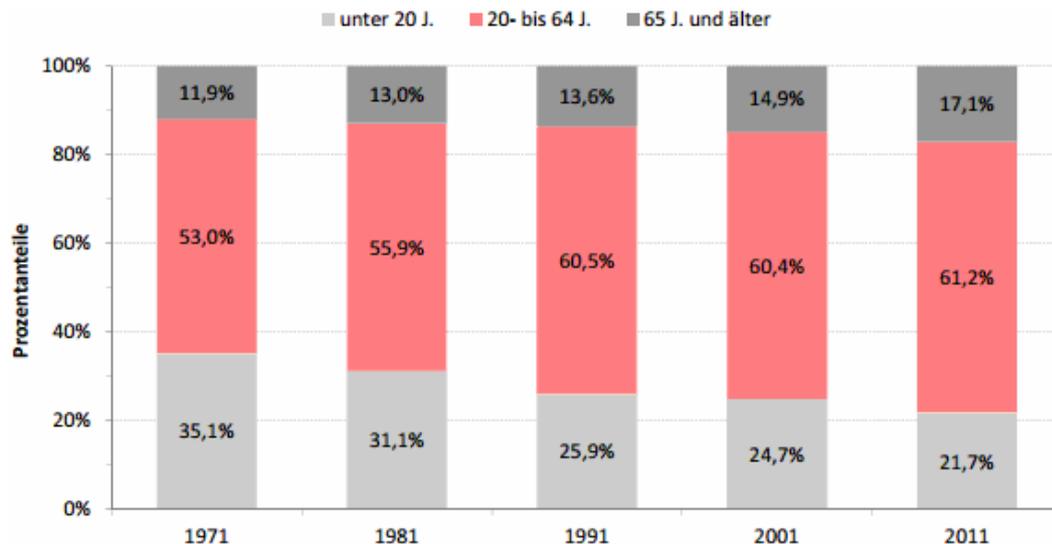


Abb. 10: OÖ Bevölkerungsdurchschnittsalter (Quelle: Land OÖ, Abt. Statistik/2015)

Hierbei stieg das Durchschnittsalter der Bevölkerung in diesem Zeitraum von 33,9 auf 41,3 Jahre (vgl. Abb. 10). Demzufolge überaltert die Gesellschaft laut Statistik<sup>15</sup> mit einer Zunahme um ca. 2,2 Monate pro Jahr.

<sup>15</sup> Land OÖ, Abt. Statistik: Bevölkerung – Durchschnittsalter, 2015



**Abb. 11: OÖ Bevölkerung nach Altersgruppen (Quelle: Land OÖ, Abt. Statistik/2015)**

Wichtig erscheint eine Darstellung der oberösterreichischen Bevölkerung nach breiten Altersgruppen (Abb. 11), da hierbei Unterschiede zwischen den Gruppen der Erwerbstätigen anhand der Verteilungen nach Prozentanteilen besser ersichtlich ist. Die Abbildung zeigt das arithmetische Mittel bzw. Jahresdurchschnittsbevölkerung, bei der eine leichte Rundungsdifferenz möglich ist. Zwischen 1971 und 2011 ist der Anteil der Personen unter 20 Jahre stetig um insgesamt 13,4 % gesunken. Im gleichen Zeitraum wird im Bereich der Erwerbstätigen (Altersgruppe 20-64 Jahre) ein prozentualer Zuwachs von 8,2% verzeichnet. Die Altersgruppe der über 65-Jährigen verzeichnete einen Anstieg des Anteils um 5,2 %. Damit verschiebt sich die Alterstruktur und es ist nur mehr knapp jede fünfte Person in Oberösterreich unter 20 Jahre alt, jede sechste Person ist hingegen über 65 Jahre.<sup>16</sup>

Wie die Prognosen von Statistik Austria aus dem Jahr 2011 zeigen setzt sich dieser Trend fort und es ist mit einer Verstärkung zu rechnen. Der Anteil der unter 20-Jährigen an der Gesamtbevölkerung wird langfristig gesehen weiter sinken. Im Gegensatz dazu wird der Anteil der über 65-Jährigen noch stärker ansteigen. Eine Darstellung des oberösterreichischen Bevölkerungswachstums (Abb. 12) zeigt, dass trotz des Geburtenrückgangs nach dem Baby-Boom in den 1960er-Jahren die oberösterreichische Bevölkerungszahl alle zehn Jahre um rund 3 bis 4 Prozent gestiegen ist. Begründet wird dieses Ansteigen der Bevölkerung einerseits mit der Zuwanderung von Personen und andererseits mit der Zunahme des Lebensalters bzw. der erhöhten Lebenserwartung der Population.

<sup>16</sup> Land OÖ, Abt. Statistik: Bevölkerung – Durchschnittsalter, 2015

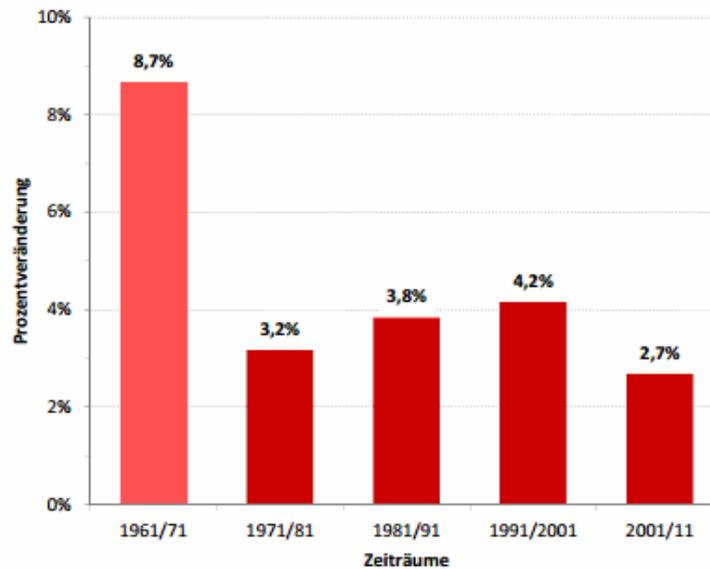


Abb. 12: OÖ Bevölkerungswachstum (Quelle: Land OÖ, Abt. Statistik/2015)<sup>17</sup>

Nach einer Einschätzung von Statistik Austria hinsichtlich des Bevölkerungswachstums<sup>18</sup> ist bis zum Jahr 2060 mit einer steigenden Einwohnerzahl in Oberösterreich zu rechnen. Aus heutiger Sicht wächst die Population von derzeit 1,425.000 auf 1,573.000 Einwohner, was einem Plus von ca. 147.400 Personen bzw. einem Anteil von 10,3 % entspricht. Es wird erwartet, dass im Jahr 2030 die 1,500.000 Marke überschritten wird (vgl. Abb. 13).

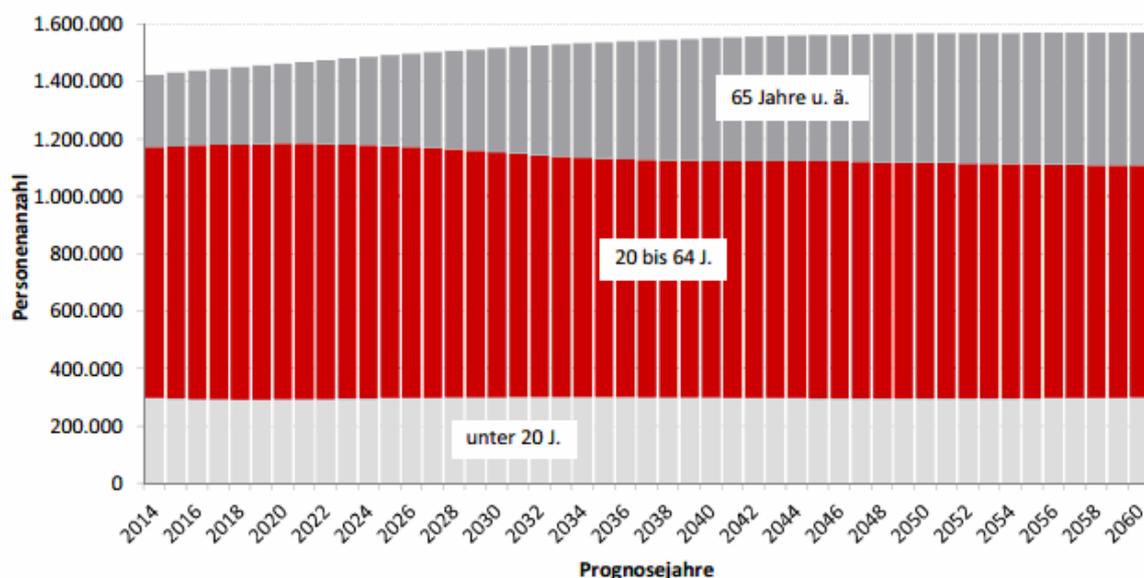


Abb. 13: OÖ Bevölkerungsvorausschätzung bis 2060 (Quelle: Land OÖ, Abt. Statistik/2015)

Der Anteil der über 65-Jährigen wird dabei in diesem Zeitraum von aktuell 17,7 % auf 29,5 % weiter wachsen. Gleichzeitig verringert sich der Anteil der

<sup>17</sup> Land OÖ, Abt. Statistik: Bevölkerungsveränderung, 2015

<sup>18</sup> Land OÖ, Abt. Statistik: Bevölkerungsvorausschätzung für OÖ bis 2060, 2015

beiden anderen Bevölkerungsgruppen. Während die Gruppe der 20- bis 64-Jährigen von derzeit 61,4 % auf ca. 51,5 % schrumpft, geht sich der Anteil der unter 20-Jährigen lediglich von heute 20,9 % auf 19,0 % zurück.

Eine statistische Auswertung der F&E Ausgaben (Abb. 14) im Unternehmenssektor nach den F&E Standorten des Unternehmens 2013 legt eine Kompetenz im oberösterreichischen Bundesland dar. Die am 23.07.2015 erstellten Daten<sup>19</sup> stammen von der Erhebung über Forschung und experimentelle Entwicklung (F&E) 2013 der Statistik Austria<sup>20</sup>. Zum Unternehmensbereich zählt neben dem firmeneigenen auch der kooperative Bereich, dessen regionale Zuordnung der Einheiten nach dem Bundesland, in dem das Unternehmen seinen Hauptstandort hat erfolgt. Der Verteilungsschlüssel der Ausgaben nach dem(n) F&E Standort(en) erfolgte auf der Basis der Verteilung der Beschäftigten in F&E auf die F&E Standorte.

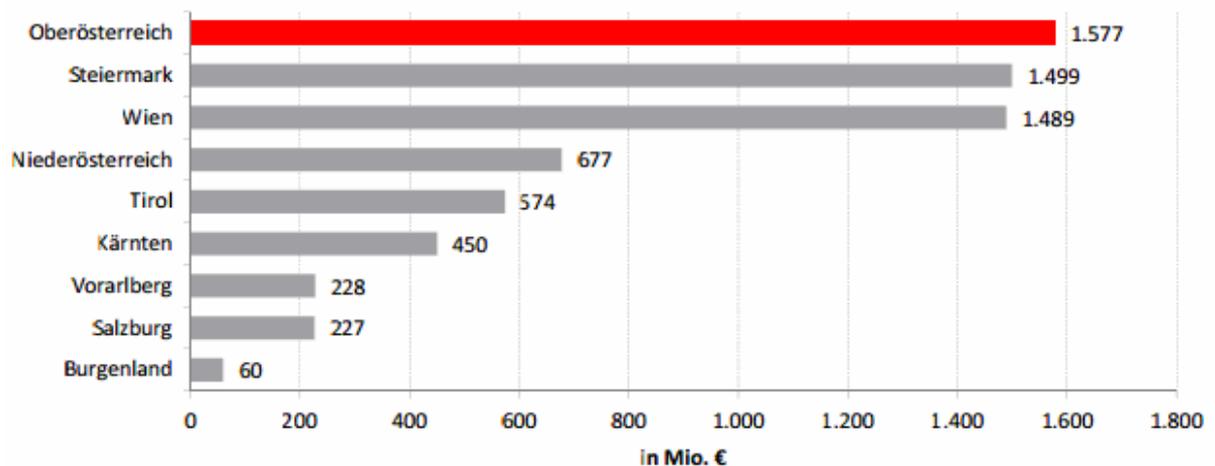


Abb. 14: F&E Ausgaben (Quelle: Land OÖ, Abt. Statistik/2015)

Hierbei zeigt sich, dass Oberösterreich zu jenen Bundesländern Österreichs gehört, die viel in den Entwicklungsbereich ihrer Kernkompetenzen investieren. Dies sollte den Interviewteil der Ausarbeitung begünstigen.

Für eine detailliertere Information zu den Statistiken des letzten Kapitels sei auf die jeweiligen Quellen verwiesen. Diese stellen nur einen Auszug als Grundlage für die Untersuchung dar.

## 2.3 Paradoxon des demographischen Wandels

Unser gesellschaftliches Altersbild könnte nicht widersprüchlicher sein. Es werden ältere Menschen in der Werbung als wachsende Zielgruppe der über Fünfzigjährigen

<sup>19</sup> Land OÖ, Abt. Statistik: F&E Ausgaben im Unternehmenssektor, 2015

<sup>20</sup> Statistik Austria, Erhebungen über Forschung und experimentelle Entwicklung, 2015

mit großer Kaufkraft umworben und mit Attributen wie kaufkräftig, konsumfreudig, genussorientiert und qualitätsbewusst in Verbindung gebracht. In der Wirtschaft spielen dabei neben den alternden Erwerbstätigen so auch die alternde Bevölkerung als Kunde, Käufer und Dienstleistungsnehmer zunehmend eine große Rolle. Das Potential Älterer wird auch im Bereich des sozialen Engagements sehr geschätzt.

Für die so genannten Best Ager zählen Geselligkeit, (mediale) Kommunikation und vielseitige Aktivitäten, sportlicher oder kultureller Natur, zu den festen Bestandteilen des Alltags und sind Ausdruck eines neuen Lebensgefühls. Diese Lebenssituation und dieses Lebensgefühl sind typische Merkmale eines klassischen Best Agers, unabhängig davon, ob er erst 45 oder schon 65 Jahre oder älter ist.

Aus einer Studie<sup>21</sup> zum Thema Zukunftsmarkt älterer Personen ist herauszulesen, dass die Zahl der Online-Shopper kontinuierlich ansteigt und die Wachstumsraten im E-Commerce wesentlich auf das Konto der Generation 50plus zurückzuführen sind. In den letzten fünf Jahren stieg der Anteil jener Österreicher zwischen 55 und 64 Jahren, die im Internet Waren oder Dienstleistungen bestellt haben, um 10 % auf 32 %. Diese Zielgruppe wird in den nächsten Jahren weiter wachsen, da die heutige Generation um die 40 Jahre im Jahr 2025 zu den Best Agern zählen wird. Diese Personengruppe nutzt heute das Internet bereits zu knapp 65 % zum Einkaufen.

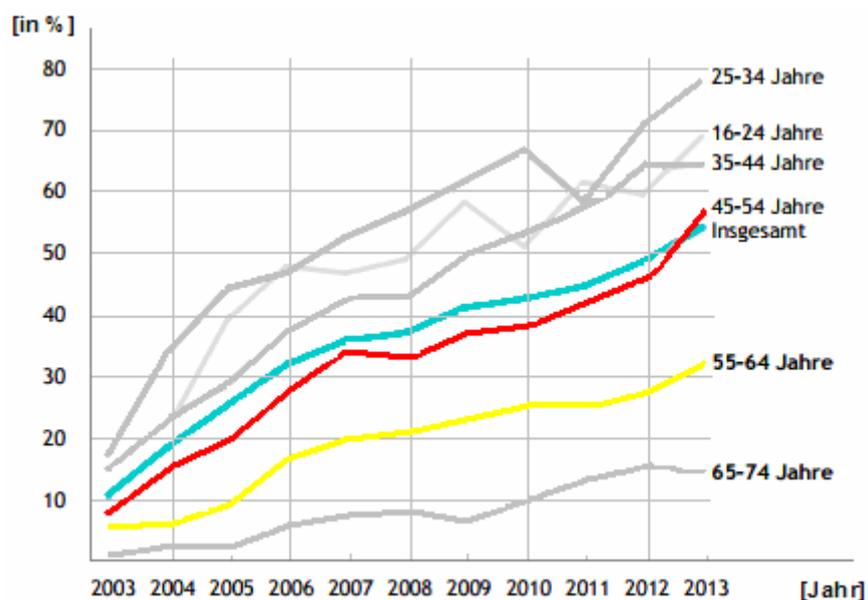


Abb. 15: Interneteinkauf in Österreich (Quelle: Statistik Austria, 2014)

Die Darstellung (Abb. 15) zeigt jene Personen, die in den letzten zwölf Monaten online in Österreich in den Jahren 2003 bis 2013 anteilig prozentual nach Altersgruppen geordnet gekauft haben.

<sup>21</sup> WKO, Zukunftsmarkt Best Ager

In der Arbeitswelt, die nach älteren Experten mit Fachwissen suchen, entwickelt sich ein gegenteiliger Trend, da auch innerhalb der Unternehmen zwischen Anspruch und Realität eine große Diskrepanz herrscht. Es gibt einen verschwindend geringen Anteil an Beschäftigten über 60 Jahre<sup>22</sup>.

In den Unternehmen zählen die Arbeitnehmer über 50 zu jener Personengruppe, auf welche besonderes Augenmerk gelegt wird. Während die Menschen immer älter werden, das Pensionsantrittsalter zunehmend angehoben wird und daher die Arbeitnehmer immer länger arbeiten müssen, versuchen die Unternehmen die älteren Mitarbeiter durch Jüngere zu ersetzen. Begründet wird diese Vorgehensweise damit, dass ältere Mitarbeiter weniger belastbar bzw. gesundheitlich angeschlagen sind und jüngere Mitarbeiter angeblich stressresistenter sind. Ein weiterer Grund liegt in der Höhe der Bezahlung. Während man bei älteren Mitarbeitern mit längerer Dienstzugehörigkeit von einer höheren Bezahlung ausgeht, kann bei jüngeren Mitarbeitern für die weitgehend gleiche Leistungserbringung mit einer niedrigeren Entlohnung gerechnet werden. Auf diese Vorurteile gegenüber älterer Beschäftigter wird in späterer Folge (vgl. Abschnitt 3.2.1) näher eingegangen.

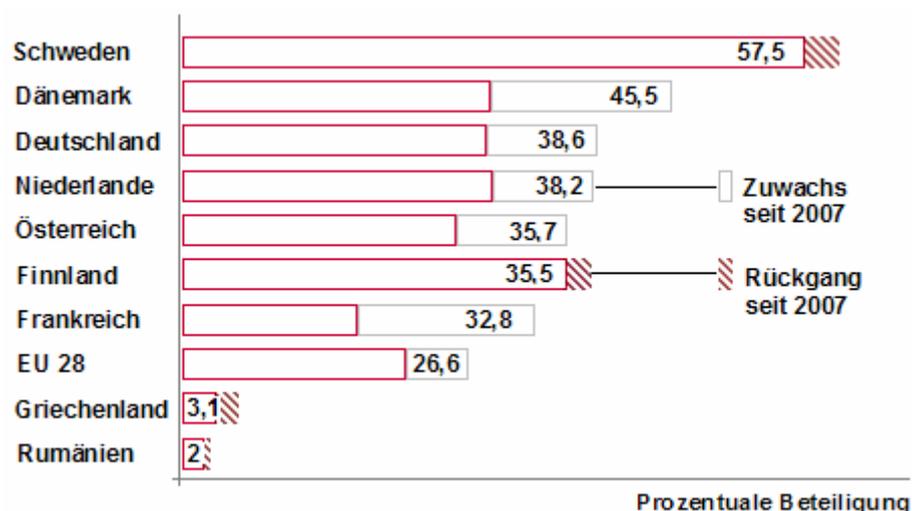


Abb. 16: Lebenslanges Lernen (Quelle: Eurostat, 2014)

Neben dem Konsum ist auch die Weiterbildung ein Wachstumsmarkt für die Best Ager. Aus- und Weiterbildung werden im Alter immer wichtiger, sei es für den Beruf oder aus persönlichen Interessen. Die Teilnahme der 55- bis 64-jährigen Personen an Bildungs- und Weiterbildungsveranstaltungen in ausgewählten europäischen Ländern wurde in zwei WKO Studien<sup>23</sup> unter dem Titel „Lebenslanges Lernen“<sup>24</sup> beleuchtet. Die Abbildung (Abb. 16) zeigt die prozentuale Beteiligung der 55- bis 64-Jährigen an Bildung und Weiterbildung in ausgewählten europäischen Ländern anhand einer Erhebung in den Jahren 2007 und 2011. Österreich liegt dabei (Eurostat,

<sup>22</sup> Feldes W. et al., 2009

<sup>23</sup> WKO, Best Ager - Der Silberne Markt

<sup>24</sup> WKO, Zukunftsmarkt Best Ager

2014) über dem Durchschnitt der EU-28: 36 % der 55- bis 64-Jährigen nehmen Bildungsangebote in Anspruch. Noch höher ist der Anteil der Lernwilligen in der Altersgruppe der 45- bis 54-Jährigen. Hier nimmt fast die Hälfte der Personen an Aus- und Weiterbildungsveranstaltungen teil. Nach einer Kundenumfrage der Wirtschaftskammern Österreich bei ihren Mitgliedern aus dem Jahr 2013 sind 13,2 % der Weiterzubildenden 50 Jahre und älter.

Ein weit verbreiteter Irrglaube ist, dass Menschen im Alter nicht bzw. nichts Neues mehr lernen können. C. S. Roßnagel, der an einem universitären Zentrum für Lebenslanges Lernen in Bremen forscht<sup>25</sup> widerlegt diese These und zeigt, dass Menschen bis ins hohe Alter, praktisch lebenslang lernen können. Seine Forschungen zeigen, dass die Lernfähigkeit nicht abnimmt, sondern allenfalls die Lerngeschwindigkeit etwas nachlässt. Die Unterschiede in der Lernfähigkeit sind bei 70-Jährigen im Vergleich zu Jüngeren so gering, das es keine Rechtfertigung dafür gibt, älteren Mitarbeitern andere, unbedeutende Tätigkeiten zuzuweisen.

Viele Unternehmen zeigen aber die gängige Praxis, neue Aufgaben und Themenfelder den jüngeren Mitarbeitern zu übergeben, da man ihnen eher eine raschere Einarbeitung zutraut. Damit ist bei Mitarbeitern in höheren Altersgruppen innerbetriebliche technologische Weiterentwicklung durch organisatorische Abwicklungen reglementiert.

## 2.4 Auswirkungen des demographischen Wandels

Unternehmensdaten liefern zentrale Bausteine der Wirtschaftsstatistik. Statistische Aussagen über die Entwicklung und Struktur der heimischen Wirtschaft, auch im internationalen Zusammenhang, können nur durch die regelmäßigen Meldungen der Unternehmen getroffen werden. Die Arbeitsstättendaten dagegen zeigen den lokalen Aspekt der Wirtschaftstätigkeiten ab und werden aufgrund des damit verbundenen Aufwandes flächendeckend nur in größeren Zeitabständen ermittelt.

Die demographischen und gesellschaftlichen Entwicklungen in den Industriestaaten führen, wie zuvor ausführlicher dargelegt zu bedeutenden Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur mit gravierenden Auswirkungen für die Beschäftigten und den Arbeitsmarkt. Obwohl nach Angaben von Statistik Austria ein Ansteigen der österreichischen Gesamtbevölkerung prognostiziert wird, verschiebt sich die Altersstruktur und das Durchschnittsalter der Bevölkerung weiterhin in Richtung höherer Alterssegmente.

Wie am Beginn des Kapitels anhand der Daten ausgeführt ist der Übergang in das letzte Drittel der Erwerbstätigkeit bei den geburtenstarken Jahrgängen vollzogen. Der letzte Wechsel der geburtenstarken Jahrgänge (Baby Boomer) in die Gruppe der ü-

---

<sup>25</sup> Brauer K. et al., 2010

ber Fünfzigjährigen führt dazu, dass ein Paradigmenwechsel betreffend älterer Erwerbstätiger in Unternehmen einsetzt und sich Österreich zukünftig an eine sich wandelnde Zusammensetzung der Erwerbstätigengruppen am Arbeitsmarkt anpassen muss. Jene Unternehmen, die nichtzeitgerecht in alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung, präventive ergonomische Maßnahmen, Weiterbildung und Gesundheitsvorsorgen investiert haben, haben heute einen Wettbewerbsnachteil<sup>26</sup>. Es kommt zu einer Konfliktsituation in der ältere Arbeitnehmer längerfristig gebraucht werden, aber in Altersteilzeit oder Frühpension gehen wollen. Andererseits sollen Arbeitskräfte gehen, die wiederum im Unternehmen verbleiben und weiterarbeiten wollen. Durch die wachsende Zahl von schwer zu kündigenden Mitarbeitern entsteht durch intergenerative Umverteilung der Zustand, dass Ältere die Arbeit von Jüngeren machen müssen. Die Bedeutung von alter(n)sgerechten Arbeitssystemen steigt merklich.

Die Thematik ist grundsätzlich bekannt und es wird versucht dem Trend durch spezielle Programme in lebenslangem Lernen, betrieblicher Gesundheitsvorsorge, Arbeits(zeit)organisation und Ausbau von betriebsinternen Kompetenzförderung und –entwicklung entgegenzusteuern. Aus Unternehmenssicht gilt es das Zusammenspiel rasch wachsender Qualifikationen aus den Anforderungen der Arbeitstätigkeit, den physischen und psychischen Belastungen über die Gesamtdauer des Erwerbslebens und die erhöhte Kostenstruktur und Betriebssicherheit bei personellen Ausfällen optimal zu gestalten. Schwierigkeiten bei älteren Beschäftigten treten bei nicht alter(n)sgerechter Tätigkeit nicht unerwartet und plötzlich auf.

Um die Gesamtzahl der Beschäftigten aufrecht zu erhalten oder sogar auszubauen, wird das Erwerbspotenzial älterer Arbeitnehmer zunehmend an Bedeutung gewinnen. So ist die Anzahl der Erwerbstätigen im Alterssegment der 50- bis 64-Jährigen um 31,6 Prozent<sup>27</sup> gestiegen. Langfristige Prognosen zeigen, dass der Anteil der sich in einer frühen bis mittleren Erwerbsphase befindlichen Beschäftigten abnimmt und in den nächsten 15 Jahren ein Viertel der österreichischen Bevölkerung über 65 Jahre alt sein wird (Statistik Austria 2012). Dies lässt große Herausforderungen, wie schon in der Ausgangssituation (vgl. Abschnitt 1.1) anhand der Studien aufgeführt auf die Beschäftigtenrate, sowie langfristig mit deren Auswirkungen auf das Sozial- und Pensionssystem erwarten.

Im Februar 2015 war 26,2% (AMS 2015) aller arbeitslosen Personen 50 Jahre oder älter. Wesentliche Faktoren dieser aktuellen Situation werden durch die demographische Verschiebungen und die Veränderungen in der Erwerbsbeteiligung erklärt<sup>28</sup>.

---

<sup>26</sup> Langhoff T., 2009

<sup>27</sup> Haydn F. et al., 2015

<sup>28</sup> Grieger N., 2015

Nachdem sich der Trend längerfristig zu einer Alterung der Bevölkerung fortsetzt, wird sich die Bedeutung der Mitarbeiter ab 50 Jahren am Arbeitsmarkt zukünftig erheblich erhöhen.

Im konkreten Untersuchungsfall ist die zukünftige Erhöhung des Durchschnittsalters der Mitarbeiter im Unternehmen von zentraler Bedeutung und wird als gegeben angenommen.

- Neue Technologien als Gegentrend:

Für die soziale und wirtschaftliche Stabilität des Arbeitsmarktes sind neben Bevölkerungsentwicklung und Beschäftigungsquoten, langfristige Entwicklung des Wirtschaftswachstums und der Produktivität wichtige Kenngrößen. Es muss Ziel sein eine möglichst positive Entwicklung dieser Parameter zu erreichen, umso besser sind die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Bewältigung des demographischen Wandels.

Entscheidend für die Arbeitskraftsituation am Markt wird auch die Erschließung neuer aufstrebender Märkte bei wachsender Internationalisierung, der Nachhaltigkeitsthematik, der Ressourcen und Energieschonung in Produktion und bei Dienstleistungen sein.

Hierbei bilden sich neue Anforderungen an Wissen und Fertigkeiten (New Skills) der Arbeitnehmer. Die Notwendigkeit des lebenslangen Lernens um sich persönlich weiterzuentwickeln, Fähigkeiten im Diversity Management für die Handlungsvielfalt im Unternehmen, sowie die weitgehende Integration aller Beschäftigungspotenziale in die Arbeitswelt für den längere Verbleib im Erwerbsleben bei steigender Lebenserwartung, werden vor diesem Hintergrund immer wichtiger.

Generell ist der Strukturwandel nach wie vor in hohem Maße von der Diffusion der modernen Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) geprägt. Innovationen und neue verbesserte Prozess- und Produktionstechnologien besitzen Potential der zu erwartenden Situation entgegenzuwirken. In industrieller Produktion bietet sich aus fertigungstechnischer Sicht mit Blickrichtung Ressourcenschonung, in Planungsaufgaben wie Modellierung und Simulation, bei Flexibilität individueller Kleinserien und zugehörigen Automatisierungsgraden ein großer Anwendungsbereich. In den Bereichen IKT und intelligenten Assistenzsystemen entstehen durch Personifizierung in den physischen, informationstechnischen und kognitiven Hilfssystemen wesentliche Wachstumspotentiale.

Unter dem ökonomisch technischen Gesichtspunkt des Wirtschaftsingenieurwesens, werden für reale Arbeitssysteme der Produktion in Fertigung und

Montage die entsprechenden Modellanforderungen für entsprechende Informations- und Assistenzsysteme zur Implementierung in neue reale oder existierende Systeme abgeleitet.

### **3 Alter(n)sgerechte Gestaltung von Arbeitssystemen**

Aufbauend auf den Erkenntnissen der demographischen Bevölkerungsentwicklung und einer damit zusammenhängenden Arbeitssituation in Unternehmen, wird im dritten Abschnitt auf die Fertigkeiten und Fähigkeiten des Beschäftigten mit zunehmendem Alter eingegangen. Die Veränderungen im Altersgang haben Einfluss auf dessen Arbeitsaufgaben und erfordern Maßnahmen bei der Gestaltung der betreffenden Arbeitssysteme. Neben grundlegenden Begriffserklärungen werden die Leistungsfähigkeitsentwicklung älterer Mitarbeiter, sowie ergonomische, benutzerorientierte und alter(n)sgerechte Aspekte erörtert.

#### **3.1 Gerontologie und Entwicklungspsychologie**

Die Gerontologie<sup>29</sup> auch als Alter(n)swissenschaft bezeichnet, untersucht sowie erforscht das Älterwerden, das Altsein und stellt die wissenschaftliche Grundlage der Ausarbeitung für eine alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung dar. In dieser Wissenschaft werden interdisziplinär thematisch auftretende Probleme, Phänomene und Ressourcen erforscht und zeigen den Wandel des gesellschaftlichen Altersbildes. Bei Untersuchungen der biologischen Grundlagen des Älterwerdens im Rahmen der Biogerontologie, einer Teildisziplin der Entwicklungsbiologie, werden insbesondere Abnutzungs- bzw. Verschleißtheorien als Folgen des Alterns und deren Ursachen diskutiert. Diese biologische Perspektive gilt auch als Nachbarwissenschaft der Demographie (vgl. Abschnitt 2). Die medizinische Perspektive wird in der Geriatrie, einer Teildisziplin der Medizin, die sich mit den Krankheiten des alternden Menschen beschäftigt, behandelt und dabei unterscheidet diese zwischen altersassoziierten Krankheiten, die für gegenständliche Untersuchung nicht betrachtet werden und Alterssyndromen. Zu den arbeitssystemrelevanten Alterssyndromen werden das Nachlassen der Sinnesleistungen, Intelligenzabbau, Immobilität, und Instabilität gerechnet.

Einen weiteren wissenschaftlichen Bezug zu Altersvorgängen stellt die Entwicklungspsychologie dar. In dieser ist das systemische prozessorientierte Verständnis des menschlichen Verhaltens, die fortdauernde Weiterentwicklung über die gesamte Lebensspanne (Lebensspannenperspektive) von Bedeutung. Hier werden Bereiche der menschlichen Entwicklung (soziale, ethnische, denken und die Persönlichkeit), Entwicklungsabschnitte und Entwicklungsdiagnostik bis ins hohe Alter beschrieben. Ebenso sind hier Einflussfaktoren, Entwicklungsstörungen sowie Förderung und Methoden der Entwicklungspsychologie zugeordnet. Die Gerontopsychologie beschäftigt sich mit dem Erforschen von Altersvorgängen (z.B. wissenschaftliche Studien

---

<sup>29</sup> Martin M. et al.,2005

zum Alterungsprozess) und ist jener Teil der Entwicklungspsychologie, der sich mit dem Erleben, Verhalten und der Beeinflussbarkeit des alternden Menschen befasst um es beschreiben und erklären zu können. Dies zeigt auf, dass diese Teildisziplin nicht nur den Lebensabschnitt des hohen Alters, sondern den Gesamtprozess des Älterwerdens bei der psychologischen Betrachtung in den Mittelpunkt rückt. Die Gerontopsychologie hat neben der Zugehörigkeit zur Gerontologie eine klare theoretische und methodische Zuordnung zur Psychologie.

Paul B. Baltes, ein Psychologe und einer der führenden Gerontologen weltweit, entwickelte 1990 ein multidimensionales Konzept (vgl. Abschnitt 3.4.1.4), welches nicht in irreversiblen Schritten erfolgt, sondern durch ein Wechselspiel von Kompetenzzuwachs und –abbau gekennzeichnet ist.

## **3.2 Altersdefizite und –kompetenzen**

### **3.2.1 Altersdefizite älterer Beschäftigter**

In vielen Publikationen wird ausführlich über die gesellschaftlichen stereotypen Vorurteile gegenüber älteren Mitarbeitern im Zuge des Arbeitsumfeldes in Unternehmen geschrieben. Darunter werden Meinungen und Vorstellungen zu Arbeitnehmern und deren Arbeitsleistung verstanden, die lediglich aufgrund ihres Alters gebildet werden, ohne dabei auf individuelle Eigenschaften Rücksicht zu nehmen.

Der Kosten/Nutzen Hebel, der junge Mitarbeiter auszeichnet, da diese relativ günstig sind wird zusätzlich durch Attribute wie kreativ, dynamisch, offen, lernbereit, flexibel und körperlich belastbar untermauert. Während in unserer Gesellschaft und in den Unternehmen dieses überwiegend positive Bild vorherrscht, ist das Verhältnis zu älteren Beschäftigten genau umgekehrt. Mit negativen Attributen behaftet schneiden älteren verglichen mit jüngeren Mitarbeitern in der Regel schlechter ab. Altersstereotype wirken sich auf Beurteilungs- und Handlungsprozesse aus und können zu diskriminierenden Verhaltensweisen gegenüber älteren Arbeitnehmern führen, wenn es um Entscheidungsprozesse im Recruiting, um Beförderungs- und Personalabbauentscheidungen oder die Vergabe von Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten geht. Vorurteile sind meist die Hauptgründe dafür, dass potenzielle Vorteile von Altersdiversität in Organisationen nicht gesehen und gelebt werden.

Hierbei gilt es in einer emotional geführten Diskussion unter den Beschäftigten zwischen vermeintlichen Erfahrungen und wissenschaftlich fundamentierten Erkenntnissen zu unterscheiden. Eine nachfolgende Darstellung (Tabelle 5) zeigt übersichtlich die Vorurteile und Gegenargumente denen ältere Mitarbeiter in betrieblichen Umgebungen ausgesetzt sind.

Vorurteile	Gegenargument
<i>„Ältere sind zu teuer.“</i>	Das trifft nur teilweise und das hauptsächlich auf Beamten und Höherqualifizierte zu.
<i>„Ältere haben überholte (zu alte) formale Qualifikationen.“</i>	Ein Mangel an Qualifikationen ist durch Erfahrungswissen und Schlüsselqualifikationen ausgleichbar.
<i>„Ältere sind weniger lernwillig und weniger lernfähig.“</i>	Es ist wissenschaftlich erwiesen, dass die Lernfähigkeit bis ins 70. Lebensjahr erhalten bleibt. Allerdings: Ältere sollten anders motiviert werden als Jüngere. Ältere verfügen über eine andere Lernfähigkeit als Jüngere.
<i>„Ältere sind weniger belastbar und leistungsfähig.“</i>	Ältere halten permanenten Stress und Druck schlechter aus als Jüngere. Ältere können bestimmte schwere körperliche Tätigkeiten nicht mehr durchführen. Das heißt, nur die körperliche Leistungsfähigkeit nimmt ab, die psychische und geistig-soziale nicht. Außerdem besitzen Ältere mehr Erfahrungswissen.
<i>„Ältere sind öfter krank.“</i>	Ältere nehmen gleich häufig Krankenstand in Anspruch wie Jüngere.
<i>„Ältere sind weniger anpassungsfähig, unflexibel und nicht innovativ.“</i>	Ältere haben wertvolles betriebsinternes Wissen und Erfahrungen gesammelt und können dadurch die Umsetzbarkeit und den Erfolg von Veränderungen besser abschätzen. Innovationsfähigkeit ist darüber hinaus nicht vom Alter abhängig, sondern davon welcher Typ Mensch man ist.

**Tabelle 5: Gegenüberstellung Vorurteile und Gegenargumente (Quelle: AMS, 2015)<sup>30</sup>**

Um die pauschalen Feststellungen näher zu hinterfragen sind die wichtigsten Aussagen<sup>31</sup> nachfolgend ausführlicher beschrieben und mit einer Argumentation zusammengefasst.

<sup>30</sup> AMS, Alter hat Zukunft, 2015

<sup>31</sup> Enzenhofer E. et al., AMS ,2004

- Ältere Arbeitnehmer sind schlechter qualifiziert:

Obwohl die berufliche Ausbildung und Qualifikation älterer Mitarbeiter verhältnismäßig länger zurückliegt als bei Jüngeren, liegt die Vermutung nahe, dass deren Wissensstand veraltet ist. Dagegen spricht ein ausgleichend wirkendes Erfahrungswissen. In der Praxis ist eine steigende Nachfrage an Beratungsleistungen durch Fachspezialisten festzustellen.

- Ältere Arbeitnehmer besitzen eine reduzierte Lernwilligkeit und –fähigkeit:

Die Lernfähigkeit älterer Menschen bezieht sich meist auf ihr Wissen und ist gleich ausgeprägt wie bei Jüngeren. Die effiziente Gestaltung von Lernprozessen im Alter berücksichtigt Erfahrungen und bereits Erlerntes. Dies bedeutet, dass Lernen altersgerecht gestaltet werden soll, wobei das Bildungsangebot diesbezüglich selbst innerbetrieblich oft überschaubar bleibt.

- Ältere Arbeitnehmer sind weniger belastbar bzw. leistungsfähig:

Viele Studien zeigen übereinstimmend, dass insgesamt gesehen, ältere Mitarbeiter nicht weniger leistungsfähig oder belastbar sind als jüngere Dienstnehmer.

- Ältere Arbeitnehmer sind weniger anpassungsfähig und weniger flexibel:

Ein Vergleich gilt oft im Zusammenhang mit jüngeren Erwerbstätigen, die keine so langen Betriebszugehörigkeiten aufweisen können. Auch familiäre Gründe und der Lebensmittelpunkt spielen hier eine wesentliche Rolle. Die Globalisierung und Internationalisierung der Industrie bringt aber eine zunehmende Verbesserung der Situation mit sich.

- Ältere Arbeitnehmer sind zu teuer

- Ältere Arbeitnehmer sind öfter krank

- Ältere Arbeitnehmer erfüllen nicht Anforderungen neuer Unternehmensphilosophien

Diese vermutete Defizite beziehungsweise Vorurteile gegenüber älteren Arbeitnehmern in Unternehmen führen zu Gründen für Arbeitslosigkeit.<sup>32</sup> Zusammengefasst ergeben sich daraus drei Themenkreise für die Berücksichtigung und Situation älterer Erwerbstätiger:

- Zu teure ältere Arbeitnehmer
- Abnehmende Leistungsfähigkeit und Produktivität im Alter

---

<sup>32</sup> Penner M., OÖGKK, 2009

- Schlechtere Qualifikation und geringere Lernbereitschaft

Wissenschaftlich fundamentiert ist, dass psychisches und physiologisches Altern diverse Nachteile mit sich bringt. Die fluide Intelligenz (Gedächtnis, sensorische Perception) nimmt im Vergleich zur kristallisierten Intelligenz (Wissen, sprachliche Fertigkeiten) mit fortschreitendem Lebensalter ab. Dabei nimmt einerseits die Wahrnehmungsgeschwindigkeit mit zunehmendem Alter ab, andererseits erreichen andere Bereiche der fluiden Intelligenz, wie z.B. induktives Denken ihr Maximum erst im fünften Lebensjahrzehnt. Der Eindruck, dass ältere Menschen eher kognitiv benachteiligt sind, weil im Alter fluide Intelligenz abnimmt, ist einer Nutzungsineffizienz von Gedächtnisstrategien, um Enkodieren und Abrufen von Wissen zu bilden, zuzuschreiben. Diese Leistungsabnahme ist sowohl auf eine reduzierte Arbeitsgedächtniskapazität (Kurzzeitgedächtnis) zurückzuführen, womit die allgemeine Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bei älteren Menschen langsamer vonstatten geht, als auch auf eine reduzierte kognitive Hemmung im Frontallappen.

### 3.2.2 Alterskompetenzen älterer Beschäftigter

Neben den negativen Attributen und Parametern älterer Arbeitnehmer gilt es im Gegenzug auch die Kompetenzen älterer Beschäftigter und deren Potentiale hervorzuheben (Tabelle 6).

Stärken	... gegenüber Jüngeren
Erfahrungswissen	Ältere können Problemsituationen und Gesamtzusammenhänge rascher und besser einschätzen, und sie arbeiten selbständiger. Jüngere treffen schnellere, Ältere bessere Managemententscheidungen.
Schlüsselqualifikationen	Ältere sind kooperations- und entscheidungsfähiger, sozial sensibler und können erworbenes Fachwissen besser umsetzen.
Spezifische Leistungsfähigkeit	Ältere sind urteils- und koordinationsfähiger und es fällt ihnen leichter komplexe Prozesse zu strukturieren.
Kontinuität, Stabilität	Gefahr der Kündigung und damit einer hohen Fluktuation im Unternehmen ist geringer (Fluktuationsrate ist bei 15- bis 30- Jährigen doppelt so hoch als bei 45+)
Anpassungsfähigkeit an Veränderungen	Innovationspotential ist typ- und nicht altersabhängig. Langjährige Erfahrungen verschaffen

	einen besseren Überblick über Gesamtzusammenhänge, wodurch ein besseres Erkennen von Innovationspotential ermöglicht wird.
Wissenstransferfunktion	Ideal sind gemischte Teams, in denen Ältere als Arbeitsanleiter fungieren, nach dem Motto: „Junge dynamische Hupfer“, die neuen Schwung und Ideen bringen und „erfahrene alte Hasen“, die wissen, wie man diese am besten umsetzt.

**Tabelle 6: Die Stärken älterer Arbeitskräfte (Quelle: AMS, 2015)<sup>33</sup>**

Mit dem Alter erwirbt der Mensch ein reichhaltiges Wissen durch seine berufliche und private Lebenserfahrung, was einen gewissen Grad an Weisheit<sup>34</sup>, die durch post-formal dialektisches Denken gekennzeichnet ist bedeutet.

Deutliche Leistungsvorteile haben ältere Mitarbeiter oft durch das notwendige inhaltsspezifische Expertenwissen ihrer jahrelangen Routine im entsprechenden Tätigkeitsfeld gegenüber jüngeren Kollegen mit weniger Erfahrung. Dabei liefert auch die längere Verweildauer älterer Arbeitnehmer im Unternehmen bei Schlüsselqualifikationen einen wichtigen Beitrag im Zuge betrieblicher Innovationsprozesse, um Basiswissen an neue Qualifikationsanforderungen und neuen Herausforderungen überführen zu können. Das berufliche und persönliche Erfahrungswissen älterer Arbeitnehmer ermöglicht im Unternehmen weniger im Mensch Maschinen Zusammenhang optimale Ergebnisse, als vielmehr unter dem Prinzip des erfahrungsgeliteten Arbeitens in der zwischenmenschlichen Zusammenarbeit. In Team- und Gruppenarbeiten sind nicht nur organisatorisches Erfahrungswissen von erheblicher Bedeutung, sondern auch die positiven soziale Kompetenzen wie Besonnenheit und Geduld, Verantwortungs- und Qualitätsbewusstsein. Ältere Arbeitnehmer verfügen über ein großes Lebens- und Berufswissen und zeichnen sich durch Beständigkeit und Zuverlässigkeit aus.

Die spezifische Leistungsfähigkeit älterer Arbeitnehmer bei Fähigkeiten wie Auffassungsgabe und der Umgang mit Wissen (z.B. Sprachwissen), Kreativität, Systemdenken, Leistungs- und Zielorientierung, sowie psychisches Durchhaltevermögen und Konzentrationsfähigkeit bleiben über die Jahre erhalten. Unterschiedliche Studien und Forschungsergebnissen lassen einen direkten Zusammenhang zwischen Alter und Leistung nicht erkennen<sup>35</sup>. Es kommt zu keiner Reduktion intellektueller Fähigkeiten. Bei raschem Reagieren und hoher Arbeitsflexibilität kann das Alter eine Rolle spielen, wobei es nach biomedizinischen Erkenntnissen generell zu keinem Abbau des physischen und psychischen Leistungsvermögens kommt. Ältere Er-

<sup>33</sup> AMS, Alter hat Zukunft, 2015

<sup>34</sup> Staudinger U.M. et al., 1996

<sup>35</sup> Freiberger E., 2011

wachsene verwenden meist eine höhere Aufmerksamkeit für motorische Aufgaben als Jüngere, um altersbedingte Abnahmen in verschiedenen Funktionsbereichen wie Sehen, Hören, Kraft und Beweglichkeit zu kompensieren. Für das gleichzeitige Ausführen von kognitiven und motorischen Aufgaben ist bei älteren Menschen der Aufwand größer, wobei individuelle Unterschiede in aufgabenrelevanter Erfahrung die Leistung in einer kognitiv motorischen Doppelaufgabensituation beim Lösen von Doppelaufgaben beeinflussen können. Die kognitiven und physischen Aspekte der Leistungsfähigkeit werden nachfolgend genauer in Kapitel 3.4.1 behandelt.

Körperliche Fitness haben, wie in jedem Alter positive Auswirkungen auch auf kognitive Leistungen im Alter, wobei die physiologischen Mechanismen dieses Effektes unklar sind. Eine erfolgreiche Motorik erfordert die effiziente und flexible Koordination der multiplen Freiheitsgrade des menschlichen Körpers. Dabei ist eine motorisch äquivalente Koordination, die Ausnutzung der Freiheitsgrade um trotz Bewegungsvariabilität konsistente Ergebnisse zu erzielen, ein wichtiger Aspekt.

Als Grundlage der Alterskompetenzen gilt das Prinzip der Kompensation durch selektive Optimierung nach Baltes.

Mit dem Alter sinken verhältnismäßig zu jüngeren Mitarbeitern die körperliche Leistungskapazität, die Risikobereitschaft und auch die berufliche Aufstiegsorientierung. Im Zusammenhang mit Defiziten und Kompetenzen älterer Mitarbeiter sollte besser von anders, anstelle von weniger qualifiziert gesprochen werden.

## **3.3 Veränderungen im Alter und im Altersgang**

### **3.3.1 Veränderungen im Alter**

Das Alter des Menschen beschreibt einen bestimmten Lebensabschnitt, also das Lebensalter und unterliegt einer interdisziplinären Betrachtung, die in der Gerontologie näher beschrieben wird. Die Veränderungen physischer und psychischer Fähigkeiten mit zunehmendem Lebensalter können durch menschliche Anpassungsprozesse und Kompensationsstrategien ausgeglichen werden. Dabei wird bei körperlichen Defiziten meist in jene der Wahrnehmung (Sensorik), der kognitiven Leistungsfähigkeit und der Motorik unterteilt<sup>36</sup>.

#### **3.3.1.1 Wahrnehmungsfähigkeit**

In der menschlichen Wahrnehmungsfähigkeit gilt es die verschiedenen physiologischen Eindrücke der Umwelt zu unterscheiden. In einem soziotechnischen Arbeitssystem wird zwischen visuellen, akustischen und haptischen Fähigkeiten als die wesentlichen menschlichen Sensoriken unterschieden.

---

<sup>36</sup> Schlick C.M. et al., 2010

- Visuelle Wahrnehmung:

Unter der visuellen Wahrnehmung wird die Aufnahme sowie Verarbeitung von visuellen Reizen aus der Umwelt verstanden und ist eng mit der reduzierten Fähigkeit bei unterschiedlichen Bedingungen der über die Augen aufgenommenen visuellen Reize verbunden. Physiologisch betrachtet werden Informationen über Auge und Gehirn verarbeitet. Unter altersbedingten Veränderungen des optischen Apparates und vor allem deren Auswirkungen muss vorrangig das Nachlassen der Sehstärke genannt werden. Der Abbau der visuellen Wahrnehmung setzt für verschiedene Sehleistungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten ein. Sehr früh mit zunehmendem Alter setzten Verschlechterungen bei bewegten Objekten in der dynamischen Sehschärfe, der Akkommodationsbreite und -geschwindigkeit bei Bildern im Nah- und Fernbereich und der Tiefenwahrnehmung (Entfernungsabschätzung) ein. Die Adaptationsfähigkeit bezüglich hell und dunkel Wahrnehmung des Auges, sowie das reduzierte periphere Sehen schränkt das nutzbare Blickfeld oder Sehfenster (UFOV, Useful Field of View) in weiterer Folge ein. Die Kontrastempfindlichkeit, der Einfluss von Helligkeit und die Farbwahrnehmung verschlechtert das Sehen zunehmend bei ungünstigen oder diffusen Lichtverhältnissen.

- Akustische Wahrnehmung:

Das menschliche Hörorgan dient der Sinneswahrnehmung von Schall und hat eine hohe spektrale Auflösung. Akustische Ereignisse können innerhalb eines bestimmten Frequenz- und Schalldruckpegelbereichs (Hörfläche) wahrgenommen werden (vgl. Abb. 17).

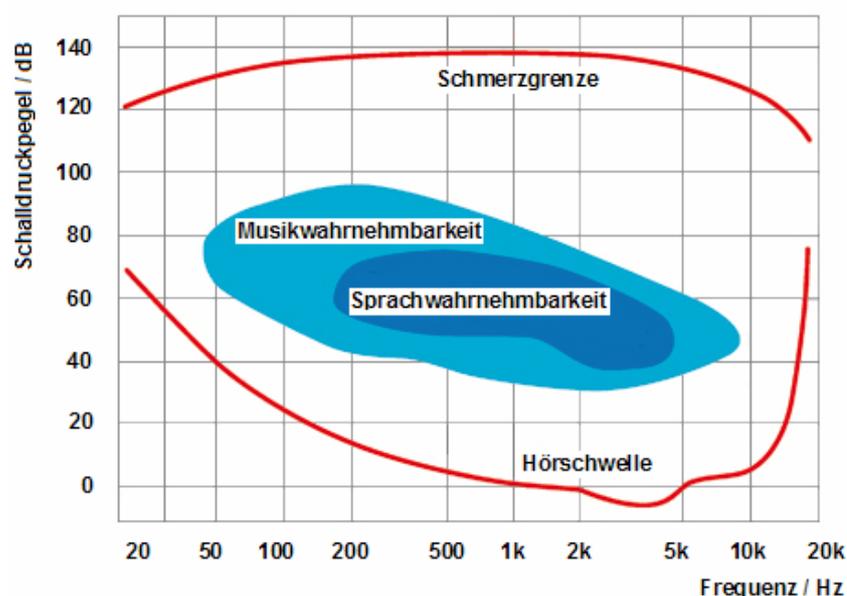


Abb. 17: Hörfläche der menschlichen akustischen Wahrnehmung

Die untere Grenze dieses Bereichs, der Hörschwelle, deren Bezugswert für den Schalldruckpegel bei 0 dB (Dezibel) mit 20  $\mu$ Pa Schalldruck festgelegt ist, liegt zwischen 20 Hz (Hertz), als tiefste hörbaren Frequenz und altersabhängig bis maximal 20 kHz, der höchsten hörbaren Frequenz. Die akustische Schmerzschwelle als obere Grenze einer Hörfläche befindet sich bei etwa 130 dB. Dabei verläuft die menschliche Hörschwelle nicht linear und hat die höchste Empfindlichkeit bei etwa 4 kHz. Wie alle Sinnleistungen verschlechtert sich auch die auditorische Wahrnehmung mit dem Alter. Die akustische Wahrnehmungsfähigkeit von Geräuschen oder Signalen, diese zu orten und zu unterscheiden fällt mit zunehmendem Alter zusehends schwerer. Weiters nimmt die Lärmempfindlichkeit zu, wodurch eine höhere Konzentration zu größerer mentaler Belastung führt.

- Tastsinn:

Eine wichtige Fähigkeit des Menschen liegt in seinem Tastsinn, als Gesamtbegriff der taktilen, einer passiven Wahrnehmung mechanischer Eindrücke und der haptischen Wahrnehmung, einem aktiven Erkennen durch eigenes Berühren verwendet wird. Im Bereich der Interaktion mit einem Arbeitssystem ist die haptische Wahrnehmung Gegenstand altersgerechter Betrachtung. Die Oberflächensensibilität beschreibt Wahrnehmungen mechanischer Reize in Form von Druck, Vibration und Gewebsdehnung von Reizen über in der Haut. Diese unterscheidet sich von der Tiefensensibilität, die sich in die Propriozeption, die Fähigkeit des Menschen eine Stellung seiner Gliedmaßen, sowie die Lage des eigenen Körpers im Raum wahrzunehmen und die Kinästhesie, die Fähigkeit Körperbewegungen wahrzunehmen und zu steuern. Beide haben mit zunehmendem Alter eines Menschen einen wesentlichen Einfluss auf die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung. In den Bereich der haptischen Sensitivität fällt auch die Viszerozeption (Wahrnehmung der Informationen über Organtätigkeiten), sowie die Schmerz- (Nozizeption) und Temperaturwahrnehmung (Thermorezeption).

Generell verschlechtern sich über die Jahre alle Sinnesleistungen. Dies betrifft auch die nicht themenrelevante olfaktorische (Geruch) und gustatorische (Geschmack) Wahrnehmung.

### **3.3.1.2 Kognitive Veränderungen**

Die kognitiven Fähigkeiten sind jene Aktivitäten und Leistungen des Gehirns zur Aufnahme, Verarbeitung und Bearbeitung von Wissen. Sie zeichnen für Konzentration, Erinnerungsvermögen, Aufmerksamkeit, Vorstellungskraft und logisches Denken verantwortlich. Die Basis bilden jene Sinnesreize und Wahrnehmungen, welche gleichzeitig vom Gehirn verarbeitet und ausgewertet werden. Die kognitive Leistungs-

fähigkeit eines Menschen bezeichnet personenspezifische psychische Strukturen und Prozesse wie Gedanken, Meinungen, Einstellungen, Wünsche und Absichten ebenso, wie Informationsverarbeitungsprozesse beim Denken und bei Problemlösungen auf intellektueller und verstandesmäßiger Grundlage. Hierbei entstehen neue Gedächtnisinhalte und Wissen mit dem der Mensch in der Lage ist vergangenes, gegenwärtiges und zukünftiges situationsbedingt einzuordnen und zu beurteilen. Die Grenzen dieser Leistungsfähigkeit liegen in verschiedenen Bereichen der menschlichen spezifischen Faktoren (vgl. Abb.19).

Die fluide Intelligenz entwickelt sich defizitär. Sie beinhaltet die Aufnahme, Verarbeitung von Informationen bezüglich deren Geschwindigkeit und des Prozessergebnisses (z.B. Schlussfolgern). Im Gegensatz dazu nimmt die kristalline Intelligenz (z.B. Fachwissen) zu. Diese bezeichnet Problemlösungsstrategien und verknüpft Wissen mit neuen Erkenntnissen. Im Gedächtnis liegt die Fähigkeit Eindrücke, die durch unbewusste oder bewusste Lernprozesse zu Stande gekommen sind zu speichern, zu ordnen und wieder abrufen zu können (z.B. Erinnerungsvermögen). Das Arbeitsgedächtnis in dem das Denken und Hantieren von Informationen stattfindet, ist kapazitiv begrenzt. Wissen, das im Langzeitgedächtnis gespeichert ist, wird oftmals durch Erwartungen, wie auch durch nachfolgende Informationen, verändert. Es kann jedoch ebenso vorkommen, dass Vorhandenes nicht abrufbar ist (Retrieval Problem).

Zusammengefasst gilt, dass der menschliche Organismus aufgrund seiner Möglichkeiten bei der Verarbeitung auf Umweltreize begrenzt reagiert. Die Fähigkeit zur selektiven und geteilten Aufmerksamkeit verschlechtert sich mit zunehmendem Alter. Auch bei Mehrfach Tätigkeiten (Multi Tasking) kommt es früher zu gravierenden Auswirkungen bis zur Überforderung bei Belastung und Beanspruchungen. Arbeitsfähige ältere Mitarbeiter können gut gelernte häufig wiederholte Tätigkeiten ähnlich gut und in gleicher Geschwindigkeit wie jüngere Kollegen ausführen. Problematischer sind komplexere Arbeitsaufgaben mit verändertem Inhalt. Eine reduzierte Belastbarkeit und Fähigkeit sich auf ein wandelndes dynamisches Umfeld einzustellen, führen früher an die Leistungsgrenzen. Die Kurz und Langzeitgedächtniskapazität sowie die Langzeitgedächtnisspanne nimmt mit zunehmendem Alter ab. Es zeigen sich auch Einschränkungen bei Reaktionsschnelligkeit und Verarbeitungsgeschwindigkeit, Zeit- und Geschwindigkeitsschätzvermögen, Orientierung sowie Problemlösungen.

Ein alternativer Denkansatz ist zurückzuführen auf den Artikel: „Cognitive Science: "The Myth of Cognitive Decline: Non-Linear Dynamics of Lifelong Learning"<sup>37</sup>

*„Das menschliche Gehirn arbeitet im Alter zwar langsamer, aber nur, weil es im Laufe der Zeit mehr Wissen gespeichert hat.“<sup>38</sup>*

---

<sup>37</sup> Ramscar M. et al., 2014

<sup>38</sup> derStandard: Kognitive Fähigkeiten im Alter, (vom: 1. Februar 2014)

### 3.3.1.3 Motorische Einschränkungen

Die kinematischen motorischen Einschränkungen sind in erster Linie durch muskuläre Dysbalancen und dadurch eingeschränkte Beweglichkeit (Gelenköffnungswinkel) gegeben. Durch die Reduktion der physischen Fähigkeiten treten dynamische Defizite in Reaktion und Geschwindigkeit, Kraft und Ausdauer, sowie daraus resultierend in Bewegungskoordination auf. Mit zunehmendem Alter erhöht sich auch die Zeit für die Regenerationsphase des Körpers. Der Verlust an Muskelmasse sowie die Veränderung der Muskeldichte und -konsistenz führen zur Abnahme der Muskelkraft. Eine geringere Belastbarkeit, eine schnellere Ermüdung und die langsamere Reaktionsfähigkeit reduzieren in weiterer Folge die Leistungsfähigkeit des älteren Mitarbeiters. Motorische Fähigkeiten erfordern ein hohes Maß an Präzision und Koordination.

Bis ins Ende des letzten Jahrhunderts wurde von einem Defizitmodell des Alters gesprochen. In jedem arbeitsmedizinischen Lehrbuch sind defizitäre Entwicklungen physiologischer Eigenschaften dargestellt. Beispielhaft sei hier nachstehend die Entwicklung der Muskelkraft in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht aufgezeigt (Abb. 18).

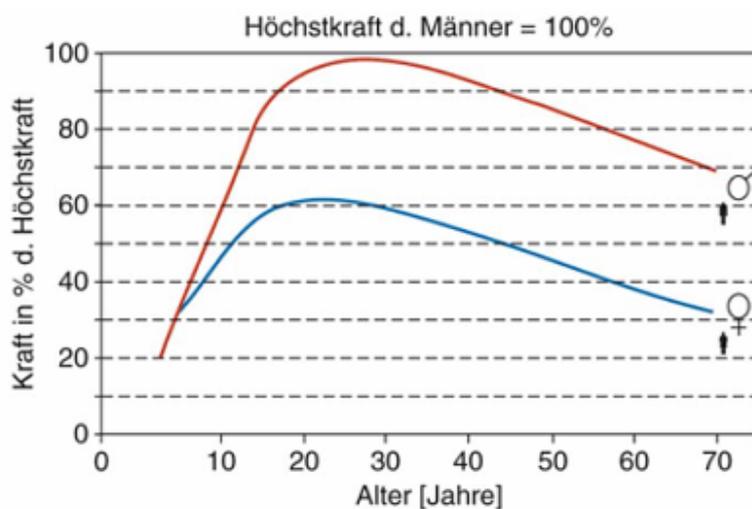


Abb. 18: Muskelkraft in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht <sup>39</sup>

Neben Abnutzungserscheinungen am passiven Bewegungsapparat in Gelenken, an Sehnen und Knochen wirkt die Körperfettzunahme sowie die Abnahme von Plasmavolumen, Gesamtkörperwasser und Extrazellulärflüssigkeit im Alter leistungsmindernd.

Viele Einflussfaktoren neben der Arbeitsbiographie wie Lebenswandel und Freizeitaktivitäten zeigen eine stark variierende Leistungsfähigkeit im Alter (Abb. 19). Trotz reduziertem VO<sub>2</sub>max (maximale Sauerstoffaufnahme für die innere Atmung) mit zunehmendem Alter, haben sportliche wie aktive Freizeitgestaltung einen positiven Ein-

<sup>39</sup> Langhoff T., 2009

fluss auf die Humanproduktivität und führen in späteren Lebensabschnitten zu erheblichen Differenzierungen des persönlichen Potentials.

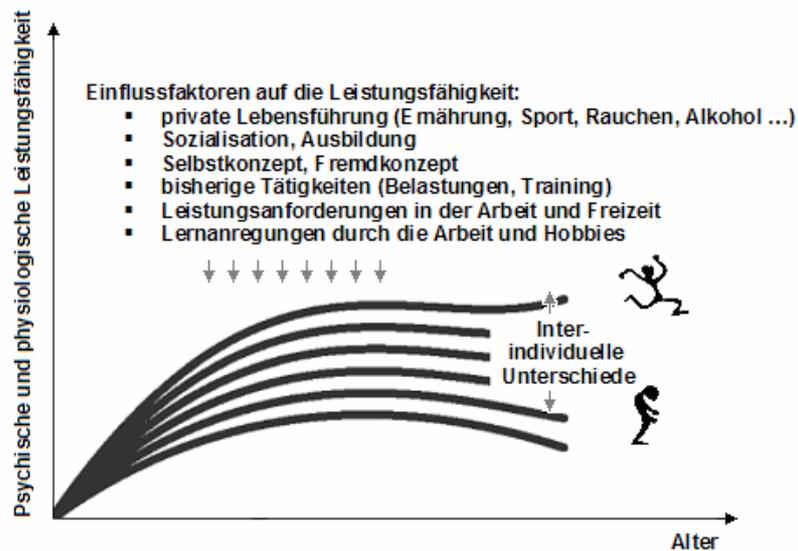


Abb. 19: Prinzipskizze, Entwicklung der Bandbreite der Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Lebensalter<sup>40</sup>

Berufliche Leistungen orientieren sich nicht an sportlichen Maxima, sondern an der durchschnittlichen Dauerleistungsfähigkeit.

### 3.3.1.4 Kompensationsstrategien

Menschen mit zunehmendem Alter besitzen die Fähigkeit altersbedingte Einschränkungen kompensieren zu können. In der Altersforschung (Gerontologie) gilt das Modell der Selektiven Optimierung mit Kompensation (SOK Modell). In diesem Modell wird postuliert, dass trotz zunehmender Einschränkungen eine positive Entwicklung im Alter durch effiziente Ausnutzung der verbleibenden Ressourcen erzielt werden kann. Das SOK Modell vom Ehepaar Baltes entwickelt, ist als eine Weiterentwicklung der Alterstheorien zu sehen. Hierbei sollen Selektion, Optimierung und Kompensation optimal aufeinander abgestimmt werden. Unter Selektion wird verstanden jene Möglichkeiten herauszusuchen, die man verwirklichen kann, diese dann möglichst optimal auszuführen und gegebenenfalls Alternativen zu suchen, wenn Ressourcen wegfallen.

<sup>40</sup> Langhoff T., 2009

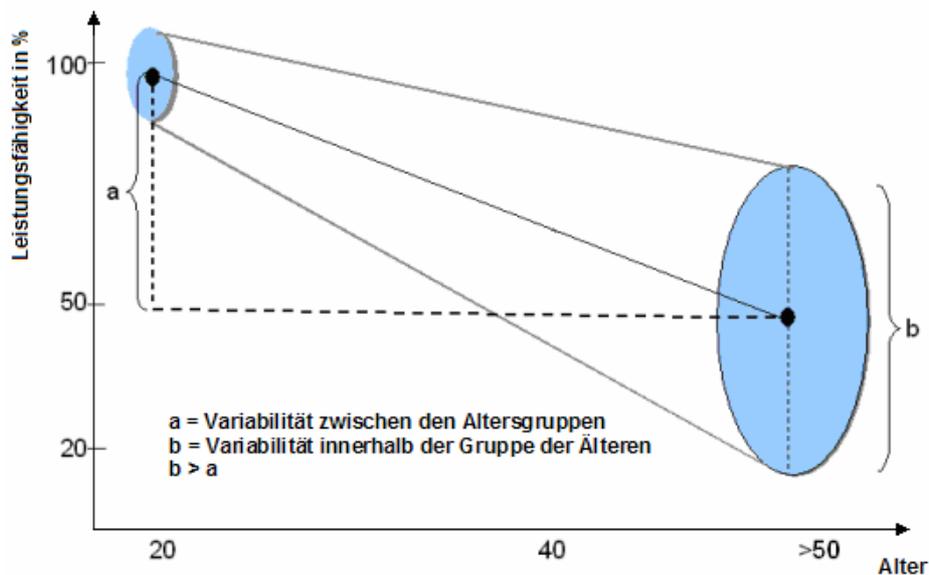


Abb. 20: „Baltes-Kurve“: Zunahme der Leistungsvariabilität im Alter<sup>41</sup>

Bei Betrachtung der Baltes-Kurve (Abb. 20) ist eine erhöhte Variabilität der Leistung im Alter zu sehen. Die Forschung von Baltes hat kognitive Prozesse des Alterns differenziert betrachtet und nicht als defizitäre Entwicklungen dargestellt.

Während die kognitive Leistungsfähigkeit mehrheitlich durch Intelligenztests erfasst wurde, wird im Intelligenzmodell von Catell (Zweikomponententheorie der Intelligenz, 1971) zwischen mentalen altersstabilen und mit dem Alter abnehmenden Fähigkeiten unterschieden. Besser bekannt ist dies auch als kristalline (pragmatische) und fluide (mechanische) Intelligenz (Abb. 21).

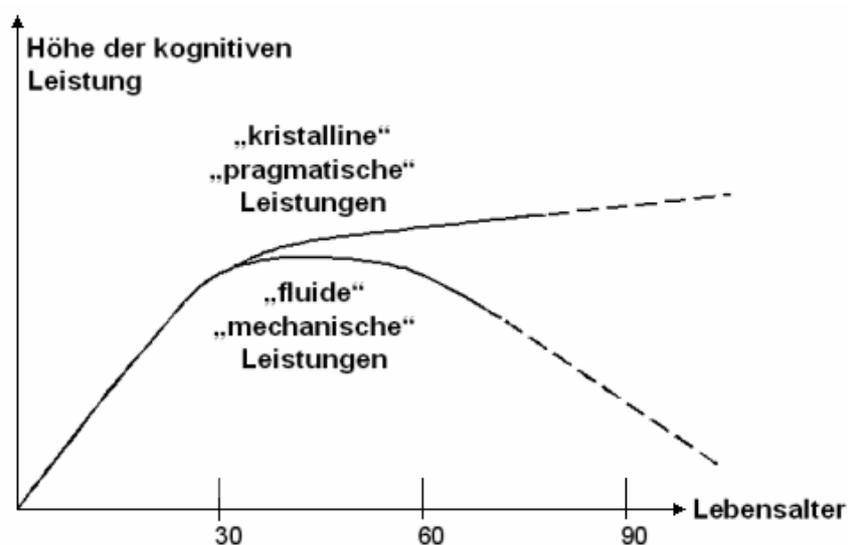


Abb. 21: Konstrukt der fluiden und kristallinen Intelligenz zur Entwicklung der Intelligenz im Altersverlauf

<sup>41</sup> Langhoff T., 2009

Diese stehen in gegenläufiger Beziehung, sodass ein Abbauprozess hinsichtlich des beruflichen Lebensabschnitts kaum bemerkbar ist.

Physiologische und kognitive Parameter führen trotz individuellen Alterns zu negativen Altersgradienten, auch wenn sich diese Entwicklung nur in den Gesamtscores bemerkbar macht. Die Streubreite dieser Ergebnisse wird durch ein dauerhaftes Training arbeitsnotwendiger Lernerfordernisse und durch eine aerobe Fitness, die mechanische Intelligenz betreffend, positiv beeinflusst. Bei Anwendung beider Maßnahmen, führt dies zu einer hohen kognitiven Leistungsfähigkeit im Alter. Mit zunehmendem Alter nimmt jedoch die Streubreite zu und eindeutige Ergebnisse, sowie Unterschiede zeigen sich im hohen Lebensalter (ab 75 Jahre). Viele begünstigende Umgebungseinflüsse, insbesondere die der Arbeitsbedingungen bewirken gute Ergebnisse bei den Ausprägungen der Parameter.

Das Defizitmodell des älteren Menschen ist ein gelerntes Modell. Weder aus arbeitsmedizinischer noch aus kognitionswissenschaftlicher Sicht sollte von dieser negativen Sprachregelung bei zunehmendem Alter ausgegangen werden. Korrekt ist, wenn von einem Kompetenzmodell des Alters gesprochen wird. Ein Kompetenzmodell bedeutet, dass die Leistungsfähigkeiten unterschiedlich stark individuell, von besser bis nachlassend ausgeprägt sein können. Auch die zeitliche unterschiedliche Veränderung dieser Parameter zeigt die irreführende Beurteilung beim Heranziehen des kalendarischen Alters als Bewertungskriterium.

### **3.3.2 Veränderungen im Altersgang**

Die durch die demographische Entwicklung beeinflusste veränderte Altersstruktur einer Belegschaft zwingt Unternehmen zu einem aktiven Beschäftigen mit dem Altern. Unter Veränderungen im Altersgang werden die mit zunehmenden Alter ab-, zunehmenden und gleich bleibenden körperlichen (sensorischen, kognitiven und motorischen), psychischen und sozialen Fähigkeiten (Leistungsfähigkeit) des Menschen verstanden. Der körperliche Unterschied eines Beschäftigten, dargestellt in Leistungsfähigkeitskurve mit physiologischen Parametern, ist ab einem Lebensalter von Mitte bis Ende des dritten Jahrzehnts in Arbeitssystemen von Bedeutung. Für eine ganzheitliche Betrachtung soziotechnischer Arbeitssysteme kann ein unternehmensseitige oder/und ein mitarbeiterseitige Sichtweise zur Thematik gewählt werden. Nachfolgend wird näher auf die altersbedingten Veränderungen eines Beschäftigten eingegangen.

#### **3.3.2.1 Körperliche physische Leistungsfähigkeit**

Die nachfolgende Aufstellung (Tabelle 7) zeigt eine Übersicht über das Eintreten der wahrnehmungsbedingten Veränderungen, das Nachlassen der visuellen, akustischen und taktilen Wahrnehmung im Altersgang.

Wahrnehmung	Lebensalter [Jahre]
<b>Sehen</b>	
Vermehrter Lichtbedarf	35-40
Nachlassende Akkommodationsbreite	40-50
Höhere Blendempfindlichkeit	40-50
Schlechtere Anpassung an grelles Licht	40-50
Verminderte Tiefenwahrnehmung	40-50
Verminderung der Sehschärfe	50-57
Verzögerte Dunkelanpassung	55-60
Einengung des Gesichtsfeldes	55-60
Längere Dauer für scharfe Objektwahrnehmung	55-60
Schlechte Farbwahrnehmung	> 70
<b>Hören</b>	
Verminderte Hörfähigkeit (Männer)	32-40
Verminderte Hörfähigkeit (Frauen)	37-40
Störanfälligkeit bei Hintergrundgeräusche	45-50
Seitendifferenzentfall bei dichotischer Diskrimination	> 70
Deutlicher Presbyakusis	> 70
<b>Tasten</b>	
Verminderung der Tastkörperchen	20-30
Graduelle Abnahme der Hautsensibilität	30-40

Tabelle 7: Abnahme der Wahrnehmung im Altersgang (Quelle: Saup, 1993)<sup>42</sup>

- Visuelle Wahrnehmung:

Die altersbedingten Veränderungen der visuellen Wahrnehmung zeigen sich in unterschiedlichen Auswirkungen wie nachfolgend näher ausgeführt.

- Altersweitsichtigkeit:

Mit zunehmenden Jahren fällt die Anpassung der Krümmung der Augenlinse, um Gegenstände entsprechend ihrer Entfernung scharf zu sehen, schwerer. Durch diese nachlassende Anpassungsfähigkeit und die vergrößerte Nahpunkt Distanz, welche sich ab dem 45. Lebensjahr immer weiter entfernt, kommt es zur Presbyopie (Altersweitsichtigkeit).

<sup>42</sup> Saup W., 1993

- Verminderung der Sehschärfe:

Unter der Sehschärfe wird die scharfe Wahrnehmung zweier voneinander getrennten Punkte in einem bestimmten Abstand und das deutliche Erkennen von Bildern und Objekten verstanden. Die Ursachen der altersbedingten Reduktion dieser, liegen im Nachlassen der Sehschärfe, einer verlangsamten Scharfeinstellungsfähigkeit durch zunehmende Verminderung der Formänderungsfähigkeit der Linse und einem vermehrten Lichtbedarf infolge der Altersmiose (Engstellung der Pupille).

- Einengung des Gesichtsfelds:

Ab Mitte des fünften Lebensjahrzehntes kommt es zu einem eingeschränkten Blickfeld der Umgebung (vgl. Abschnitt 3.4.1.1).

- Beeinträchtigung der Tiefenwahrnehmung:

Durch die Verringerung der Lichttransmission, einer Augentrübung mit vermehrter Lichtstreuung und dem Nachlassen der Akkommodationsfähigkeit des Auges (Abb. 22) kommt es ab dem vierten Lebensjahrzehnt zu Beeinträchtigungen in der Tiefenwahrnehmung. Das Abschätzen von Entfernungen und Abmessungen, sowie ein räumliches Sehen werden Zunehmens schwieriger.

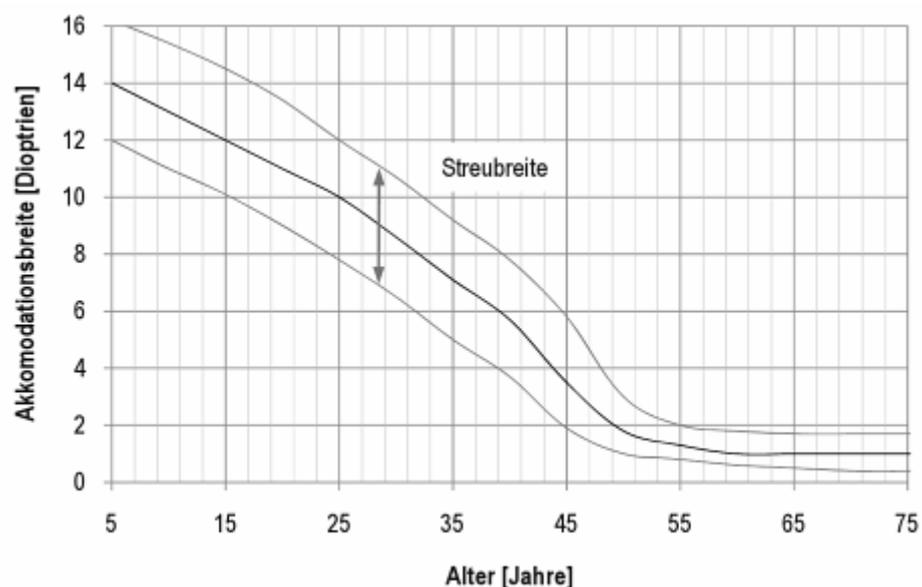


Abb. 22: Veränderung der Akkommodationsbreite mit dem Alter (Schmidt u. Schaible 2000)<sup>43</sup>

<sup>43</sup> Schmidt R.F. et al., 2013

- Verzögerte Dunkeladaptation und Sensitivitätseinschränkung der Farbwahrnehmung:

Ab dem fünften Lebensjahrzehnt verzögert sich die Augenadaptation bei Helligkeitswechsel (hell/dunkel) merklich, da Stoffwechseländerung und eine abnehmende Blutversorgung Veränderungen an der Netzhaut bewirken. Erst im hohen Alter kommt es zu einer weiteren massiven Verschlechterung der Farbwahrnehmung durch Einfärbung der Linse (Katarakt).

- Beeinträchtigung der Kontrastwahrnehmung und Erhöhung der Licht und Blendempfindlichkeit:

Die Eintrübung der Linse und die verringerte Pupillenöffnung mit zunehmendem Alter führen zu einer Verschlechterung der Kontrastsensitivität. Gleichzeitig nimmt ab dem vierten Lebensjahrzehnt die Empfindlichkeit für helles blendendes Licht und Lichtreflexionen aufgrund zunehmender Partikelanlagerung, die eintretendes Licht streuen, am Glaskörper zu.

Abhilfen bei visuellen Problemen nicht nur bei älteren Beschäftigten schaffen neben Sehhilfen eine stärkere Beleuchtung, wobei deren Grenzwerte mit dem Nichterkennen abgeschatteter Teile erreicht sind und in der Blendwirkung bei vermehrter Lichtstreuung liegen.

- Auditive Wahrnehmung:

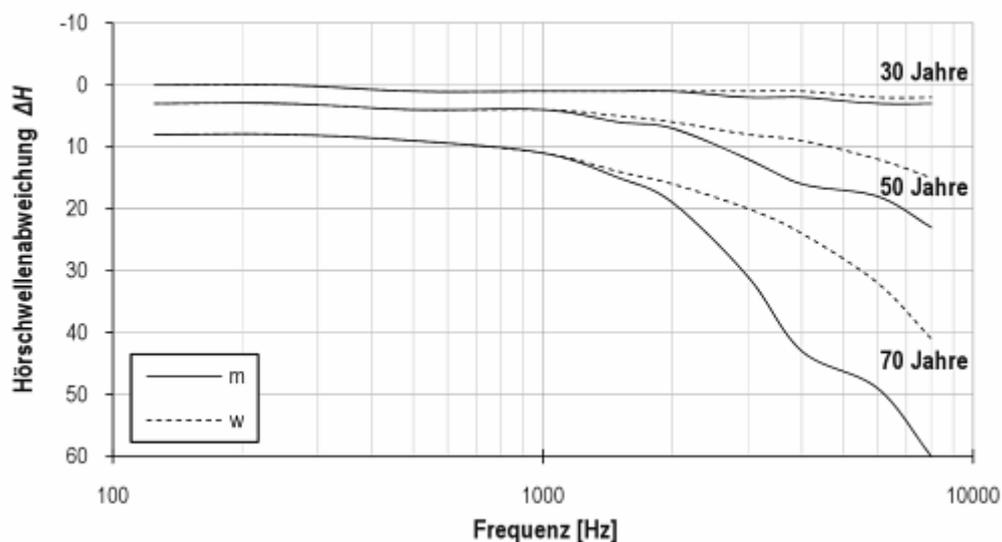


Abb. 23: Obere Hörgrenze in Abhängigkeit des Alters (Daten aus DIN EN ISO 7029)<sup>44</sup>

Die altersbedingten Veränderungen des auditiven Systems (Abb. 23) sind bereits mit einer nachlassenden Empfindlichkeit hochfrequenter Töne wie Pfeiftöne oder Vogelgezwitscher ab dem 30. Lebensjahr festzustellen.

<sup>44</sup> Schieber F., 1992

Ab der Mitte des vierten Lebensjahrzehnts leiden schon 20% an einer Hörschwäche. Speziell hochfrequente Töne zwischen 1000 und 8000 Hz können von älteren Mitarbeitern schlechter wahrgenommen werden. Die Altersschwerhörigkeit (Presbyakusis), durch zunehmende Abnutzungserscheinungen der Gehörrezeptorzellen und dem Absterben der Hörzellen treten erst in der Regel nach der Erwerbstätigkeit auf. Berücksichtigt sind hier nicht individuelle Auswirkungen betriebsinterner Arbeitssituationen von Arbeitsplätzen mit hohem Lärmpegel.

- Tastsinn:

Alterungsbedingte Veränderungen des Tastsinns beginnen mit der Abnahme der Hautsensibilität durch die Reduktion der Meißnerschen Tastkörperchen ab dem dritten Lebensjahrzehnt. Eine Einschränkung der Arbeitsleistungsfähigkeit durch die Veränderung des Tastsinns kann nicht festgestellt werden.

- Kognitive Wahrnehmung:

Allgemeine altersbedingte Veränderungen der kognitiven Fähigkeiten lassen sich nicht feststellen. Hierbei kommt es weniger zu einem generellen kognitiven Leistungsabfall, als zu einer qualitativen Veränderung der Intelligenzstruktur. Die flüssigen kognitiven Leistungsanteile, die für Informationsverarbeitungstempo und Konzentration verantwortlich sind, verschieben sich in Richtung der stark bildungs- und übungsabhängigen kristallinen kognitiven Intelligenz.

Die flexible Informationsverarbeitung für ein situationsbedingtes Erarbeiten von Lösungen und die dazu notwendige Denkgeschwindigkeit werden langsamer. Die unterschiedlichen Funktionen des Gedächtnisses unterliegen altersbedingt unterschiedlichen Veränderungen wie in Abschnitt 3.4.1 ausgeführt. Während bei entsprechendem Training die pragmatische Leistungsfähigkeit ansteigen kann, fällt der mechanische Anteil mit zunehmendem Alter ab. Die Reaktionsgeschwindigkeit reduziert sich zwischen dem zweiten und siebten Lebensjahrzehnt um ca. 40%. Die Ursachen, welche diese Entwicklung verstärken, sind in verminderter Gehirndurchblutung, in Veränderungen der elektrischen Hirnaktivität oder auch durch Veränderung der Informationsverarbeitung des Zentralnervensystems zu finden. Beim Abbauprozess der einzelnen kognitiven Fähigkeiten kommt es zu großen interindividuellen Leistungsunterschieden über die unterschiedlichen Lebensläufe hinweg. Keine Veränderung zeigt sich im Langzeitgedächtnis, wo Wissen, Bewegungsabläufe und Sinneseindrücke gespeichert sind. Hingegen kann es zu zunehmender Verlangsamung der geistigen Funktionen durch das Informationsverarbeitungstempo im Kurzzeitgedächtnis (Arbeitsgedächtnis) kommen und durch ein

Nachlassen der Sinneswahrnehmung ist die Aufnahme von Informationen ins sensorische Gedächtnis (Ultrakurzzeitgedächtnis) ebenfalls erschwert.

- **Motorische Fähigkeiten:**

Der aktive Bewegungsapparat verliert mit zunehmendem Alter an Leistungsfähigkeit. Die Ursachen werden unter Abschnitt 3.4.2.2 (Physiologische Veränderung im Alter) näher erörtert. Jedes Jahr verliert der menschliche Körper ein Prozent an Muskelkraft, Ausdauer und Knochenmasse. Dies bedeutet in der Theorie, dass ein sechzigjähriger untrainierter Mitarbeiter um 30 Prozent weniger leistungsfähig als ein Dreißigjähriger ist. Es kann jedoch mit einem geringen Zeitaufwand von ein bis vier Stunden Training pro Woche die Leistungsfähigkeit um 20 bis 40 Prozent gesteigert werden<sup>45</sup>. Es kommt auch zu einem Maximalkraftverlust der einzelnen Muskelfasertypen. Während bei Männern im Altern die Muskelkraft in oberen und unteren Extremitäten gleichermaßen abnimmt, ist bei Frauen der Abbau der Beinmuskulatur stärker betroffen. Es gibt zwei unterschiedliche Muskelfasertypen. Muskeln mit schnellen Fasern ermüden schneller, als die für Haltefunktionen eingesetzten Muskeln mit langsamen Fasern, da die schnellen Fasern für kraftvolle Bewegung eine hohe Kontraktions- und Erschlaffungsgeschwindigkeit haben. Schnelle Muskelfasern degenerieren schon ab Mitte des dritten Lebensjahrzehnts, wodurch Maximalkraftwerte mit zunehmendem Alter entgegen der Ausdauerleistung abnehmen.

Die Beweglichkeit des Gelenksystems wird mit zunehmendem Alter durch die Strukturänderungen in Muskeln, Sehnen, Bändern, Knochen und Knorpel eingeschränkt. Ebenso lässt die Elastizität der Wirbelsäule nach und die Alterung der Bandscheiben führt zu zunehmender Bewegungssteifigkeit und Ungelenkigkeit. Die eingeschränkte Nutzung der menschlichen Freiheitsgrade und die reduzierte Muskelkraft führen zu einer zunehmenden Beeinträchtigung der Feinmotorik. Diese Auswirkungen neben verschlechtertem Koordinationsvermögen und Abbau des Tastsinns zeigen sich vor allem in der Fingerfertigkeit und bei sensomotorischen Handlungen.

### **3.3.2.2 Physiologische Veränderung im Alter<sup>46</sup>**

Durch die Abnahme der Anzahl der Muskelfasern und des Muskelquerschnitts der Muskelfasern reduzieren sich bei weniger Muskelmasse die Energiebereitstellung und damit die Leistungsentwicklung. Gleichzeitig steigt der Körperfettanteil, der das Körpergewicht erhöht und damit den Energiehaushalt mehr belastet. Das kontinuierliche Absinken des Testosteronspiegels bewirkt eine geringere Leistungsbereitschaft.

---

<sup>45</sup> Bachl N. et al, 2005

<sup>46</sup> Weineck J., 2004a

Durch die sinkende maximale Herzfrequenz von etwa einem Herzschlag pro Lebensjahr kommt es zu einer reduzierten Sauerstoffaufnahme von jährlich ca. 1%. So wird weniger Sauerstoff über die innere Atmung transportiert, was den Energiestoffwechsel negativ beeinflusst.

Die Abnahme der Sauerstoffaufnahme (Abb. 24) beginnt bereits im zweiten Lebensjahrzehnt und beeinflusst hierbei das Arbeitsverhalten<sup>47</sup>. Negativ verhält sich der alternde Körper auch in der Regenerationsphase. Mit steigendem Lebensalter benötigt der Organismus länger die volle Leistungsfähigkeit nach Maximalbelastungen wiederherzustellen. Durch die Abnahme der Körperflüssigkeit nimmt auch die damit verbundene Fähigkeit zur Temperaturregulation ab.

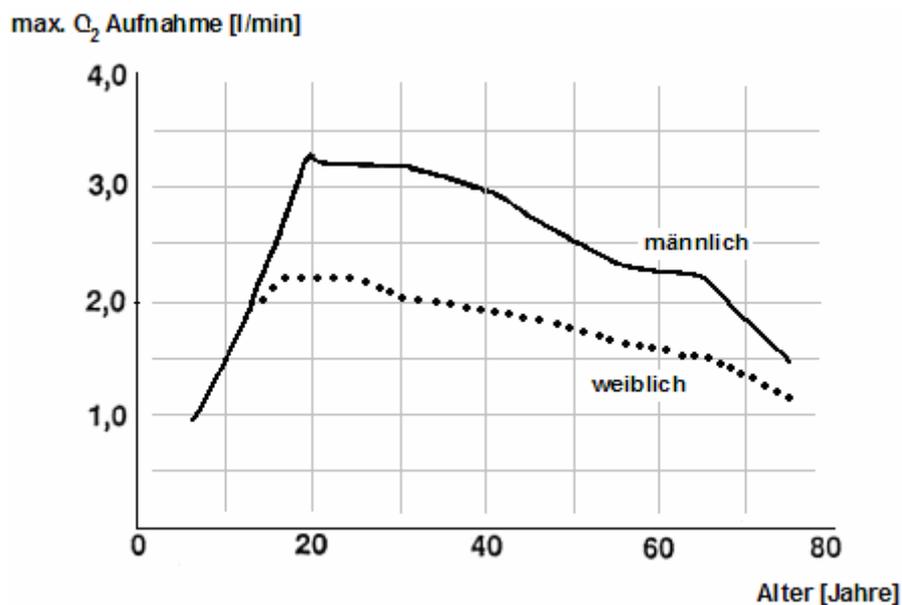


Abb. 24: Maximale Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit von Lebensalter und Geschlecht (Hollmann, 1963)<sup>48</sup>

Im Herzkreislaufsystem kommt es zu Einschränkungen im Herzschlagvolumen, zu einer abnehmenden Anpassung der Arterien und Kapillarbildung und verzögerten Blutdruckregulation. Der zunehmende systolische und diastolische Blutdruck, abhängig von Lebensweise und Umwelt bewirkt Kreislaufregulationsstörungen und Belastungen können nur über Herzfrequenzsteigerung kompensiert werden.

Um diesem Alterungsprozess entgegenzusteuern und zur Vertiefung in der Materie<sup>49</sup> sei auf eine einschlägige Literatur verwiesen.

Die nachstehende Übersicht (Tabelle 8) zeigt die altersbedingten Veränderungen bezüglich der Organe und körperlicher Systeme, sowie die dazugehörigen physiologischen Veränderungen und Auswirkungen.

<sup>47</sup> Hollmann W., 2006

<sup>48</sup> Hollmann W., 1963

<sup>49</sup> Weineck J., 2004

Organ/System	Altersbedingte Veränderungen	Arbeitsrelevante mögliche Folgen altersbedingter physiologischer Veränderungen
Allgemein	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zunahme des Körperfetts</li> <li>▪ Abnahme der Körperflüssigkeit</li> <li>▪ Abnahme der Muskelmasse</li> <li>▪ Abnahme des Grundstoffwechsels</li> <li>▪ Abnahme der Temperaturregulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der physischen Leistungsfähigkeit</li> <li>▪ Unbemerkte Unterkühlung</li> </ul>
Sinnesorgane	<p><i>Augen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alterssichtigkeit, Presbyopie, Linsentrübung</li> </ul> <p><i>Ohren:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hochtverlust (umweltabhängig)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verminderte Akkommodation</li> <li>▪ Eingeschränkte Wortdiskrimination bei Hintergrundgeräuschen</li> </ul>
Respirationstrakt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abnahme der Lungenelastizität</li> <li>▪ Steifheit im Brustkorb (Altersthorax)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Missverhältnis zwischen Ventilation und Perfusion</li> <li>▪ Sauerstoffpartikeldruck nimmt ab</li> </ul>
Herz/Kreislauf-System	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abnehmende Anpassung der Arterien, zunehmender systolischer und diastolischer Blutdruck</li> <li>▪ Verzögerte Blutdruckregulation</li> <li>▪ Einschränkung des Herzschlagvolumens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Orthostatische Probleme</li> <li>▪ Belastung kann oft nur über Herzfrequenzsteigerung abgefangen werden</li> </ul>
Bewegungsapparat	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Skelettmuskulatur nimmt ab</li> <li>▪ Bänder, Sehnen, Muskeln weniger dehnbar</li> <li>▪ Abnahme des Mineral-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ geringere Beweglichkeit und Kraft</li> <li>▪ Erhöhte Anfälligkeit für</li> </ul>

	stoffgehalts der Knochen <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gelenkbeweglichkeit nimmt ab</li> </ul>	Knochenbrüche
Haut	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Atrophie, Schwund des subkutanen Fettgewebes</li> <li>▪ Abnahme und veränderte Struktur des kollagenen Bindegewebes, verminderte Durchblutung der Lederhaut</li> <li>▪ verminderte Talgdrüsenaktivität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ verlangsamte Wundheilung</li> <li>▪ Faltenbildung</li> <li>▪ verminderte Hautfettung, trockene Haut</li> </ul>

Tabelle 8: Organ/System – altersbedingte Veränderungen(Quelle: BMFSFJ, 2001)<sup>50</sup>

### 3.3.2.3 Mentale psychische Leistungsfähigkeit

Die psychische Leistungsfähigkeit, der Eigenschaften wie Intelligenz, Aufmerksamkeit, Konzentration und Assoziationsleistung zugeordnet sind, bleiben über den Altersgang gesehen gleich. Auch Teile der kognitiven Fähigkeiten können positiven Einfluss haben und diesem Bereich der Leistungsfähigkeit zugeordnet werden.

An dieser Stelle sind auch jene psychologischen Faktoren erwähnt, deren Auswirkungen sich negativ auf die Arbeitsaufgaben auswirken. Dazu zählen die unklare innerbetriebliche Rolle der älteren Arbeitsperson, Sorgen über die subjektive Zukunft (z.B.: Ruhestand, Beförderung, Arbeitslosigkeit während einer Rezession) oder mangelnde Kontrolle über die eigene Arbeit.

### 3.3.2.4 Soziale Leistungsfähigkeit

Die soziale Leistungsfähigkeit nimmt über die Jahre zu. Diese Kompetenz umfasst eine Vielzahl von Fertigkeiten und stellt eine individuelle Fähigkeit dar, bei sozialen Interaktionen sowie Kooperationen beim Verhalten in einer Gruppe mitzuwirken. Dabei wird unter sozialer Intelligenz jene Fähigkeit verstanden, die einem ein situationsbedingtes kluges Reagieren ermöglicht. Im Arbeitsleben wächst meist mit dem Alter die Fähigkeit, das Verhalten und die Einstellungen von Mitarbeitern positiv zu beeinflussen. Diese Schlüsselqualifikation beschreibt die Fähigkeit, Teamgeist in einer Gruppe und Motivation in die Zusammenarbeit mit Anderen bei einer Kritikfähigkeit und Kritikkompetenz einzubringen und für gemeinsame Ziele zu nutzen. Die soziale Kompetenz setzt sich aus Konfliktfähigkeit und Kooperationsbereitschaft, diesen zwei eher gegensätzlich scheinenden Verhaltensweisen zusammen. Ältere Mitarbeiter gelten durch ihre Lebenserfahrung eher als sozial kompetente Menschen und kön-

<sup>50</sup> BMFSFJ, 2001

nen einen optimalen Kompromiss zwischen Selbstverwirklichung und sozialer Verträglichkeit innerhalb sozialer Beziehungen erreichen ohne diese zu gefährden. Dies wirkt sich positiv auf die Arbeitsleistung von Mitarbeitern aus.

Im Gegensatz zu den Hard Skills, der Fachkompetenz und der kognitiven Leistungsfähigkeit, die zuverlässig erfasst werden können, gilt für die Soft Skills wie der sozialen Kompetenz im engeren Sinne auch Neigungen, Interessen und andere Persönlichkeitsmerkmale wie Belastbarkeit, Frustrationstoleranz nicht die gleicher Verlässlichkeit für die Erhebung. Einen Überblick über die anwachsenden sozialen und emotionalen Kompetenzen gibt die nachfolgende Zusammenfassung der Leistungsentwicklung und kann aus Abschnitt 3.4.2.5 entnommen werden.

### **3.3.2.5 Zusammenfassungen der Leistungsfähigkeitsentwicklung**

Die Veränderungen der Leistungsentwicklung im Arbeitsgang (mit zunehmendem Mitarbeiteralter) zeigen zusammenfassend Unterschiede im Leistungsbereich im Verhältnis zu den Auswirkungen des Alterungsprozesses in Form von abnehmenden, gleich bleibenden und zunehmenden Fähigkeiten.

- Abnehmende Fähigkeiten:
  - Visuelle und auditive Wahrnehmung (Sehen und Hören)
  - Sinneswahrnehmungen (Tast- und Geruchssinn)
  - Rasche Anpassung an Hitze und Kälte
  - Fluide Intelligenz (schnelle Reaktion auf Veränderungen), Reaktionsfähigkeit
  - Nachlassendes Kurzzeitgedächtnis
  - Anpassung an unregelmäßige Arbeitszeiten (Nacht, Schichtarbeit)
  - Arbeiten unter Zeitdruck
  - Belastbarkeit
  - Physische (körperliche) Leistungsfähigkeit
  - (Schnelligkeit, Beweglichkeit, Ausdauer und Kraft)
  - physiologische Belastbarkeit u. Beweglichkeit des Stütz- und Bewegungsapparates
  - Vitalkapazitäten, Körperkräfte, Muskelkräfte
  - Leistungsreserven (Ausdauerfähigkeit), Dauerleistungsreserven

- Sensomotorische Fähigkeiten
- Beweglichkeit der Sehnen und Gelenke
- Keine wesentlichen Veränderungen:
  - Psychische Leistungsfähigkeit
  - Intelligenz, Begabung
  - Aufmerksamkeit, Konzentrationsfähigkeit
  - Assoziationsleistung
  - Kreativität
  - Systemdenken
  - Kommunikationsfähigkeit
  - Zielorientiertes planvolles Handeln
- Verbesserte Fähigkeiten:
  - Langzeitgedächtnis
  - Soziale Leistungsfähigkeit und soziale Kompetenz
  - Lebens- und Berufserfahrung, Betriebsspezifisches Wissen
  - Qualitätsbewusstsein, Genauigkeit und Zuverlässigkeit
  - Selbstbewusstsein, Überzeugungskraft, Besonnenheit, Gelassenheit
  - Verantwortungs- und Pflichtbewusstsein, Loyalität
  - Identifikation mit dem Unternehmen
  - Empathie, Urteilsfähigkeit, Problemlösungsfähigkeit
  - Strategisches selbständiges Handeln, ganzheitliches Verständnis von Situationen
  - Höhere planerische und kommunikative Fähigkeit, Kooperationsverhalten
  - Prozessorientierung, Überblick haben, Aufgabenerfüllung, Aus Fehlern lernen

Die Vorgänge des Alters und die damit zusammenhängenden körperlichen und kognitiven Leistungseinbußen verlaufen individuell sehr verschieden. Eine wesentliche

Beeinträchtigung stellt sich aber erst nach dem Erwerbsalter ein<sup>51</sup>. Die Folgen einer alternden Gesellschaft, die Veränderung des menschliche Leistungspotentials im Zeitverlauf und die wissenschaftlichen Erkenntnisse über das Altern führen zu einer ganzheitlichen Betrachtung der alter(n)sgerechten Arbeitsgestaltung, für deren Optimierung der Mensch in den Mittelpunkt „Human Centered Design“ für geeignete Lösungsansätze rückt.

### **3.4 Auswirkungen in Form von günstigen/ungünstigen Arbeitsaufgaben**

#### **3.4.1 Günstige/ungünstige Arbeitsaufgaben**

Bei einer Aufstellung von günstigen Eigenschaften bei Arbeitsaufgaben ist an vorderster Stelle die Voraussetzung sozialer Fähigkeiten und das Nutzen von betrieblichen Kenntnissen und informellen Arbeitsabläufen zu nennen. Durch die lange Zugehörigkeit im Erwerbsleben zählen das Vertraute und bekannte Arbeitsaufgaben zu den Kompetenzbereichen, wobei Autonomie hinsichtlich Arbeitspensum und Arbeitsrhythmus für den älteren Mitarbeiter zusätzlich unterstützende Wirkung haben. Zu den günstigen Arbeitsaufgaben zählen weiters komplexe Aufgaben zu deren Strukturierung Erfahrung notwendig ist.

Ungünstig wirken sich ergonomische und physikalische Faktoren bei permanenter körperlicher Belastung, sowie neuartige ungewohnte Arbeitsaufgaben auf die Leistungsfähigkeit aus. Auch arbeitsorganisatorische Abläufe, die kurzzyklische, sich wiederholende oder taktabhängige Tätigkeiten voraussetzen, sowie eine unflexible Arbeitsorganisation stellen ungünstige Voraussetzungen für die optimale Erfüllung von Arbeitsaufgaben dar. Negativ wirken sich ein von Maschinen oder Gruppenforderungen bestimmtes Arbeitstempo, lange Arbeitszeiten bei hohen physischen oder mentalen Anforderungen und inadäquate Pausenregelungen, sowie keine oder wenig Abwechslung hinsichtlich der körperlichen und geistigen Anforderungen auf die Flexibilität aus. Weiters stellen Arbeitszeitmodelle mit Schichtbetrieb (Spätschicht, Nachtschicht) an den alternden Organismus erhöhte Belastungen. Zu den ungünstigen Arbeitsaufgaben zählen auch jene, die eine Daueraufmerksamkeit erfordern, eine hohe Anforderungen an die Sinneswahrnehmungen oder eine ungewohnt hohe Anforderungen an die Feinmotorik stellen.

Eine Vielzahl von Untersuchungen zeigen, dass unter Umständen eine verstärkte Beanspruchung älterer Arbeitspersonen bei gleicher Arbeit gegenüber Jüngeren bei besonders belastenden Arbeitsbedingungen auftreten kann. Diese Einwirkung kann

---

<sup>51</sup> BMFSFJ, 2001

in Abhängigkeit der zeitlichen Dauer zu einer überproportional raschen Ermüdung sowie Fehlern führen.

### **3.4.2 Altersmanagement für alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung**

Im betrieblichen Umfeld geht es vorrangig um die Betrachtung von Leistungsanforderungen sowie die Erfüllung und die damit verbundenen Einflussfaktoren. Aus unternehmerischer Sicht mit Bezug auf die praktische Anwendung wird hier von einem Altersmanagement gesprochen.

In einem Altersmanagement für alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung muss in einem ersten Schritt eine innerbetriebliche Altersstrukturanalyse durchgeführt werden. Anschließend werden für Ältere besonders belastenden Arbeitssituationen identifiziert. Dazu gehören körperlich anstrengende Tätigkeiten, wie z.B. Zwangshaltungen, Heben und Tragen, monotone Arbeiten ohne Einflussmöglichkeiten sowie Arbeit unter Zeitdruck. Ebenso wie organisatorische Belastungen (Nacht- und Schichtarbeit) und Umgebungsbedingungen (Lärm, Hitze). Hierbei ist auch auf geschlechtsspezifische Unterschiede einzugehen und diese zu berücksichtigen. Unter alters- und altersgerechter Arbeitsplatzgestaltung wird einerseits eine ergonomische Gestaltung mit einer Anpassung an die individuellen Aktionsradien verstanden, andererseits auch die Unterstützung und Erleichterung physischer Arbeit durch den Einsatz technischer Hilfsmittel, respektive diverser Assistenzsysteme.

Die Umgebungseinflüsse wie akustische (Lärm), klimatische (Hitze und Kälte) und visuelle Bedingungen werden auf die Mitarbeiteranforderungen abgestimmt. Die Lichtverhältnisse werden durch verstärkte Arbeitsplatzbeleuchtung (ÖNORM B 1600 und 1601) geregelt.

In der Arbeitsorganisation kann mittels individueller Ressourcenzuteilung, altersgerechter Schichtpläne, effiziente Kurzpausen für Erholungsmöglichkeiten und generationsübergreifender Teambildung sehr wirkungsvoll eingegriffen werden.

Neben lebenslangem Lernen für die Kompetenzerweiterung und Weiterqualifizierung fördert der Informationsaustausch zwischen den Generationen das zwischenmenschliche Klima durch Anerkennung und Wertschätzung. Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung aber, beginnt bei der Bewusstseinsbildung durch die Führungskräfte. Der betriebliche und gesellschaftliche Nutzen ältere Arbeitnehmer und ihrer Qualitäten durch ihre Problemlösungskompetenz, ihre Teamfähigkeit, ihr Verantwortungsbewusstsein, sowie durch Erfahrungswissen können in Krisen zum Wettbewerbsvorteil werden.

### 3.4.3 Praxisbeispiele für Leistungsfähigkeitsstabilisierung/-steigerung

Ein wertschöpfungsorientiertes Produktionssystem ist ganzheitlich und umfassend zu gestalten. Beispiele alter(n)sgerechter Arbeitsgestaltung aus der Praxis zeigen von der notwendigen Bewusstseinsbildung, die durch den Einfluss der demographischen Entwicklung notwendig ist. Die betrieblichen Maßnahmen sind nach den Gesichtspunkten der unterschiedlichen Leistungsfähigkeiten unterteilt.

Es wurden Muskelfunktionsanalysen unter ergonomischen Aspekten durchgeführt um spezifische unterstützende Maßnahmen direkt am Arbeitsplatz vorzunehmen. Basierend auf den Ergebnissen erfolgte eine Anpassung der Arbeitsplätze durch höhenverstellbare Tische und Hebehilfen im Produktionsbereich, sowie umfangreiche Verbesserungen durch Podeste, Leitstandstühle, bessere Displays, Adaptierungen des Bodenbelages mit Ergonomiematten, Schwenkeinrichtungen, Deckenkräne, Niederhubwagen und selbst durch den Ankauf von Mini Bikes um betriebliche Gehwege zurückzulegen.

Die Arbeitsplätze wurden nach individuellen Anforderungen optimal ausgeleuchtet, Akustikmaßnahmen zur Lärmreduktion gesetzt und klimatischen Bedingungen adaptiert (z.B. Reduktion von Zugluft), um Ermüdungserscheinungen der Mitarbeiter vorzubeugen und gleichzeitig die Produktivität zu steigern. Der Einsatz von Hilfssystemen bei körperlichen Tätigkeiten, für den Wissens- und Informationstransfer als Entscheidungshilfe und Kontrollsystem führte zu einer Steigerung der Produktivität. In einem Fall ist durch die Anschaffung einer neuen Absaugungsanlage und eines zentralen Kühlschmierstoffaufbereitungssystems die Luftqualität in der Fertigung signifikant verbessert worden.

Physiotherapeuten beraten die Mitarbeiter direkt am Arbeitsplatz, stellt Ausgleichsübungen vor oder bieten abwechselnde Angebote wie Analyse des Bewegungsapparats, Powernapping (Minutenschlaf, Energieschlaf) und Massagen. Durch die Montage einer Sprossenwand mit Reckstange (mit professioneller Unterweisung und ausreichenden Abbildungen) wird eine Basis zur Mobilisierung und Kräftigung des Stützapparates gebildet. Die Mitarbeiter sind angehalten selbständig die Übungen in Eigenverantwortung durchzuführen. Die Stärkung des Gesundheitsbewusstseins innerhalb der Belegschaft wird durch Fachvorträge und Workshops über Ernährung, psychische Gesundheit, Stressbekämpfung und Life Balance, sowie durch Sport- und Bewegungsprogramme (z.B. Lauffreffen, Yoga) abgerundet. Hell und modern ausgestattete Pausenräume mit Relaxliegen zum Entspannen und Schaffung eines Aktivraums (z.B. Fitnessraum) verbessern das innerbetriebliche Wohlbefinden, sowie die mentale psychische Leistungsfähigkeit.

Aus Sicht der Arbeitsabläufe wurde durch die Einführung belastungsorientierter Rotationspläne bei Arbeitsaufgaben in der Montage (Job Rotation) einseitigen Belastungen entgegengewirkt. Änderungen in der Arbeitsorganisation (z.B. Reduktion von Überstunden) und durch einen systematischen Überblick über alterskritische Tätigkeiten, sowie Umfeldbedingungen, indem Arbeitsplätze als Einstiegs-, Umstiegs-, Verweil- oder Ausstiegsarbeitsplätze identifiziert werden, steigern die Leistungsfähigkeit im allen Bereichen. Das Einführen eines „Tandem-Prinzip“ führt zu einem lückenlosen, wertschätzenden Wissenstransfer und steigert die soziale Leistungsfähigkeit.

Die erweiterten Sozialleistungen, wie Maßnahmen zur Gesundheitsförderung (z.B. Nachtschicht-Suppe), Kompetenzerweiterung (z.B. Schulungen zur Schlafhygiene und Ergonomie am Arbeitsplatz) und gratis Impfaktionen (auch für die ganze Familie), seien in diesem Zusammenhang nur erwähnt.

Die innerbetriebliche Auseinandersetzung mit dem biologischem Alter der Mitarbeiter, der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung, gesundheitsgerechtes Arbeiten, sowie der Belastungsvariation am Arbeitsplatz, bilden die Kernthemenbereiche für Unternehmen, die sich in Zukunft ihre Leistungsfähigkeit erhalten wollen.

## **3.5 Gestaltung von alter(n)sgerechten Arbeitssystemen**

### **3.5.1 Ergonomische und benutzerorientierte Gestaltung**

#### **3.5.1.1 Ergonomische Gestaltung**

Die Arbeitswissenschaft (Ergonomics) stellt eine multidisziplinäre Wissenschaft dar, die in Hinblick auf die praktische Anwendbarkeit das Grundwissen aus den Bereichen der Humanwissenschaften, den Ingenieurwissenschaften und den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in zwei Bereiche zusammenfasst. Die Arbeits- und Organisationslehre (Macro Ergonomics) ist mehr sozialwissenschaftlich orientiert und beinhaltet die Regeln für die Gestaltung von Organisation, Betriebs- und Arbeitsgruppen. Den ingenieurmäßigen Teil bezeichnet die Ergonomie (Micro Ergonomics), deren Inhalt die Regeln für die technische Gestaltung von Arbeitsplätzen und Arbeitsmitteln ist. Beide Orientierungen haben den individuellen Menschen und sein Erleben der Situation am Arbeitsplatz im Blickpunkt.

Die klassische Ergonomie (Micro Ergonomics) beschäftigt sich mit der Reduktion der auf den arbeitenden Menschen einwirkenden Belastungen um eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit im gesamten Arbeitssystem zu erzielen. Dies wird durch eine Analyse der Aufgabenstellung, der Arbeitsumwelt und durch Analyse der Mensch Maschinen Interaktion erzielt. Bei der Bewertung von Arbeitssystemen hilft das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept, dessen Basis durch die Vorstellung gekennzeichnet ist, dass die äußeren Bedingungen für jeden Beschäftigten in Abhängigkeit

seiner individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten gleich ist. Belastungen werden hinsichtlich ihrer Größen, Faktoren und Zeiten unterschieden. Durch die Gestaltung der äußeren Bedingungen, die sachlichen Leistungsvoraussetzungen, wird eine Voraussetzung für einen optimalen Leistungseinsatz des Menschen geschaffen. Dies bietet die Verbindung zwischen den Bereichen der Mikro- und Makroergonomie. Äußere und interne Bedingungen, letztere werden durch die jeweiligen menschlichen Leistungsvoraussetzungen bestimmt, beeinflussen die individuelle Leistung des Beschäftigten.

Die Anwendungsbereiche und Praxisfelder in der Ergonomie erstrecken sich auf die Produkt- und die Produktionsergonomie (Arbeitsplätzen). In der Produktergonomie wird das Augenmerk auf die benutzergerechten Ausführungen der Gebrauchsgüter des Arbeitslebens (Arbeitsmitteln) und auf eine individuelle Informationstechnologie gelegt. Dabei gilt es die Variabilität des Menschen betreffend seiner anthropometrischen, sowie seiner kognitiven Eigenschaften (kognitive Ergonomie, Ingenieurpsychologie) für die Entwicklung und in der Gestaltung von Produkten zu berücksichtigen. In den Bereich der Produktionsergonomie fallen die Reduktion der Belastung und Optimierung der Leistungsabgaben, sowie die Berücksichtigung individueller Bedürfnisse der äußeren Verhältnisse und das richtige Verhalten der Mitarbeiter am Arbeitsplatz in Produktions- und Dienstleistungsbetrieben. Nachdem meist die Mitarbeiter eines spezifischen Arbeitssystems bekannt sind, stehen Aspekte der Zumutbarkeit und Erträglichkeit in Vordergrund und es kann individuell auf deren Bedürfnisse eingegangen werden. Durch eine prospektive ganzheitliche Betrachtungsweise wird das Augenmerk der alter(n)sgerechten Gestaltungsanforderungen bereits auf den Beginn des Entwicklungsprozesses gelegt. Eine nachträgliche Korrektur bei ergonomischen Problemen ist aufwendig und häufig mit begrenztem Erfolg verbunden. Hier gilt es einen User Centered Design Ansatz bei der Lösung der Aufgabe aufzugreifen. Eine genaue Trennung zwischen diesen beiden Anwendungsgebieten ist praktisch nicht möglich, da oftmals das Produkt des einen Herstellers ein Arbeitsmittel eines andern ist.

### **3.5.1.2 Benutzerorientierte Gestaltung**

Bei einer benutzerorientierten Gestaltung von Arbeitssystemen werden interaktive Produkte so gestaltet, dass eine möglichst hohe Gebrauchstauglichkeit (Usability) und ein großes Nutzungserlebnis (User Experience) gewährleistet wird. Dabei gilt es den Benutzer mit seinen Aufgaben, Zielen und Eigenschaften in den Mittelpunkt des ganzen Entwicklungsprozess eines Produktes oder Projektes einzubinden, um die Benutzeroberfläche und Interaktionen der fertigen Anwendung für eine optimale Unterstützung des Nutzers auszulegen. Die Prinzipien der nutzerorientierten Gestaltung, wie frühe Fokussierung auf Nutzer- und Aufgabenanforderungen, empirische Überprüfung der Entwürfe durch Nutzer, sowie iteratives Vorgehen führen neben

dem Prinzip einer partizipativen Gestaltung zu einer hohen Gebrauchstauglichkeit. Dieses Vorgehen wird als User Centered Design (UCD) bezeichnet und kennzeichnet einen iterativen Prozess, der sich wie auch in der DIN EN ISO 9241-210 beschrieben in vier Phasen gliedert.

- Analyse des Nutzungskontextes:

Dabei werden Informationen über die zukünftigen Benutzer gesammelt und in jeweiligen Profilen zusammengefasst. Während dessen werden die Aufgaben und Ziele der Nutzer, Arbeitsabläufe und die Arbeitsumgebung, mit den technischen Rahmenbedingungen, analysiert.

- Definition der Anforderungen:

Es werden auf Basis der Erkenntnisse der Kontextanalyse Anforderungen definiert, die es im Entwurfsprozess umzusetzen gilt.

- Konzeption und Entwurf:

Zunächst werden Konzepte für das zukünftige Produkt entwickelt, die bis zu einem vollständigen Entwurf weiterentwickelt werden. Das Ergebnis dieser Prozessphase können Designdokumente, Mockups (Attrappen) oder Prototypen entstehen.

- Evaluation:

Die Evaluationsphase dient der Sicherstellung der Nutzeranforderungen von den erstellten Konzepten und Entwürfen, indem diese Mockups und Prototypen mit den Benutzern besprochen und ausprobiert werden. Der Prozess sollte erneut durchlaufen werden, wenn in dieser Phase Schwierigkeiten bei der Benutzbarkeit auftreten.

Im Rahmen einer nutzerorientierten Gestaltung kommen unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Unter anderem liegt ein wesentlicher Bereich in den menschlichen Einflussgrößen (Human Factors). Der menschliche Faktor (Human Factors) steht hierbei als Gesamtbegriff für psychische, kognitive und soziale Einflussfaktoren in soziotechnischen oder Mensch Maschinen Arbeitssystemen. In der klassischen Arbeitswissenschaft und der Ergonomie geht es um physische und anthropometrische Eigenschaften. In Gegensatz dazu stehen bei den menschlichen Einflussgrößen die psychischen und kognitiven Leistungen und Fähigkeiten, sowie die Leistungs- und Fähigkeitsgrenzen des Menschen im Blickpunkt. Die menschlichen Fertigkeiten bekommen durch die stetige Weiterentwicklung technischer Systeme einen immer höheren Stellenwert. Im konkreten Untersuchungsfall müssen die Veränderungen der Fertigkeiten und Fähigkeiten der Mitarbeiter respektive der älteren Mitarbeiter berücksichtigt werden.

### 3.5.2 Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung

Im Zusammenhang mit den Herausforderungen der demografischen Entwicklung wird bei der Betrachtung von alter(n)sgerechter Arbeitsgestaltung<sup>52</sup> sowohl zwischen altersgerechten Maßnahmen zur Arbeitsgestaltung und alternsgerechter Arbeitsgestaltung unterschieden.

Von altersgerechte Arbeitsgestaltung wird gesprochen, wenn spezielle Maßnahmen für eine bestimmte Altersgruppe im Arbeitsumfeld und am Arbeitsplatz gesetzt werden. Der altersgerechter Terminus bezeichnet eine zustandsbezogene Betrachtung eines aktuellen Ist Zustandes und in diesem Zusammenhang spezielle Maßnahmen, die den älteren Mitarbeiter in der Tätigkeitsumsetzung unterstützen. Sie orientieren sich an den spezifischen Fähigkeiten und Bedürfnissen dieser Altersgruppe. Altersgerechte Gestaltung berücksichtigt die Veränderung der physischen und psychischen Leistungsfähigkeit der Älteren und passt sie dem geänderten Leistungsvermögen an. Dieser kompensatorische Ansatz gleicht Veränderungen im Alter, wie die Reduktion der Maximalmuskelkraft und des Sehvermögens aus. Altersgerechte Arbeitsplatzgestaltung konzentriert sich auf den Erhalt der Leistungsfähigkeit älterer Mitarbeiter. Eine Forderung nach altersgerechten Maßnahmen für alle älteren Beschäftigten würde diese zu einer Randgruppe werden lassen und lässt außer Acht, dass die Arbeits- und Leistungsfähigkeit von vielen Einflussfaktoren bestimmt wird, die sich mit zunehmendem Alter unterschiedlich entwickeln. Maßnahmen können gegebenenfalls entstandene Leistungseinschränkungen sinnvoll ausgleichen und somit die Arbeit für ältere Beschäftigte erleichtern.

Beispiele hierfür sind:

- Die Erhöhung des Kontrastes, größere Schrift und Symbole auf Ausgabekomponenten und Darstellungsgeräten.
- Die Einführung von lauterem Signalen und akustischen Vorseignalen, um eine Signal Geräusch Relation am Arbeitsplatz zu erhöhen. Diese Maßnahmen sind altersunabhängig und kommen auch Jüngeren mit entsprechenden Leistungseinschränkungen zugute.

Während altersgerechte Maßnahmen den älteren Mitarbeiter unterstützen sollen, bezieht sich alternsgerechte Arbeitsgestaltung auf einen Zeitfaktor. Es gilt die Arbeitsfähigkeit, sowie die physische und psychische Leistungsfähigkeit von Erwerbspersonen über die gesamte Zeitspanne der Erwerbstätigkeit zu fördern und zu erhalten. Alternsgerechte Maßnahmen implizieren eine prozessorientierte Betrachtung und haben den Prozess des Älterwerdens im Blick. Sie beziehen alle Altersgruppen mit ein und somit kommt es zu keinen Leistungseinbrüchen bei den Beschäftigten.

---

<sup>52</sup> Feldes W. et al., 2013

Dieser präventive Ansatz setzt bereits bei jungen Mitarbeitern an, um die Arbeits- und Leistungsfähigkeit frühzeitig zu fördern und langfristig bis ins Alter zu erhalten und garantiert so die Produktivität und Effizienz Älterer.

Da der alternsgerechte Begriff eine in die Zukunft gerichtete Prozessdimension mit beinhaltet, steht er auch für ein nachhaltiges Arbeiten. Davon ausgehend gilt ganz allgemein die Handlungsoption im Erwerbsleben nur bis zu einem Anforderungs- und Belastungslevel zu gehen, das in jedem Erwerbsalter auf längere Zeit schadlos erfüllt werden kann.

Beispiele hierfür sind:

- eine alternsgerechte Laufbahngestaltung, Personalentwicklung und Qualifizierung bezüglich Beschäftigter aller Altersgruppen.
- eine betriebliche präventive Gesundheitsförderung.
- eine Arbeitszeitgestaltung, die lebenssituationsspezifisch Beruf und private Interessen miteinander zu verbinden ermöglicht.

Um die Arbeitsfähigkeit der Mitarbeiter längerfristig halten zu können benötigen Unternehmen immer beide Ansätze, jenen der alters- und jenen der alternsgerechten Arbeitsgestaltung.

### 3.5.2.1 Arbeits(system)gestaltung

Unter der Arbeitsgestaltung (Systemgestaltung<sup>53</sup>) versteht man das Schaffen der Bedingungen für ein optimales Zusammenspiel von Mensch, Technik, Information und Organisation im Arbeitssystem unter Betrachtung aller relevanten Systemeinflüsse<sup>54</sup> um Belastungen abzubauen und Leistungen positiv zu beeinflussen. Der Begriff der Arbeit müssen dabei in zwei Ansichten unterschieden werden. Einerseits gilt diese im ursprünglichen subjektbezogenen Sinne als Anstrengung und andererseits im objektbezogenen Sinne als Ergebnis der Produktion von Gütern und Dienstleistungen. Die Maßnahmen zur Anpassung der Arbeit beziehen sich auf ergonomische Beurteilung und Gestaltung ebenso wie auf die inhaltlichen Aspekte der Tätigkeit. Arbeitsgestaltung stellt den Oberbegriff für alle organisatorischen und technischen strukturierten Gestaltungen des Systems unter mitarbeiter- und unternehmensrelevanter Berücksichtigung der Eigenschaften, Bedürfnisse und Wirtschaftlichkeit<sup>55</sup> dar.

Beim Thema alter(n)sgerecht im betrieblichen Umfeld verbinden Unternehmen deren Leistungsfähigkeit und die der älteren Mitarbeiter. Die Leistungsfähigkeit älterer Mit-

---

<sup>53</sup> REFA, 1984

<sup>54</sup> Grap R., 1992

<sup>55</sup> REFA, 1991

arbeiter unterliegt einem alterstypischen Wandel wo körperliche Fähigkeiten abnehmen, aber selten zu einem Leistungseinbruch führen, da die Belastungen durch technologische Veränderungen wesentlich reduziert sind. Auch werden alterstypische Einbußen durch soziale Kompetenzen kompensiert.

Bei der Beschäftigung mit dem Alter(n) an sich, geht es aber vor allem um die Betrachtung der Leistungsanforderungen an die Beschäftigte, sowie die Leistungserfüllung unter Berücksichtigung verbundener Einflussgrößen durch diese. Das personenorientierte Ziel einer alter(n)sgerechten Arbeitsgestaltung ist die Gesundheit und Produktivität der älteren Mitarbeiter optimal zu erhalten, um deren Erwerbsprozess möglichst lange gestalten zu können. Wie aus gerontologischer Forschung bekannt ist, sind physische und kognitive Potentiale in ausreichendem Maß vorhanden und somit liegt es an den Betrieben die Arbeitsbedingungen an die veränderte Leistungsfähigkeit älterer Mitarbeiter anzupassen. Es muss Ziel sein, durch flexible Gestaltung der Arbeitsanforderung an das jeweilige Leistungsvermögen nicht nur Älterer, die Beschäftigung bis zur gesetzlichen Altersgrenze zu unterstützen. Durch die sich über den gesamten Prozess des Erwerbsverlaufs wieder herstellende Leistungsfähigkeit, können durch alter(n)sgerechte präventive Gestaltung Anforderungen und Belastungen flexibel angepasst werden.

Die Handlungsbereiche einer alternsgerechten Arbeitsorganisation umfassen neben der Adaptierung von Arbeitsplätzen, die Arbeitsprozesse und Arbeitsinhalte an die individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse verschiedener Lebensphasen anzupassen. Wesentliche Voraussetzungen für den Erhalt der Arbeitsfähigkeit und die Effizienz der Mitarbeiter sind arbeitsorganisatorische Abläufe, die den Einfluss des Alters berücksichtigen (vgl. Tabelle 9). Dieses schlägt sich positiv auf die Reduktion der Fehlzeiten, einer steigenden Motivation und dem Erhalt und Ausbau von wichtigem Erfahrungswissen nieder.

Was macht Arbeit gesundheits- und lernförderlich	Empfehlung für die alternsgerechte Arbeitsgestaltung
<p><i>Vielseitigkeit der Arbeit:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verschiedene Kenntnisse, Fertigkeiten und Fähigkeiten nützen können</li> <li>▪ Durch die Arbeit Neues lernen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tätigkeitswechsel mit unterschiedlichen körperlichen und geistigen Anforderungen</li> <li>▪ Erhaltung der intellektuellen Flexibilität</li> </ul>
<p><i>Ganzheitlichkeit der Arbeitsaufgabe:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Den Anteil der geleisteten Arbeit an Gesamtprodukt erkennen können</li> <li>▪ Die Qualität des Arbeitsergebnis-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduzierung des mit dem Alter zunehmenden Stresserlebens</li> <li>▪ Einsatz von Erfahrung beim Organi-</li> </ul>

ses beurteilen können	sieren von Aufgaben und beim Umgang mit komplexen ganzheitlichen Sachverhalten
<p><i>Handlungsspielraum bei der Ausführung der Handlungsaufgabe:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eigene Entscheidungen in Bezug auf Arbeitsverfahren, Verwendung von Arbeitsmitteln und die zeitliche Organisation der Arbeit treffen können</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Freie Zeiteinteilung begünstigt eine gleichmäßige Belastung, hohe Leistungserbringung, Arbeitsmotivation</li> <li>▪ Steigerung der Belastbarkeit, Zufriedenheit und des Selbstwerts</li> <li>▪ Förderung der Identifikation mit der Arbeit, der Organisation und dem Unternehmen</li> </ul>
<p><i>Günstige Regulationsbedingungen während der Arbeitsausführung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eine Arbeitstätigkeit reibungslos, ohne Zeitdruck und Unterbrechungen ausführen können</li> <li>▪ Zur Erledigung der Arbeitsaufgabe sind die benötigte Technik und Informationen vorhanden</li> <li>▪ Andere Personen müssen die Ausführung ihrer Arbeitstätigkeit nicht unterbrechen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Flexibleres und anforderungsgerechteres Arbeiten</li> <li>▪ Schnellere Wirksamkeit betrieblicher Planungen</li> <li>▪ Reduzierung unnötiger Wartezeiten</li> <li>▪ Höhere Qualität der Arbeitsergebnisse</li> </ul>
<p><i>Aufmerksamkeit für die Durchführung der Arbeitsaufgabe:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die für die Aufgabenerledigung notwendigen Informationen herausfiltern können</li> <li>▪ Einen Prozess dauerhaft aufmerksam beobachten können</li> <li>▪ Notwendige Handlungen vorhersehen können</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verringerung von Fehlern und Fehlhandlungen</li> <li>▪ Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit</li> <li>▪ Geringe Ermüdung</li> <li>▪ Erhöhte Leistungsbereitschaft (spontanes Reagieren auf unerwartete Ereignisse möglich)</li> </ul>
<p><i>Wissen und Lernen für und durch die Arbeitsaufgabe:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vorhandenes Wissen für die Arbeitsaufgabe anwenden und Neues dazulernen können</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lernmöglichkeiten reduzieren Stress, stärken die Fähigkeit zur Bewältigung sich wandelnder Ar-</li> </ul>

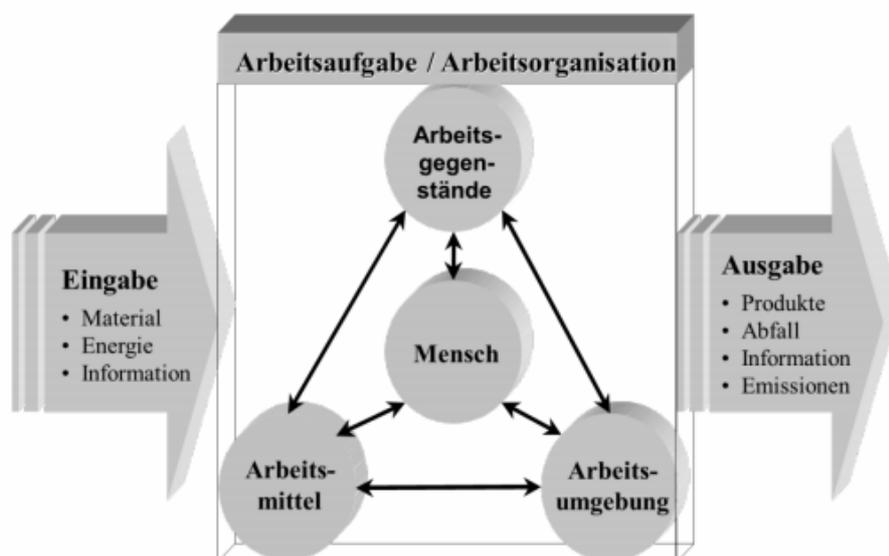
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Tätigkeit dauerhaft anforderungsgerecht erfüllen können</li> <li>▪ Angebote zur Weiterbildung nutzen können</li> </ul>	<p>beitsanforderungen und fördern die intellektuelle Fähigkeit zum Weiterlernen</p>
<p><i>Informationen und Mitsprache:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Über die erforderlichen Informationen zur Auftragsausführung verfügen zu können</li> <li>▪ Geschäftsleitung und Vorgesetzte informieren können</li> <li>▪ Ideen und Vorschläge der Arbeiter werden bei der Gestaltung von Arbeitsablauf und Arbeitsorganisation berücksichtigt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erfahrungs- und Expertenwissen älterer Arbeitnehmer können bei einem hohen Beteiligungsgrad Älterer im Unternehmen intensiv genutzt werden</li> <li>▪ Verbesserung der Qualität von Entscheidungen</li> <li>▪ schnelleres Wirksamwerden von betrieblichen Planungen</li> <li>▪ Erhöhung der Motivation und des Vertrauens von Mitarbeitern</li> </ul>
<p><i>Zusammenarbeit mit anderen Kollegen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mit anderen Beschäftigten im Unternehmen rechtzeitig kommunizieren und ausreichend kooperieren können</li> <li>▪ Kommunikationsmöglichkeiten über dienstliche und private Dinge nutzen können</li> <li>▪ Eine angemessene, zeitnahe und detaillierte Rückmeldung über die Güte der Arbeit erhalten können</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ältere Arbeitnehmer entwickeln für Teams hilfreiche Kompetenzen (Toleranz, Empathie, Verständnis, Beratung)</li> <li>▪ Rechtzeitige Korrektur der Fehler</li> <li>▪ Stolz über eigene Leistungen</li> <li>▪ Zunahme des Selbstwertgefühls</li> <li>▪ Verbesserung des Betriebsklimas</li> </ul>
<p><i>Soziale Unterstützung durch Mitarbeiter und Vorgesetzte:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sich bei Schwierigkeiten auf Kollegen und Vorgesetzte verlassen und um Rat fragen können</li> <li>▪ Verhalten untereinander, das nicht ausgrenzt und ein „wir“ Gefühl entwickeln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Soziale Unterstützung hilft bei der Bewältigung anderer Belastungen am Arbeitsplatz</li> <li>▪ Erhaltung der Leistungsfähigkeit und der Motivation</li> <li>▪ Verringerung von Gereiztheit, arbeitsbezogener Angst und Burnout Risiko</li> <li>▪ Verringerung von Fluktuation</li> </ul>
<p><i>Arbeitszeitsouveränität:</i></p>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eine Arbeitsorganisation, die individuelle Wahlmöglichkeiten bez. Arbeitszeitgestaltung bietet</li> <li>▪ Den Bedarf an individuellen Erholzeiten (Lage, Dauer und Häufigkeit) beeinflussen können</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mit zunehmendem Alter steigt der Bedarf an kürzeren Arbeitszeiten und Erholzeiten</li> <li>▪ Das physische und psychische Leistungspotential bleibt bei entsprechender Zeitautonomie und Gestaltungsspielräume erhalten</li> <li>▪ Altersflexible Arbeitszeitwünsche (Reduzierung der Arbeit, flexible Ausstiegsmöglichkeiten) erhöhen die Arbeitszufriedenheit</li> </ul>
--	---

**Tabelle 9: Gestaltungstipps „Altersgerechtes Arbeiten“, (Quelle: ÖGB und AK)**

### 3.5.2.2 Arbeitssystem, Arbeitsstrukturierung und Arbeitsorganisation

Arbeitssysteme (Abb. 25) sind soziotechnische Handlungssysteme, die aus einer technischen und einer sozialen zusammenhängenden Teilkomponente bestehen. Jedes Arbeitssystem lässt sich nach REFA<sup>56</sup> mit sieben Systemelementen beschreiben, deren spezielle Aufmerksamkeit wie im gegenständlichen Untersuchungsfall der alter(n)sgerechten Gestaltung der Schnittstellenproblematik gilt.



**Abb. 25: Arbeitssystem (Quelle: BAuA, TRBS 1151, 2015)<sup>57</sup>**

- Arbeitsaufgabe (Zweck des Systems)
- Arbeitsablauf (Tätigkeiten zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe, Arbeitsausführung)

<sup>56</sup> REFA, 2002

<sup>57</sup> BAuA, 2015

- Eingabe (Material, Informationen, Energie)
- Ausgabe (Produkt, Abfall, Informationen, Emissionen)
- Mensch (aktiver Element)
- Betriebs- und Arbeitsmittel
- Umgebungseinflüsse (physikalisch, chemisch, biologisch, sozial)

Die Arbeitsstrukturierung behandelt Erweiterungen (Jobenlargement) und Reduktionen (Jobenrichment) von Handlungen, sowie Tätigkeiten im Einzel- oder Gruppenarbeitsprinzip. Durch eine gezielt gesteuerte Zusammensetzung unterschiedlicher Altersgruppen, wodurch optimal auf das Potential älterer Mitarbeiter zugegriffen werden kann, können altersgerechte Teams entstehen. Diese Arbeitsorganisation fördert körperliche und mentale Leistungsparameter, die sich positiv auf das Unternehmen auswirken. Durch die Sozialkompetenz im Alter und das Weitergeben von Erfahrungswissen an jüngere Mitarbeiter kommt es zu einer Vorbildwirkung und Stabilisierung im Team. Da Merkfähigkeit in Sinnzusammenhängen und Wissen bei Älteren erhalten bleibt, kommt es zur besseren Handhabung von komplexen organisatorischen Situationen und weit reichenden Handlungen. Auch im fortgeschrittenen Alter kommen Mitarbeiter durch systematischen Tätigkeitswechsel mit neuen Anforderungen besser zurecht.

*„Produktivität ist nicht vom Alter abhängig, sondern von der Organisation der Tätigkeit.“ (Ilmarinen)*

Während in der Fachliteratur das Alter betreffend sehr ganzheitlich über Arbeitsorganisationsthemen und Kompetenzbereichen der sozialen Entwicklung geschrieben wird, dient die Ausarbeitung der näheren Betrachtung und Beurteilung der Tätigkeiten basierend auf angeborener Fähigkeiten und angelernter Fertigkeiten der Beschäftigten, sowie einer Berücksichtigung der Systemanforderungen, den Bedingungen im Arbeitssystem und in weiterer Folge der Assistenzsysteme in der Produktion und Montage. Für die Systembetrachtung und Beurteilung, sowie Festlegung eines Handlungsbedarfs bei ergonomischer Arbeitsgestaltung ist das Arbeitssystem näher zu unterteilen. Faktoren der Arbeitsumgebung werden als Gestaltungsparameter im Sinne einer umfassenden über die Ergonomie hinausgehende Arbeitsgestaltung, sowie Gestaltung der Arbeitsaufgabe und Arbeitsorganisation berücksichtigt. Eine Übersicht der beeinflussenden Faktoren, Gestaltungsbereiche und Beurteilungsgrößen der ergonomischen Arbeitsgestaltung zeigt die nachstehende Zusammenstellung (Tabelle 10).

Beeinflussende Faktoren		
Arbeitsperson	Arbeitsaufgabe	Arbeitsorganisation
<p><i>Konstitutionsmerkmale</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geschlecht</li> <li>▪ ethnische Gruppe</li> <li>▪ Anthropometrie</li> <li>▪ Biomechanik</li> </ul> <p><i>Dispositionsmerkmale</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alter</li> <li>▪ menschliche Rhythmik</li> <li>▪ Gesundheitszustand</li> <li>▪ Intelligenz</li> </ul> <p><i>Qualifikationsmerkmale</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ physiologische Fähigkeiten</li> <li>▪ sensumotorische Fähigkeiten</li> <li>▪ Bildung</li> </ul> <p><i>Anpassungsmerkmale</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Motivation</li> <li>▪ Ermüdung</li> <li>▪ Schädigungen</li> </ul>	<p><i>Aufgabentypen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Führungsaufgaben</li> <li>▪ Fachaufgaben</li> <li>▪ Unterstützungsaufgaben</li> </ul> <p><i>Elementaraufgaben</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Basisaufgaben</li> <li>▪ Entscheidungsaufgaben</li> <li>▪ Kontrollaufgaben</li> </ul> <p><i>Art der Arbeit</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ mechanisch</li> <li>▪ motorisch</li> <li>▪ reaktiv</li> <li>▪ kombinativ</li> <li>▪ kreativ</li> </ul>	<p><i>Arbeitszeit</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Flexibilität</li> <li>▪ Pausenregelung</li> <li>▪ Schichtarbeit</li> </ul> <p><i>Arbeitsstruktur</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Managementstrategie</li> <li>▪ Ablauforganisation</li> <li>▪ Aufbauorganisation</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><i>Arbeitsumfeld</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unternehmenskultur</li> <li>▪ Entlohnungsform</li> <li>▪ Sozialsystem</li> <li>▪ Wettbewerbssituation</li> <li>▪ Arbeitsmarkt</li> </ul> </div>

Gestaltungsbereiche		
Arbeitsplatz	Arbeitsmittel	Arbeitsumgebung
<p><i>Arbeitsablauf</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arbeitsfolge</li> </ul> <p><i>Arbeitsplatzmaße</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Höhe/Breite/Tiefe</li> </ul> <p><i>Bewegungsraum</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Freiraum</li> </ul> <p><i>Wirkraum</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Greifraum</li> <li>▪ Fuß-/Beinraum</li> </ul> <p><i>Sichtgeometrie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sehabstand/-winkel</li> <li>▪ Sehfeld</li> </ul> <p><i>Wirkkräfte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betätigungskräfte</li> <li>▪ Betätigungsmomente</li> </ul> <p><i>Arbeitsmittelanordnung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zugriffsbedingungen</li> <li>▪ Anordnung im Blickfeld</li> </ul>	<p><i>Stellteilgestaltung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stellprinzip</li> <li>▪ Form/Abmessung</li> <li>▪ Material/Oberfläche</li> <li>▪ Kompatibilität</li> </ul> <p><i>Betätigungscharakteristik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kräfte, Momente</li> <li>▪ Wege, Winkel</li> <li>▪ Kraft-Weg/Moment-Winkel Verläufe</li> </ul> <p><i>Anzeigengestaltung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anzeigenprinzip</li> <li>▪ Form/Abmessungen</li> <li>▪ Zeichengestalt</li> </ul> <p><i>Informationsgestaltung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kognitive Struktur</li> <li>▪ semantische Struktur</li> <li>▪ Dialogstruktur</li> <li>▪ Datenein-/ausgabe</li> </ul> <p><i>Formalästhetik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Farbe</li> </ul>	<p><i>Raumlayout</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arbeitsplatzanordnung</li> <li>▪ Raum-/Flächenzuordnung</li> </ul> <p><i>Beleuchtung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tageslichteinfluss</li> <li>▪ künstliche Beleuchtung</li> </ul> <p><i>Farbe</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Farbkonzept</li> </ul> <p><i>Akustik</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schalldämmung</li> <li>▪ Schalldämpfung</li> </ul> <p><i>Mechanische Schwingungen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dämmung</li> <li>▪ Dämpfung</li> </ul> <p><i>Klima</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wärmeemission</li> <li>▪ Klimatisierung</li> </ul> <p><i>Raumluftstoffe</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reinigung</li> <li>▪ Dosierung</li> </ul>

	▪ Anmutung	
Beurteilungsgrößen		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zeitbedarf für Aufgaben</li> <li>▪ Arbeitshaltung</li> <li>▪ Gelenkwinkel</li> <li>▪ Wirbelsäulenbelastung</li> <li>▪ Erreichbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Handlungspräzision</li> <li>▪ Hand- /Armbelastung</li> <li>▪ Wahrnehmungsgeschwindigkeit</li> <li>▪ Fehlerrate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arbeitssicherheit</li> <li>▪ Ermüdung</li> <li>▪ Gesundheitsgefährdung</li> <li>▪ Leistungsbereitschaft</li> <li>▪ Arbeitsmotivation</li> </ul>

**Tabelle 10: Beeinflussende Faktoren, Gestaltungsbereiche und Beurteilungsgrößen der ergonomischen Arbeitsgestaltung<sup>58</sup>**

### 3.5.3 Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung in Arbeitssystemen

#### 3.5.3.1 Alterskritische Arbeitsanforderungen

Die Einflussfaktoren in einem soziotechnischen Arbeitssystem, die alterskritische Arbeitsanforderungen hervorrufen, treten meist durch ein Zusammenspiel von Belastungen im Arbeitsablauf, den Betriebs- und Arbeitsmittel, sowie physische und soziale Umgebungseinflüsse auf. Damit es zu keine Verringerung der Produktivität oder Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter kommt, müssen die Auswirkungen der Erschwerisse auf das Ergebnis der Arbeitsaufgabe alterskritisch hinterfragt werden.

In den meisten altersrelevanten Literaturabhandlungen wird auf die Nachstehenden wesentlichen alterskritischen Arbeitsanforderungen Bezug genommen<sup>59</sup>:

- Körperlich anstrengende Arbeiten (Heben und Tragen von Lasten, Zwangshaltungen, einseitig belastende Tätigkeiten, kurzzyklische Tätigkeiten)
- Arbeitsumgebungsbelastungen (Hitze, Lärm, schlechte Beleuchtungsverhältnisse)
- Hohe bzw. starre Leistungsvorgaben (taktgebundene Arbeit, Zeitdruck)
- Schicht- und Nachtarbeit (Arbeitsrhythmus gegen die „innere Uhr“, soziale Beeinträchtigungen)
- Hohe psychische Belastungen (Daueraufmerksamkeit, Stress)

Treten diese Merkmale über eine längere Zeitspanne wiederkehrend auf und werden deren Risikofaktoren nicht verändert, gilt aus gesundheits- und arbeitswissenschaftlicher Betrachtung eine begrenzte Tätigkeitsdauer für die Erfüllung der Arbeitsaufgabe.

<sup>58</sup> Bauer W., 2013

<sup>59</sup> Morschhäuser M., 1999

### 3.5.3.2 Psychoorganische Veränderungen für einen alter(n)sgerechten Arbeitsplatz

Die altersbedingten psychoorganischen Veränderungen werden, wie schon in Abschnitt 3.3 dargestellt, in die Veränderung der Sensorik und in die physischen, sowie psychischen Veränderungen<sup>60</sup> gegliedert. Für Maßnahmen einer Gestaltung eines altersstabilen alter(n)sgerechten Arbeitsplatzes ist bei diesen jeweiligen Punkten bestmöglich entgegenzuwirken.

Eine Zusammenfassung zeigen nachstehend die:

- Veränderung der Sensorik:
  - Vermindertes Sehvermögen (z.B. Altersweitsichtigkeit)
  - Abnehmende Hörfähigkeit
  - Einschränkung im Fühlen/Tasten
  - Verringerung bei Riechen/Schmecken
- Körperliche Veränderungen:
  - Abnehmende Beweglichkeit von Gelenken
  - Verringerte Dehnbarkeit von Bänder, Sehnen, Muskeln
  - Abnehmende Muskelstärke und Muskelkraft
  - Abnehmende Fingerfertigkeit/Feinmotorik
  - Verlangsamung von Bewegungen und motorischen Reaktionen
  - Erschwertes Balancehalten/unsicherer Gang
  - Abnehmende Anpassung der Arterien
  - zunehmender systolischer und diastolischer Blutdruck
  - Einschränkung des Herzschlagvolumens
- Mentale Veränderungen:
  - Abnehmende Informationsaufnahme und -verarbeitung
  - Geringe Daueraufmerksamkeit

---

<sup>60</sup> Feldes W. et al., 2013

- Nachlassendes Reaktionsvermögen bei komplexen Bewegungsabläufen unter Zeitdruck
- Erhöhte Störempfindlichkeit bei Reizüberflutung, Ablenkung und Irritationen
- Herabgesetzte Merkfähigkeit des Kurzzeitgedächtnisses
- Längere Lernzeiten
- Erschwertes Lernen bei neuen Lerninhalten

### 3.5.3.3 Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung mit erhöhten Belastungen

Eine alters- und altersgerechte Arbeitsgestaltung gewinnt an Bedeutung, wenn die Auswirkungen von dauerhaften physischen und psychischen Fehlbelastungen näher betrachtet werden. Diese zeigen sich meist erst im fortgeschrittenen Erwerbsalter und sind dann, wenn überhaupt schwer behebbar. Ein Arbeitssystem sollte präventiv so gestaltet werden, dass Beschäftigte motiviert, qualifiziert und gesund altern können. Diesbezüglich gilt es situationsbedingt die Arbeitsanforderungen und Tätigkeiten mit erhöhten Belastungen für eine alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung im Vorfeld zu ermitteln, um zu erkennen unter welchem besonderen Gefährdungspotential durch physikalische Einwirkungen, psychische Anforderungen und arbeitszeitliche Belastungen für ältere Beschäftigte Veränderungen im Arbeitsprozess auftreten können<sup>61</sup>.

- Tätigkeiten mit Gefährdung durch physikalische Einwirkungen:

Als Tätigkeiten mit Gefährdung durch physikalische Einwirkungen werden jene mit hohen physischen Belastungen und Arbeitsschwere, die Handhabung von schweren Lasten, aber auch jene, die Vibrations- und Schwingungsbelastungen in den Extremitäten hervorrufen, verstanden. Weiters gehören hierzu wiederholende gleichförmige Bewegungen, das Arbeiten vorwiegend im Sitzen, Stehen oder Gehen, aber auch in ungünstigen Arbeitspositionen wie im Hocken, Knien oder Liegen neben Zwangshaltungen und dem Arbeiten mit belastenden Körperhaltungen (gebeugter oder verdrehter Rücken und über Kopf) angerechnet. Auch fallen Tätigkeiten bei unzureichender Beleuchtung in diese gleiche Gruppe der Tätigkeiten mit Gefährdung durch physikalische Einwirkungen.

- Tätigkeiten mit übermäßigen psychischen Belastungen:

Zu den Tätigkeiten mit übermäßigen psychischen Belastungen zählen diejenigen, die unter Zeit- und Termindruck durchgeführt, sowie durch Überforderung bei Daueraufmerksamkeit hervorgerufen werden. Defizite im Bereich Wissen

---

<sup>61</sup> Feldes W. et al., 2013

und Lernen, bei Information und Mitsprache, in der Zusammenarbeit, sowie durch Reduktion einer nötigen sozialen Unterstützung im Unternehmen erzeugen Druck auf die älteren Beschäftigten. Eine unzureichende Vielseitigkeit, keine Ganzheitlichkeit und eingeschränkte Handhabungsspielräume in der Arbeitstätigkeit führen neben den Regulationsbehinderungen zu weiteren negativen psychischen Aspekten. Unter Regulationsbehinderung werden widersprüchliche Ziele und Aufträge, Widerspruch zwischen Zielen und vorhandenen Spielräumen, aber auch fehlende Kompetenzen und zu wenig verfügbare personelle Kapazitäten verstanden.

- Tätigkeiten mit Belastungen aus der Arbeitszeit:

Unter Tätigkeiten mit Belastungen die Arbeitszeit betreffend gelten Arbeiten außerhalb normaler Arbeitszeiten (z.B. Wochenendarbeit, Dauernachtschicht), Schichtarbeit, Nachtarbeit, ausufernde und entgrenzte Arbeitszeiten, sowie Überstunden und ständige Verfügbarkeit durch externe Zugänge ins Firmennetz und Mobiltelefone. Bei den Möglichkeiten der Arbeitszeitgestaltung liegt durch die unterschiedlichsten betriebsinternen individuellen Arbeitszeitmodelle ein großes Potential an alter(n)sgerechten Arbeitsgestaltungsmaßnahmen.



**Abb. 26: Gestaltungsmöglichkeiten bei der Arbeitszeit (Quelle: BMAS, 2013)<sup>62</sup>**

Für die Arbeitszeitgestaltung (Abb.26) der Mitarbeiter erscheinen differenzierte Arbeitszeitangebote oder Gestaltungsmöglichkeiten besser geeignet, als einheitliche Arbeitszeitsonderregelungen nur die älteren Beschäftigten betreffend. Damit gelingt es diese langfristiger an das Unternehmen zu binden, somit das Rentenzugangsalter zu erhöhen und deren Potentiale besser zu erschließen. Dieser altersgerechte Zugang zur Arbeitszeit nützt Mitarbeitern aller Altersklassen, setzt aber die zuverlässige personelle Abdeckung des Kapazitätsbe-

<sup>62</sup> BMAS, 2013

darfs im Unternehmen voraus. Auch hängen sinnvolle Gestaltungsspielräume von regionalen, branchenbedingten und betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten, sowie von der Zusammensetzung und der Altersstruktur der Belegschaft ab. Die Umsetzung kann so gesehen nicht für alle Unternehmen einheitlich erfolgen.

#### **3.5.3.4 Flexible Organisation bei alter(n)sgerechter Arbeitsplatzveränderung**

Einen wesentlichen Teil einer alter(n)sgerechten Arbeitsplatzveränderung in Unternehmen nimmt die Anpassung der Organisation der Arbeit und der Gestaltung der Arbeitsplätze an die Bedürfnisse der älteren Beschäftigten ein. Aus betrieblicher Sicht gilt es die abnehmende körperliche Leistungsfähigkeit der älteren Mitarbeiter, wie beim Sehvermögen und der Muskelkraft zu kompensieren, aber auch gilt es das Potential aus deren Erfahrungswissen stärker zu nutzen.

Mit ansteigendem Mitarbeiteralter erhöht sich der Druck, der durch Mängel und durch eine fehlende Flexibilität in der Arbeitsorganisation entstehen kann. Um im Unternehmen ein Generationengleichgewicht der Mitarbeiter zu halten, sind die Belastungen älterer Beschäftigter durch eine flexiblere Arbeitsorganisation möglichst abwechslungsreich zu gestalten. Geeignete Maßnahmen liegen ebenso in einer ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes, in regelmäßigen Belastungswechseln bei neuen Tätigkeiten mit weniger alterskritischen Belastungen, in der Erweiterung von Handlungsspielräumen, eine weniger beanspruchende Arbeitszeitgestaltung bei mehr altersgemischten Teams oder eine Laufbahngestaltung, die ältere Beschäftigte motivierend beeinflusst. Wichtig sind dabei nicht einzelne Detaillösungen, sondern ein präventives Gesamtkonzept. Aus diesem können die Maßnahmen der Arbeitsgestaltung und jene zur Lern- und Gesundheitsförderung abgeleitet werden.

Eine Flexibilität in der Organisation ist insbesondere bei Tätigkeiten, die als nicht geeignete alterskritische Tätigkeiten gelten, geboten. Dazu zählen Handlungen:

- unter extremen Umwelteinflüssen (Hitze, Kälte, Lärm, Temperaturwechsel).
- mit häufiger Temperaturwechsel (z.B. bei Arbeiten im Kühlbereich bzw. in Hitzezonen).
- die ein Arbeiten in Zwangshaltung (z.B. ständiges Bücken) erfordern.
- die ein differenziertes Hör- und Sehvermögen erfordern.
- mit fremdbestimmten Vorgaben eines Arbeitstempos bei taktgebundenem Arbeiten.
- unter Zeitdruck oder belastende Arbeitszeitgestaltung (Schichtarbeit mit wechselndem Dienstbeginn, Nachtarbeit).

- die keine ausreichenden Erholungsphasen ermöglichen.
- mit kurzzyklischen gleichförmigen Arbeitsinhalten.
- mit monotonen Arbeitsinhalten am Arbeitsplatz.
- am Arbeitsplatz bei dem der Überblick über den gesamten Produktions- oder Dienstleistungskreislauf fehlt.
- unter extremen Umwelteinflüssen (Hitze, Kälte, Lärm, Staub, Emissionen).
- mit häufiger Temperaturwechsel.
- und Arbeiten mit die Gesundheit beeinträchtigenden Arbeitsstoffen.
- mit starre quantitative Leistungsnormen ohne Berücksichtigung qualitativer Aspekte.
- mit allgemeinen organisatorischen Mängeln wie unklare Arbeitsvorgaben, fehlende Einschulung, unzureichende Arbeitsmittel etc.
- mit isoliertem Arbeiten ohne regelmäßigen sozialen Kontakt in der Arbeitsplatzorganisation.
- die so einfach strukturiert sind, dass Erfahrung keine Rolle spielt.
- die untrainiert und nicht vertraut sind.
- die gegen den eigenen Willen und ohne Sinnzuordnung ausgeführt werden.

Eine Umgestaltung von arbeitsorganisatorischen Belastungen kann ohne Effizienzverlust bei einer flexibleren Arbeitsorganisation zu einer alter(n)sgerechten Arbeitsplatzveränderung führen, wie nachfolgende Praxisbeispiele und -anwendungen (Quelle: WKO) zeigen.

- Wahlmöglichkeiten für Mitarbeiter entsprechend ihrer Arbeitsfähigkeit, Lebensphase und Lebenssituation.
- Autonomie bei der Arbeitseinteilung (z.B. Tauschmöglichkeit, Besetzungsent-scheidung durch das Team) innerhalb bestimmter Grenzen.
- Bevorzugung von Dienstsyste-men mit Wechsel im Uhrzeigersinn bei Schichtarbeit.
- Freizeitausgleich bei Mehrarbeit anstatt finanzieller Abgeltung der Überstunden.

- Ab 45 Jahren sollte es Beschäftigten freigestellt werden, Nachtarbeit zu leisten.
- Einführung von Altersteilzeit bzw. Zeitmodellen, die einen gleitenden Übergang in die Pension ermöglichen.
- Angebot von Sabbaticals, einer Art Langzeiturlaub (Auszeit) mit „Job zurück Garantie“.

Im Active Aging (Aktives Altern) ist die Bereitstellung altersgerechter Arbeitsplätze durch ein ständiges Mitwachsen des Arbeitsplatzangebots bei einer sich verändernden Altersstruktur der Belegschaft eine der wichtigsten Aufgaben. Durch leichte Veränderungen der Arbeitsgestaltung hinsichtlich System, Aufgabe oder Organisation kann dies sichergestellt werden und führt überdies zu altersgeeigneten Tätigkeiten.

Diese altersgeeigneten Tätigkeiten liegen in Bereichen:

- der Qualitätssicherung.
- mit hoher Verantwortung für Menschen und Betriebsmittel.
- welche ein umfassendes Wissen über die Gesamtzusammenhänge im Betrieb erfordern.
- der Kundenbetreuung, sowie Beratung in Service und Vertrieb.
- der Instandhaltung und Wartung.
- der F&E.
- des Consulting, Coaching und Mentoring bis Krisenintervention bei Projekten.
- des Aufbaus eines betrieblichen Wissensmanagements.

### 3.5.3.5 Vorgaben für altersgerechten Arbeitsbedingungen

Körperliche Aspekte im Rahmen von Alters	Erläuterung in Zusammenhang mit Arbeitsbedingungen
Eingeschränkte Beweglichkeit der Gelenke, verminderte Elastizität von Sehnen und Bändern	<p><i>Vermeidung von Tätigkeiten, die Folgendes erfordern bzw. schon beinhalten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arbeiten mit angehobenen Armen</li> <li>▪ Länger dauernde ungewöhnliche Körperhaltungen</li> <li>▪ Verdrehte Wirbelsäule</li> <li>▪ Arbeiten mit erheblicher Verbiegung des Handgelenks, um Kraft mit Hilfe von Werkzeugen auszuüben</li> </ul>

	<p><i>Folgendes beachten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Positionierung von Gegenständen, Geräten, Bildschirmen ... so, dass länger dauernde Zwangshaltungen (Verdrehung, Vorbeugen, Bücken) vermieden werden</li> <li>▪ Anpassung der Arbeitsgeräte und Ausrüstungen auch in Fahrzeugen und im Büro an die individuelle Körpergröße</li> <li>▪ Niederfrequente Vibrationen</li> </ul>
Nachlassen der Kraft	<p><i>Vermeidung von:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kontrollgeräte und Werkzeuge, die große Kraft erfordern</li> <li>▪ Heben, Senken, Schieben, Ziehen und Tragen von Lasten</li> <li>▪ Heben von Lasten die größer sind als die Maximalleistung eines jungen Arbeiters</li> <li>▪ schnelles Heben</li> </ul> <p><i>Gestalten eines Arbeitsablaufes so, dass:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ eine Last in Körperrnähe getragen werden kann.</li> <li>▪ die Aufgaben kein übermäßiges Beugen und Bücken oder Verdrehen der Wirbelsäule erfordert.</li> <li>▪ genügend Pausen zwischen den Arbeitsaufgaben sind.</li> <li>▪ Bodenhaftung und sicherer Stand möglich sind.</li> </ul> <p><i>Unterweisung in „Heben und Tragen“</i></p>
Geringes Lungenvolumen	Tätigkeiten mit erhöhtem Energieaufwand sollten nicht 0,7 (Männer) und 0,5 (Frauen) Liter/Minute Sauerstoffverbrauch überschreiten
<p>Verminderte Wahrnehmung und Entscheidungsfähigkeit</p> <p>Aufmerksamkeits-, Gedächtnisdefizite</p> <p>Schwierigkeiten bei geistiger Umsetzung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einteilung von älteren Arbeitnehmern für Aufgaben in denen die Arbeit eher vorhersehbar und nicht reaktiv organisiert ist.</li> <li>▪ Einteilung von älteren Arbeitnehmern für Aufgaben die eine gute Mischung von Erfahrungswissen und Weiterbildung erfordern.</li> <li>▪ Längere und auf die Person zugeschnittene Trainingsabschnitte</li> <li>▪ Ergänzung der Praxis durch schriftliche</li> </ul>

	<p>Arbeitsanweisungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Videos, die die gewünschte Arbeitsleistung darstellen</li> <li>▪ Erhöhung der Signal Geräusch Relation am Arbeitsplatz</li> </ul>
Schwächen im Sehen und Farbsehen	<p><i>Bereitstellung von:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 50% mehr Beleuchtungsstärke für Arbeitnehmer zwischen 40-55 Jahren</li> <li>▪ 100% mehr Beleuchtungsstärke für Arbeitnehmer über 55 Jahre</li> <li>▪ Erhöhung des Kontrasts an Sichtgeräten und Messinstrumenten</li> <li>▪ Vergrößerung der Schrift, sowie von Symbolen auf Sichtgeräten und Monitoren</li> <li>▪ Beseitigung von Blendung</li> <li>▪ Entfernung von Blau-Grün Unterscheidung aus dem Signalangebot</li> </ul>
Hitze Unverträglichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verminderung, sowie Vermeidung von Hitzebelastung</li> </ul>
Geringe Kälteverträglichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aufrechterhaltung von optimalen Arbeitsplatztemperaturen</li> <li>▪ Kälteschutzkleidung anbieten</li> </ul>
Hörverminderung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erhöhung der Signal-Geräusch Relation bei Aufgaben, die signalabhängige Anweisungen beinhalten</li> </ul>
Höhere Häufigkeit von Beschwerden der Lendenwirbelsäule (LWS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bereitstellung von Trainingsprogrammen über Prävention von LWS Beschwerden</li> <li>▪ Vorbereitung von Basiswissen über die Körperreaktionsmuster</li> <li>▪ Arbeiten so gestalten, dass Rückenbeschwerden minimiert werden</li> </ul>
Erhöhtes Risiko für Fallen und Ausrutschen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ausreichende Beleuchtung des Arbeitsplatzes</li> <li>▪ Fußtrittsmarkierungen auf Rampen</li> <li>▪ Beseitigung von rutschigen Arbeitswegen</li> </ul>
Probleme mit höherer Arbeitsbelastung	<p>Arbeitshetze vermeiden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betonung der Arbeitsgenauigkeit gegenüber der Arbeitsgeschwindigkeit</li> <li>▪ dem Mitarbeiter Kontrolle über die Arbeitslast einräumen</li> </ul>
Langsamere Rehabilitation bei Verletzungen und Erkrankungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schrittweise Rückkehr zur vollen/möglichen Arbeitsbelastung</li> <li>▪ Rotation zwischen leichter und schwerer Arbeit, um eine Gewöhnung an die Arbeitsanforderungen zu erleichtern</li> <li>▪ Bereitstellung von Informationen über</li> </ul>

	vernünftige Formen der Rehabilitation und Rückkehr zur Arbeit
Tendenz zur Inaktivität	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bereitstellung von Fitnessprogrammen</li> <li>▪ Ermutigung zur Teilnahme daran</li> </ul>

**Tabelle 11: Maßnahmenkatalog nach Spirduso (1995) für altersentsprechende Gestaltung von Arbeitsplätzen<sup>63 64</sup>**

### 3.5.4 Maßnahmen und Gestaltungsansätze

Die Maßnahmen zur altersgerechten Arbeitsgestaltung in Produktionssystemen, beziehungsweise die Gestaltungsansätze in Fertigung und Montage um dem demographischen Einfluss zu begegnen sind vielfältig. Bei der Gestaltung des alters- und altersgerechten Arbeitssystems gilt es dieses in durch Einflüsse aus der physischen und jene der sozialen Umwelt zu unterteilen. Zur physischen Umwelt zählen Beeinträchtigungen, die bei Lärm, Staub, Gase und Dämpfe auftreten, sowie durch Raumbeleuchtung, Temperatur und Luftgeschwindigkeit verursacht werden. Keinesfalls unterschätzt dürfen die Umgebungseinflüsse der sozialen Umwelt werden. Dazu gehören das erweiterte Arbeitsteam mit Vorgesetzten und Mitarbeitern, das Betriebsklima und die arbeitsorganisatorische Komponenten.

Bei Produktionssystemen wird der Problemdruck an die älteren Mitarbeiter durch Reduzieren des Belastungswechsels, das Beseitigen von Puffern, einer Erhöhung der Taktbindung und Eliminieren von Umfeldtätigkeiten verstärkt. Dabei kann der Beschäftigte durch diese Leistungsverdichtung und der dadurch reduzierten Lernmöglichkeit im Arbeitsprozess überfordert werden.

Es entsteht Handlungsbedarf bei der alter(n)sgerechten Arbeitsgestaltung, weil eine Beschleunigung der Produktionsprozesse zu einer Verringerung zeitlicher Spielräume für den Mitarbeiter und folglich zu wachsendem Leistungs- und Zeitdruck führen. Durch die Zunahme von Tätigkeiten, die sich zyklisch wiederholen und einer Wiederkehr unergonomischer Arbeit, dequalifiziert die Arbeit. Die ungünstigen Arbeitszeitlagen führen zu schwindende Spielräumen für soziale Unterstützung im Arbeitsprozess und letztendlich führt alles zu einer Zunahme kombinierter Belastungsfaktoren.

#### 3.5.4.1 Maßnahmen zur altersgerechten Arbeitsgestaltung in Produktionssystemen

Nachstehend sind Maßnahmen zur altersgerechten Arbeitsgestaltung in Produktionssystemen der Fertigung und Montage aufgeführt, die einzeln aber auch in Kombination zu einer Verbesserung der Arbeitssituation für ältere Beschäftigte führen.

<sup>63</sup> Geißler Gruber B. et al., 2005

<sup>64</sup> Ilmarinen J. et al., 2010

- mentale (Aufgabenvielfalt) und physische Belastungswechsel (stehende und sitzende Tätigkeiten)
- Vermeidung einseitiger körperlicher Belastung
- Veränderungen im Arbeitsprozess (Integration der Vormontage bzw. Modulmontagen in den Endmontagebereich) zur Unterstützung des Belastungswechsels
- Variationsmöglichkeiten im Arbeitsablauf schaffen
- Anpassung des Entgeltsystems zur Förderung der Variabilität und Komplexität
- Systematisches abteilungsübergreifendes Jobrotation
- relative Zeitautonomie (Pausengestaltung, z.B. Mikropausen, Schichtplangesaltung)
- Längere Arbeitstakte (halbe Stunde und länger)
- Kompetenzentwicklung und –erhalt durch lernförderliche Arbeitsbedingungen und systematische Trainings bei Berücksichtigung altersgerechter Didaktik
- Teamarbeit mit wöchentlichen Teamgesprächen
- personelle Einbindung der Fertigungs- und Montagemitarbeiter in Projekte
- Förderung eines partizipativ ausgerichteten Führungsstils
- Regelmäßige Ergonomie-Checks zur Bewertung jedes einzelnen Arbeitsplatzes
- Anregung und Förderung sportlicher Aktivitäten
- Umfassende turnusmäßige Gesundheitschecks

#### **3.5.4.2 Gestaltungsansätze alter(n)sgerechter Wahrnehmung**

Die Gestaltungsansätze alter(n)sgerechter Wahrnehmung resultieren vorrangig aus der Verminderung der visuellen und akustischen Aufnahme der Umgebungseinflüsse der physischen Umwelt durch die Beschäftigten. Die nachstehenden Empfehlungen und Maßnahmen beziehen sich auf die jeweiligen eingesetzten Ausgabekomponenten oder das gesamte Arbeitssystem.

- Die Darstellung von Schrift und Zahlen muss in ausreichender Größe mit guten Kontrasten durch dunkle Schrift auf hellem Grund sichergestellt werden.

- Eine Darstellung mit bewegten Bildern, schnellen Schnitten und raschen Bildwechseln ist zu vermeiden.
- In speziellen Fällen sind individuell Seh- und Lesehilfen (Lupe, auch elektronisch) auf Klein- und Kleinstteilearbeitsplätzen anzubieten. Eine Seh- und Lesbarkeit ohne Zuhilfenahme von Hilfsmitteln ist als Grundbedingung notwendig.
- Für eine angemessene Beleuchtung unter der Berücksichtigung der Blendempfindlichkeit im Arbeitsbereich und der Arbeitsgegenständen, ist zu sorgen.
- Die Farbkontraste von Displays sollen deutlich sein.
- Physische bauliche Stolperstufen oder Störbereiche sind farblich oder durch gleitende Lichtwechsel zu kennzeichnen.
- Matte Displayflächen sind besser lesbar als glänzende.
- Indirekte blendfreie Beleuchtung ist punktuellen Leuchtkörpern vorzuziehen.
- Das Material für Böden, Wände und Decken sollte blendfrei sein.
- Die Bildschirmauflösung mittels Einstellmöglichkeit erhöhen.
- Die Veränderung der Schriftgröße der Standardschrift auf eine höhere Punktzahl für eine bessere Lesbarkeit.
- Höherauflösende Bildschirme mit besserer Leucht und Farbqualität einsetzen.
- Es sollen regelmäßige Bildschirmpausen einführen werden.
- Es ist für optimale Beleuchtungsverhältnisse zur Erhöhung des Ausleuchtungsgrades zu sorgen.
- Akustische Anweisungen haben laut, nicht zu schnell und deutlich zu erfolgen.
- Die Tonhöhe und die Lautstärke sollen individuell verstellbar gestaltet werden.
- Geräuschpegel, Nebengeräusche reduzieren.
- Akustische niedrigfrequente Warntöne mit zusätzlichen Lichtsignalen zur besseren Wahrnehmung ausstatten.
- Eine Lärmreduktion kann durch Dämmmaterial und Lärmschutzmatten erzielt werden.
- Es ist gegebenenfalls ein gesetzlich vorgeschriebener Gehörschutz zu verwenden.

### **3.5.4.3 Gestaltungsansätze alter(n)sgerechter physischer Leistungsfähigkeit**

Die Gestaltungsansätze verbessern die Situation der Mitarbeiter in Arbeitssystem positiv und resultieren aus der Ausarbeitung der körperlichen physischen Veränderungen der Leistungsfähigkeit im Altersgang (vgl. Abschnitt 3.3.2) unter Berücksichtigung eines Praxisbezugs. Diese Richtlinien zählen zum Bereich der Belastungen aus den physischen Umwelteinflüssen.

- Böden mit mittlerem Reibwert, keine Kanten , Kabel oder Medienleitungen auf dem Boden im Gehbereich.
- Die Durchgänge sind freizuhalten (niedrige Tische oder kleinere Logistikbehälter werden leicht übersehen).
- Türen sollten ohne große Kraftanstrengung oder automatisch öffnen.
- Die Bedienelemente müssen in richtiger Größe (gut greifbar) gestaltet werden.
- Für die Bedienung von Betriebsmitteln soll keine statische fixierte Körperhaltung dauerhaft erforderlich sein.
- Die Entlastung des Bewegungsapparates durch bewegungsunterstützende Sitzmöbel.
- Regale im Montage und Fertigungsbereich sollten nicht höher im Brustbereich liegen.
- Schalter, Informationsschilder usw. sollten ebenfalls ohne Bücken oder Strecken zu sehen bzw. erreichbar ein.
- Einsatz von physischen Assistenzsystemen in Form von Hebehilfen

### **3.5.4.4 Gestaltungsansätze alter(n)sgerechter Umwelt**

Wichtige Gestaltungsansätze an ein Arbeitssystem für eine alter(n)sgerechte Arbeit resultieren aus den Umgebungseinflüssen der sozialen Umwelt. Darunter sind nachfolgend angeführt:

- die Vielseitigkeit der Tätigkeit
- eine Ganzheitlichkeit der Arbeitsaufgabe
- ein Handlungsspielraum bei der Ausführung der Arbeitsaufgabe
- günstige Regulationsbedingungen während der Aufgabenausführung
- eine Aufmerksamkeit für die Durchführung der Arbeitsaufgabe

- das Wissen und Lernen für und durch die Arbeitsaufgabe
- Informationen und Mitsprache
- die Zusammenarbeit mit anderen Beschäftigten
- eine soziale Unterstützung durch Mitarbeiter und Vorgesetzte
- eine Arbeitszeitsouveränität

## 4 Assistenzsysteme in Produktion und Montage

Im vierten Abschnitt wird nach zukünftigen interdisziplinären Überlegungen, einer Zuordnung und Unterteilung von Assistenzsystemen detailliert auf eine digitale Assistenz eingegangen. Technologische Gesichtspunkte und Nutzeraspekte stehen als Grundlage für die Anforderungen digitaler Assistenzsysteme. Darauf basierend werden neben einer Beschreibung der Systemkomponenten und der Perspektive von praktischen Anwendungen die resultierenden Maßnahmen evaluiert. Unter der Berücksichtigung relevanter alter(n)sgerechter Richtlinien aus dem vorhergehenden Kapitel werden diese für zielführende Gestaltungskriterien in Fertigungs- und Montageanwendungen spezifiziert.

### 4.1 Cyber Physical System (CPS)

Der Weg zu intelligenten technischen Systemen in der Produktion führt über zukünftige interdisziplinäre Überlegungen basierend auf maschinenbaulichen, elektrotechnischen, sowie elektronischen, regelungstechnischen, softwaretechnischen und mechatronischen Erkenntnissen und Synergien. Darüber werden klassische ingenieurwissenschaftliche Überlegungen nicht ausreichen, um die Vielfalt von Methoden und Techniken zu erforschen die sensorischen, aktorischen und kognitiven Funktionen technischer Systeme zu integrieren.

Die immer kleiner werdende Elektronik in Verbindung mit einer parallel laufenden Informationsverarbeitung durch Multikernprozessoren, die Erhöhung von Speicherkapazitäten bei Reduktion des Energiebedarfs, ermöglicht die notwendige Hardware Ausstattung derartiger Systeme. Neben der Software als Innovationstreiber zählt weiters die Vernetzung von Informationen in maschinenbaulichen Systemen zu den bestimmenden Technologieentwicklungen in derartigen Systemen.

Der Begriff Cyber Physical Systems (CPS), auf deren Basis neue intelligente Produkte, Dienstleistungen und Produktionssysteme entstehen werden, steht für eine elektronische drahtlose Vernetzung informationsverarbeitender Systeme und ein Vermischen der realen mit einer virtuellen Welt. Hierbei verändert sich die Art der Informationsverarbeitung von einer reaktiven starren Kopplung mittels Sensorik und Aktorik der Mechatronik hin zu einer gezielt modifizierbaren Verknüpfung intelligenter Systeme. Existierende reaktive Systemabläufe, die nach Sicherheitsaspekten reflexartig ablaufen, sind davon ausgenommen und bleiben weiter bestehen.

Dieses selbstoptimierende System des Maschinenbaus wird als Konzept eines intelligenten technischen Systems bestehend aus einem Grundsystem und einer Informationsverarbeitung, die zwischen Sensorik und Aktorik kommuniziert, in diese vier Teile strukturiert. Die Grundsysteme, wie Antriebe, Automatisierungskomponenten und

Energiespeicher sind in mechanischen Strukturen aufgebaut und in der Regel werden derartige elementare Konfigurationen als Teilsysteme bezeichnet. Anlagen und Werkzeugmaschinen in der Produktion bestehen als interagierender Verbund aus mehreren Teilsystemen. Bei diesen Systemen handelt es sich nicht zwangsläufig um zentralisierte Aufbauten, vielmehr kooperieren diese und die Funktionalität erschließt sich durch eine Vernetzung der Einzelsysteme. Diese erfolgt immer mehr in globaleren Dimensionen.

Die demographische Entwicklung stellt die Unternehmen vor Herausforderungen, da die Menschen immer älter werden und dadurch zunehmend ältere Arbeitnehmer am Arbeitsmarkt zur Verfügung stehen. Auch sehen sich die Industriebetriebe mit einer immer älter werdenden Belegschaftsstruktur konfrontiert, wodurch sich die berechnete Frage nach optimalen Voraussetzungen, Entlastungen und Integration dieser Beschäftigten aus produktionstechnischer Sicht stellt. Technische Assistenzsysteme insbesondere intelligent technische können dazu beitragen, dass die alternde Belegschaft in physischer und psychischer Hinsicht an ihrem Arbeitsplatz in Fertigung und Montage unterstützt wird. Mit der menschenorientierten Ausrichtung Cyber Physikalischer Produktionssysteme, sogenannter Human Centered Cyber Physical Production Systems (HCCPPS) wird die Arbeit des Mitarbeiters unterstützt um Flexibilität, Selbstorganisation und letztlich die Arbeitsproduktivität zu erhöhen.

## **4.2 Beschreibung und Unterteilung von Assistenzsystemen**

Unter dem Begriff Assistenzsysteme werden alle Technologien zusammengefasst, die Tätigkeiten im soziotechnischen Arbeitssystem unterstützen, sodass die Beschäftigten sich auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren können. Die Grundaufgaben dieser Hilfssysteme liegen in der physischen und informationstechnischen Unterstützung der Mitarbeiter bei der Erfüllung ihrer Arbeitsaufgaben.

Ein klassischer Assistenzbedarf entsteht im Allgemeinen aus der Differenz zwischen den betrieblichen Leistungsanforderungen und dem mitarbeiterseitigem Leistungsvermögen. Anders formuliert kann es als Unterstützung hinsichtlich der Diskrepanz zwischen den Anforderungen der Arbeitsaufgaben und den Fähigkeiten der Mitarbeiter angesehen werden. Am Beginn einer Bedarfsanalyse<sup>65</sup> steht ein ausführlicher Profilvergleich auf Arbeitsplatzebene mit einer Detaillierungstiefe bis zu einzelnen Handlungen, wobei altersbedingte Einzeleinschränkungen der Mitarbeiter berücksichtigt werden müssen. Grundsätzlich macht aber diesbezüglich eine Verfeinerung nur dort Sinn, wo auch Assistenzsysteme ansetzen und unterstützen können.

---

<sup>65</sup> Ulich E., 2011

- **Physische Assistenzsysteme:**

Ein Profilvergleich am Beispiel eines Einsatzes für ein physisches Assistenzsystem ist auch ohne spezielle Verfahren möglich, indem Belastungs- und Anforderungsanalysen des Arbeitssystems den Fähigkeitsanalysen der Beschäftigten gegenübergestellt werden. Diese Analysen werden in der Regel durch Arbeitswissenschaftler, Ergonomen oder Fachkräfte für Arbeitssicherheit durchgeführt. Die spezifische Belastungsermittlung der älteren Beschäftigten wird üblicherweise durch Arbeitsmediziner festgestellt.

Die physischen und kraftunterstützenden Systeme entlasten die Mitarbeiter bei körperlicher Arbeit, wie beim Heben, Transportieren und Manövrieren schwerer oder sperriger Lasten. Durch den Einsatz von Assistenzsystemen wird die ergonomische Belastung der alternden Mitarbeiter verringert und der Produktions- und Montageablauf gleichzeitig optimiert. Als Assistenzsysteme kommen vorwiegend Roboter, aber auch Balancer und logistische Betriebsmittel zu Einsatz, die den Mitarbeiter motorisch unterstützen.

- **Informationstechnische Assistenzsysteme:**

Neben physischen gilt einer betrieblichen Betrachtung den informationstechnischen Assistenzsystemen. Dies sind rechnerbasierte Systeme, welche die Mitarbeiter durch immer komplexer werdende Prozesse führen und diese Nutzer bei der Entscheidungsfindung und -durchführung unterstützen. Als Bestandteil eines Mensch Maschinen Systems, das durch informelle Verknüpfung zwischen Operator und Maschine verbunden ist, werden nicht nur Daten und Fakten geliefert, sondern auch Hilfestellungen für Entscheidungsfindungen und Problemlösungen. Assistenzsysteme in Produktion und Montage stellen dem Mitarbeiter möglichst einfach und kurzfristig die Daten und Informationen bereit, die er zur Aufgabenerfüllung benötigt.

Eine wettbewerbsfähige Produktion muss flexibel und schnell auf individuelle Kundenwünsche und veränderte Rahmenbedingungen reagieren können. Der Konsument verlangt nach passenden auf seine Anforderung zugeschnittene Produkte. Diese Individualisierung führt zu kleineren Losgrößen bei steigender Variantenvielfalt. So ist der Mitarbeiter ständig mit einer viel flexibleren und komplexeren Tätigkeit konfrontiert, die er fehlerfrei ausführen muss. Eine solche Durchführung bei Montagearbeiten ohne Anweisungen ist kaum möglich. Informationstechnische Assistenzsysteme führen die Werker mit digitalen Technologien und Darstellungskomponenten wie traditionelle Displays, mobile Endgeräte, Tablets, Datenbrillen sowie Visualisierungssystemen beispielsweise mit Hilfe der virtuellen Realität durch diese ständig abgewandelte Montageprozesse. Dabei erstreckt sich die Spannbreite der Hilfestellung von der einfa-

chen Anzeige für Arbeitsanweisungen über eine visuelle oder multimediale Unterstützung bis hin zur kontextsensitiven Augmented Reality für den Beschäftigten.

- Intelligente kognitive Assistenzsysteme:

Langfristig angelegte Forschungsarbeiten streben intelligente Systeme an, die selbständig Daten erkennen und reagieren können. Die Bezeichnung „Intelligente Assistenzsysteme“ entspringt aus dem Forschungsgebiet der künstlichen Intelligenz und der Kognition. Dabei bezeichnet die Intelligenz jene Fähigkeit von Assistenzsystemen Lösungen zu generieren zu deren Findung durch den Menschen Intelligenz notwendig ist. Diese Systeme sollen zunehmend Aufgaben übernehmen um die Arbeitskräfte zu unterstützen und zu entlasten. Die intelligenten Assistenzsysteme sind technische Hilfsmittel, die Mitarbeiter in der Erfüllung der Arbeitsaufgabe und allgemein Menschen im Alltag unterstützen. Durch die Integration unterschiedlicher Technologien und technischer Komponenten, wie Sensoren, Aktoren oder Informations- und Kommunikationstechnologien im Arbeitssystem, kann der unterstützte Mitarbeiter das Assistenzsystem möglichst autonom verwenden. Kognitive Assistenzsysteme in der Fertigung und Montage erlauben eine flexible Interaktion zwischen Roboter und Werker und eine dementsprechende Anpassung an die gegebene Situation. Sie erfassen den jeweiligen Status des Benutzers und passen die notwendigen Arbeitsschritte gegebenenfalls an<sup>66</sup>.

Diese kognitiven Assistenzsysteme nehmen Berechnungen vor, entscheiden selbst und können ableiten inwieweit und welche Hilfe die Mitarbeiter benötigen. Zusätzlich können sie noch z.B. Fehlhaltungen anzeigen und haben so gesehen eine gewisse Intelligenz. Die Unterstützung der einzelnen Personen hängt zukünftig nicht nur vom Ausbildungsstand und der körperlichen Fitness ab, sondern auch von der jeweiligen Tagesform, Müdigkeit oder Pausensetzung der jeweiligen Arbeitskraft.

Intelligente technische Systeme zeichnen sich durch vier zentrale Eigenschaften aus.

- Adaptiv:

Adaptive Systeme interagieren mit dem Umfeld und passen sich situationsbedingt autonom an. Dabei sind sie in der Lage sich innerhalb eines vom Programmierer vordefinierten Rahmens weiterzuentwickeln.

---

<sup>66</sup> Brecher C., 2011

- Robust:

Die Systeme verhalten sich in einem dynamischen Umfeld stabil, gegenüber vom Entwickler unerwarteter unberücksichtigter Situationen, Unsicherheiten oder fehlende Informationen und gleichen diese bis zu einem gewissen Grad aus.

- Vorausschauend:

Durch ein gewisses Erfahrungswissen antizipieren diese Systeme künftige Auswirkungen, erkennen Gefahren frühzeitig und entwickeln Bewältigungsstrategien.

- Benutzerfreundlich:

Das Systemverhalten bleibt für den Benutzer stets nachvollziehbar, weil es mit ihm in bewusster Interaktion steht und sich seinem Verhalten anpassen kann.

In der Produktion der Zukunft haben Emissionsneutralität, Effizienz und Ergonomie einen hohen Stellenwert. Intelligente Arbeitssysteme unterstützen den Beschäftigten seine Tätigkeit auszuführen. Der Arbeitsplatz wird ergonomischer und dies bewirkt eine Steigerung der Effizienz und der Produktqualität. Trotz aller Hilfestellungen bleibt der Mitarbeiter aber weiter im Mittelpunkt des Arbeitssystems, da er flexibler auf Veränderungen reagieren kann. In Summe laufen bei Verwendung von Assistenzsystemen bestimmte Arbeitsschritte schneller, die Ressourcen werden geschont und Fehler frühzeitig erkannt. Der Vorteil eines zusätzlichen Technikeinsatzes bei der Durchführung einer Arbeitsaufgabe liegt im Resultat bei Fehlerfreiheit und Präzision.

### **4.3 Digitale Assistenzsysteme**

In Unternehmen werden für die Kommunikations- und Informationsdarstellung analoge, sowie auch digitale Größen und Daten für Anweisungen, Kontrolle und als Unterstützung des Mitarbeiters eingesetzt. Digitale Assistenzsysteme bezeichnet dabei jene Unterstützungssysteme, in denen deren aufgenommene, sowie abgegebene Daten und Informationen in digitalisierter Form mit elektronischen Datenverarbeitungssystemen be- und verarbeitet werden. Dabei werden sensorische Größen oder genaue Plandaten je nach Anwendung sogar in einer 3D tauglichen Aufbereitungen zur Informationsnutzung in Echtzeit weitergegeben.

Aus dem Arbeitssystem aufgenommene Informationen werden über eine entsprechende Sensorik aufbereitet. Ein Analog/Digital Wandler oder ADC (Analog to Digital Converter) wandelt die analogen Eingangssignale in einen digitalen Datenstrom, der dann weiterverarbeitet oder gespeichert werden kann um. Als das Gegenstück gilt

der Digital/Analog Wandler. Beide stellen für die Messwerterfassung in Forschungs- und industriellen Produktionsanlagen einen elementaren Bestandteil des Hilfssystems dar.

Mithilfe eines Computers oder einer Recheneinheit werden die diskreten Werte elektronisch weiterverarbeitet oder in Dateien gespeichert, deren Formatierung abhängig von der Informationsart, der eingesetzten Software und auch der späteren Nutzung ist. Die digitalisierten Informationen (Digitalisat), bestehen aus einer oder mehreren Dateien können in verschiedenen Formen dargestellt werden. Digitale Daten erlauben den Einsatz vernetzter elektronischer Datenverarbeitungssysteme deren Kapazitätsbedarf in Transport und Speicherung deutlich geringer ist. Diese Systeme können Informationen maschinell und damit schneller verarbeiten als analoge Systeme. Digitale Signale unterliegen innerhalb gewisser Grenzen keiner Fehlerfortpflanzung. Durch den effizienten Einsatz von Fehlererkennungs- und Fehlerkorrekturmethode im Rahmen der Digitaltechnik und der digitalen Nachrichtentechnik lassen sich komplexe Systeme ohne systematische Fehler erstellen. Mit dem Einsatz von digitaler Informations- und Kommunikationstechnik in den betrieblichen Abläufen eines Unternehmens, können diese schneller und kostengünstiger abgewickelt werden. Durch diese Effizienzsteigerung wird deren Wirtschaftlichkeit verbessert.

### **4.3.1 Digitale persönliche Assistenzsysteme**

Digitale persönliche Assistenzsysteme sind zukunftsorientierte interdisziplinäre Informations- und Kommunikationssysteme, die zur Unterstützung des Menschen in seinem privaten wie auch beruflichen Umfeld dienen. Sie stehen an der Schnittstelle zwischen Informationstechnik und Gesundheit. Dabei finden sie ihre Anwendung als altersgerechte Assistenzsysteme im Betrieb ebenso, wie als Hilfestellung im Alter, im Ambient Assisted Living (AAL) für einen gesunden, unabhängigen und selbstbestimmten Alltag. Übersetzt steht die Bezeichnung AAL hierbei für „Altersgerechte Assistenzsysteme für ein gesundes und unabhängiges Leben“. Bei der Entwicklung dieser Systeme werden benutzerfreundliche Technologien und soziales Umfeld so verbunden, dass der Mensch immer im Mittelpunkt der Überlegungen bleibt und seine Lebensqualität in allen Bereichen und Lebensabschnitten erhöht wird.

Im Betrieb können Hilfssysteme in Fertigung und Montage in Form von Informations- und Kommunikationssystemen zur Unterstützung des Mitarbeiters im Arbeitsprozess, aber auch im Wartungs- und Instandhaltungsbereich ganz im Sinne eines Human Centered Ansatzes konzipiert und nach individuellen (altersgerechten) Bedürfnissen als digitale persönliche Assistenzsysteme ausgerichtet werden. Die allgemeine technische Forschung auf diesem Gebiet der Assistenztechnologie richtet sich nach Un-

terstützungssystemen für normal leistungsfähige, aber auch nach leistungsgeminder-ten Menschen mit kognitiver Beeinträchtigung<sup>67</sup>.

Durch die Folgen des demographischen Wandels werden Veränderungen am Arbeitsmarkt sehr sensibilisiert in Unternehmen betrachtet. Arbeitsplätze und Abläufe sollen möglichst so gestaltet werden, dass zu hohe Belastungen, Ermüdungen oder Überforderungen vermieden werden. Der Aufwand für optimale Arbeitsorganisation ist geringer als Arbeitsausfälle oder gar Berufsunfähigkeit zu riskieren. Assistenzsysteme mit zwei Ärmlingen<sup>68</sup>, in denen drei kleine Kästchen eingenäht sind, erfassen Sensoren in einem gewählten Koordinatensystem an verschiedenen Stellen des Armes eines Mitarbeiters die Beschleunigungen und Drehraten. Dadurch lassen sich die Bewegungskurven und Orientierungen der Gelenke des Nutzers exakt messen. Über eine spezielle Sensortechnik gekoppelt mit der notwendigen Software werden die ermittelten Daten mit bekannten Tabellenwerten abgeglichen. Zurzeit gibt es noch keine Vorgaben über zulässige Belastungen einzelner Muskelgruppen im Zusammenhang mit dem Alter, Geschlecht, der Körperhaltung und den Umfeldbedingungen. Jedoch kann hier rechtzeitig bei Übermüdungen und Überanstrengungen eingeschritten werden und angesichts der knapper werdenden Fachkräfte und einem späteren Renteneintrittsalter können zuverlässige Aussagen getroffen werden, wie auch ältere Mitarbeiter so eingesetzt werden können, dass ihre Leistungsfähigkeit möglichst lange im Arbeitsprozess erhalten bleibt.

### 4.3.2 Digitale Assistenzsysteme mit virtueller Ausgabe

Mit digitalen stationären und mobil einsetzbaren Assistenzsystemen liefern innovative Technologien dem Mitarbeiter genau die Information, die er in dem Moment braucht. Durch eine geeignete Aufbereitung in elektronischen Datenverarbeitungssystemen können digitalisierte Daten und Informationen in bildlicher Form dargestellt werden. Digitale Informationen werden virtuell als Zusatzinformation zur realen Welt angezeigt.

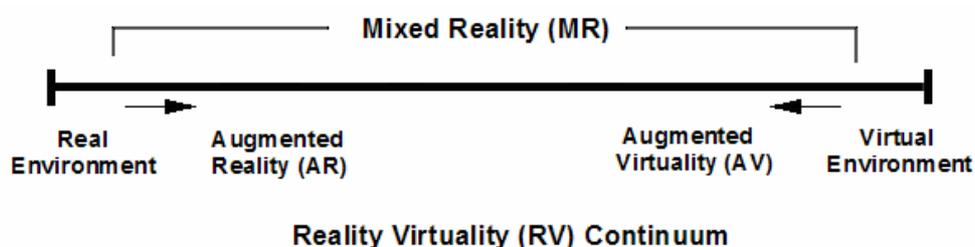


Abb. 27: Das gesamte Realitäts Virtualitäts Kontinuum (Quelle: Milgram, 1994)<sup>69</sup>

<sup>67</sup> Sauer A.L. et al., 2010

<sup>68</sup> Schulze M. et al. 2014

<sup>69</sup> Milgram P. et al., 1994

Das Vermischen von Umgebung oder Systemen einer realen physischen Welt mit einer virtuellen Realität wird in technologischer Terminologie als gemischte Realität (Mixed Reality MR) bezeichnet (Abb. 27). Im Blickpunkt der Untersuchung stehen Systeme der erweiterten Realität und der erweiterten Virtualität. Sie stellen stufenlose Zwischenstadien der beiden Extreme nur Realität und nur Virtualität dar. Eine Mixed Reality umfasst das gesamte Realitäts Virtualitäts Kontinuum.

Unter reine Realität (Real Environment) wird beispielsweise der Beschäftigte, der im soziotechnischen Arbeitssystem der Fertigung und Montage seiner Tätigkeit nachgeht, verstanden.

Die erweiterte Realität, Augmented Reality (AR), ist eine Verbindung aus wahrgenommener und vom Computer generierter Realität, eine Mixed Reality (MR). Es ist dies eine innovative zukunftsorientierte wachsende Technologie, bei der mit Hilfe eines rechnergestützten Systems alle Sinnesmodalitäten erweitert werden können. Meist dient diese Technologie zur visuellen Erweiterung, bei der zusätzliche digitale Daten über ein in der Realität existierendes Bild gelegt werden, wobei zwischen der Wahrnehmung und den Zusatzinformationen eine Echtzeit Interaktion besteht. Genauer gesagt werden Bilder oder Videos mit computergenerierten Zusatzinformationen, beziehungsweise virtuellen Objekten mittels Einblendung oder Überlagerung ergänzt. Bei der Augmented Reality werden dem Anwender wesentliche Fakten, die einen unmittelbaren Bezug zu den Wahrnehmungen haben, zur Verfügung gestellt. Diese Daten dienen dem Anwender spezifische, aber auch routinemäßige Abläufe optimiert und zeitsparend durchführen zu können.

Beispielhaft kann eine erweiterte Virtualität (Augmented Virtuality AV) durch ein Trainings- oder Lernprogramm beschrieben werden, dass über einen Virtual Reality Helm (VR Helm) durchgeführt wird und in diesem akustische Anweisungen mittels Kopfhörer übertragen werden. Hierbei wird Virtualität um reelle Informationen angereichert.

Als virtuelle Realität wird ein imaginärer Raum, beziehungsweise eine computergenerierte interaktive virtuelle Umgebung bezeichnet, in die der Betrachter eintaucht, sich in ihr bewegen und Vorstellungen umsetzen kann. Es entsteht eine vom Computer geschaffene Welt ohne reale Gegenstände, die dem Beobachter möglichst reale Szenen vermittelt. In Virtual Reality (VR) bildet die Interaktion eine technische Schnittstelle, in der über motorische, mittels Bewegung des Kopfes oder der Extremitäten, über verbale oder taktile Handlungen gesteuert wird. Funktional ist virtuelle Realität eine Simulation bei der mittels Computergrafik eine realistisch erscheinende dynamische Umgebung generiert wird. Diese synthetische Umgebung reagiert über Handschuhe mit haptischen Sensoren und Datenhelme auf Benutzereingaben, die unmittelbar in Steuerbefehle umgesetzt werden und eine unmittelbare Auswirkung auf die virtuelle Umgebung haben. Es kommt zu einer direkten Interaktion, wobei der

Betrachter Einfluss auf die Perspektiven und Größen der virtuellen Umgebung haben kann. Er wird somit ein Teil dieses Systems und kann durch Aktionen seine Handlungsvorstellungen umsetzen.

Reine Virtualität ist jene Eigenschaft einer Sache, nicht in der Form vorhanden zu sein, in welcher diese zu existieren scheint, jedoch in ihrem Wesen und Wirkung einer in dieser Form existierenden Sache gleicht. Virtualität spezifiziert also eine gedachte oder über ihre Eigenschaften konkretisierte Entität, die zwar nicht physisch, aber doch in ihrer Funktionalität oder Wirkung vorhanden ist. Reine Virtualität im Unternehmen wird meist, mit im Forschungs- und Entwicklungsbereich (F&E) als Instrument zur Simulation eingesetzt, verbunden. Hierbei dient es als Planungs- und Konstruktionswerkzeug um dynamische Abläufe besser einschätzen und gegebenenfalls die notwendigen Schlüsse daraus ziehen zu können. Auch kann diese Technologie im Einsatz mit computergesteuerten Hilfssystemen als Rechen-, Denk, Beobachtungs- und Steuerungsinstrument in Produktion und Dienstleistung verwendet werden. Die Anwendungen umfassen dabei die Bereiche der Telekommunikation ebenso wie jene bis zur umfassenden Thematik der Smart Factorys. Diese Form von intelligenter Fabrik ist ein Forschungsbegriff im Bereich Fertigungstechnik, in der die Vision einer Produktionsumgebung sich weitgehend selbst organisierender Fertigungsanlagen und Logistiksysteme ohne menschliche Eingriffe existiert.

Der Ordnung halber sei hier angemerkt, dass der Begriff Mixed Reality nicht nur in rein technischen Zusammenhängen gebraucht wird, sondern auch in philosophischen und psychologischen Gebieten sowie im Medienbereich seine Verwendung findet.

### **4.3.3 Anwendungen digitaler Assistenzsysteme**

Die klassische Messtechnik beschäftigt sich mit Daten und Informationsaufnahme durch Signale in analoger und digitaler Form. Nach Umwandlung werden die sensorisch aufgenommenen Größen bei der Digitalisierung je nach Verwendung in unterschiedliche Codes übergeführt. Das Vorliegen von Informationen und Daten in digitaler Form erlaubt die elektronische Nutzung, Bearbeitung, Verteilung, Erschließung und Wiedergabe und dies gilt auch als Grundlage bei digitalen Assistenzsystemen gegebenenfalls mit virtueller Ausgabe.

Virtuelle Technologien bieten ein hohes Potential für innovative Lösungen in den Wertschöpfungsketten von Hightech-Branchen, beispielsweise zur Unterstützung von industriellen Arbeitsprozessen in Produktion und Montage. Produkt- bzw. Prozessinformationen können sehr viel direkter genutzt werden, wenn die Datenaufbereitung so gestaltet wird, dass virtuelle Objekte generiert und visualisiert werden können. Durch die steigende Komplexität technischer Systeme werden die Anforderungen an die am Arbeitssystem beteiligten Mitarbeiter immer höher. Die Integration virtueller

Technologien kann einen großen Beitrag zur Beherrschung der Systemfunktionalität liefern. Während die Forschungsaktivitäten der virtuellen Realität etabliert und schon zum Teil in die Standardtechnologie integriert worden sind, zählt die Entwicklung und Anwendung der erweiterten Realität zu den zukünftigen Themen und Arbeitsgebieten. Dabei kann aber auf den Forschungsergebnissen der virtuellen Realität aufgesetzt werden. In dieser noch sehr jungen Technologie reichen die Einsatzbereiche beginnend bei der Grundlagenforschung bis zur Entwicklung spezifischer Industrielösungen und decken neben Soft- sowie Hardwarekomponenten auch die Beratungsleistungen ab. Die zentralen Forschungsaktivitäten im Bereich Virtual Reality und Augmented Reality bezieht sich auf innovative Lösungen in Computer Vision und Visualisierung, sowie Sensorinterpretation und –fusion ganz im Sinne eines Human Centered Ansatzes. Die Themen der digitalen Technologien liegen in der Grundlagenforschung bei der Bereitstellung einer F&E Fähigkeit, der Entwicklung von fortschrittlichen Lernalgorithmen bis zur Validierung und Einsatzmöglichkeit von Hard- und Softwareprototypen für die Prozesssicherheit im Arbeitsprozess.

Intelligente Sensornetzwerke bieten mit dem Einsatz von Niedrigenergie-Recheneinheiten eine große Anzahl von neuen Anwendungsmöglichkeiten wie das Internet der Dinge bis zu am Körper anliegende Netzwerken. Die Modellierung von Daten, die Kameras und Sensornetzwerke liefern und die Entwicklung neuartiger interaktiver Schnittstellen, die intelligent und adaptiv sind, unterstützen die Nutzer in der Visualisierung beim Verständnis von Arbeitssituationen. Effiziente 2D und 3D Daten Extraktionsverfahren, sowie die neuen Forschungs- und technologischen Herausforderungen der aktuelle F&E Themen in 3D / 4D Szenenrekonstruktion bei Struktur und Bewegungsschätzung, Text- und Objekterkennung und -verfolgung mittels Videos und anschließender Szeneninterpretation stellen eine große Hilfestellung beim besseren Verständnis einer aufgenommenen Szene für den Anwender dar. Die vielfältige Anwendung der virtuellen Realität im Unternehmensbereich liegt im Bereich der Simulation von Vorgängen, Verfahren oder Geräten und unterstützt bei Aus- und Weiterbildung, Entwicklung, in der Produktion und Qualitätskontrolle. Eine 3D Darstellung wird, indem auf jedes Auge ein geringfügig versetztes Bild projiziert wird (stereoskopische Projektion) zu einer virtuellen dreidimensionalen Darstellung. Für diese Projektion werden spezielle Betriebsmittel wie Datenhelme und VR Brillen verwendet.

Mittels Augmented Reality Systemen können in industriellen Anwendungen reale Geometrien effizient mit digitalen Planungsdaten abgeglichen werden. Diese Technologie bietet breite Einsatzmöglichkeiten bei der Anwendung von digitalen Absicherungsmethoden in der Synergie von realen Konstruktionen und Prototypen mit digitalen Daten. Die Bereitstellung von Wissen und Informationen in inhärenter digitaler Form für die Entscheidungsfindung und –unterstützung in Arbeitsprozessen werden zu zentralen Themen.

## **4.4 Anforderungen an digitale Assistenzsysteme**

### **4.4.1 Anforderungen aus dem Arbeitssystem an Assistenzsysteme**

Durch den ansteigenden Automatisierungsgrad in Produktionen werden einfache sich wiederholende Tätigkeiten in den Fertigungsprozess integriert. Dadurch entsteht ein erhöhter Anteil an komplexen indirekten Tätigkeiten an der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Die zunehmende Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien, sowie die Berücksichtigung der Auswirkungen des demographischen Wandels stellen bei ansteigender Digitalisierung Unternehmen und deren Mitarbeitern vor große Herausforderungen.

Je ausgeprägter die Automatisierung ist, umso schwieriger fällt dem Menschen die wahrgenommenen Prozessabläufe zu verstehen, zu analysieren und Entscheidungen, bezüglich gegebenenfalls notwendiger Maßnahmen, einzuleiten. Praxisgerechte Unterstützungskonzepte helfen bei zunehmender Komplexität der Arbeitssysteme und den damit verbundenen Aufgaben und Verantwortungsspektrum des Mitarbeiters. Intelligente industrielle Assistenzsysteme leisten hierbei einen wesentlichen Beitrag. Die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten beginnt bei einfachen Softwareanwendungen, die dem Mitarbeiter kontextbasiert notwendige Informationen und Daten liefert bis zur Interaktion hochkomplexer technischer Komponenten auf Basis von Sensoren, Aktoren und Controllern.

Beispielhaft liegen die Anwendungsbereiche für intelligente Assistenzsysteme in der Unterstützung manueller Tätigkeiten bei der Anleitung und Ausführung anspruchsvoller Aufgaben, für Entscheidungshilfen und als Präventivsysteme, die negative Entwicklungen erkennen und gegebenenfalls entgegenzusteuern können.

### **4.4.2 Anforderungen an die Gestaltung von Assistenzsystemen**

Aus der Sicht des Mitarbeiters sind vorrangig eine benutzerfreundliche Bedienbarkeit, die Interaktionsfähigkeit und eine individuell den kognitiven Fähigkeiten des Nutzers angepasste Informationsdarstellung anzuführen. Es sind technische Spezifikationen und ergonomische Gesichtspunkte, die über Akzeptanz und Verwendung eines Assistenzsystems seitens des Beschäftigten entscheiden.

Aus technischer Perspektive ist die einzusetzende Soft- und Hardware an die Anforderungen der spezifischen Anwendung zu konfigurieren und eine Verknüpfung des dahinter liegenden Datenmodells mit den erforderlichen Informationsquellen herzustellen. Darüber hinaus ergeben sich einige limitierende Einschränkungen, da die unterschiedlichsten Datenquellen zu einer kohärenten echtzeitbasierten Darstellung mit gegebenenfalls kontextsensitiven Filterung der Inhalte und einem entsprechen-

den Auswertungsalgorithmus für die Auswertung ausgestattet werden muss. Das Fehlen einheitlichen Standards bei verschiedenen technischen Systemen in der Schnittstellenproblematik, weil passende fehlen oder die vorhandenen Schnittstellen inkompatibel sind und durch eine nicht durchgängige Betriebsdatenerfassung in der Produktion hemmt den Einsatz von Produktionsassistenten- oder Fehlererkennungssystemen. Auch wird meist das Implementieren geeigneter Hilfssysteme erschwert, weil die Anlagenkomponenten nicht die notwendige Kapazität sowie Leistungsfähigkeit aufweisen und zusätzlich oft unterschiedliche Hersteller haben. Sind diese Schwierigkeiten gelöst und liegt eine echtzeitbasierte Auswertung der aktuellen Produktionsdaten auf, leisten Assistenzsysteme einen wesentlichen Beitrag zu einer effektiveren und effizienten Fertigung und Montage.

Die wesentlichen Aufgaben von Assistenzsystemen liegen in der maschinellen Wahrnehmung, einer Aufnahme von sensorischen Informationen der Umgebung, deren Interpretation und der maschinellen Interaktion mit dem Menschen über eine Mensch Maschinen Schnittstelle. Daraus resultieren Anforderungen und Eigenschaften für den Aufbau sind für das Unterstützungssystem von erheblicher Bedeutung.

Externe Sensoren	Interne Sensoren
<p><i>Taktile Sensoren:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Flächen Sensoren</li> <li>▪ Kraft/Moment Sensoren</li> </ul> <p><i>Nicht taktile Sensoren:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Positionsbestimmung über GPS, Odometrie</li> <li>▪ (Stereo) Kameras</li> <li>▪ Laser Sensoren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Winkel-/Positionssensoren</li> <li>▪ Drehzahlsensoren</li> <li>▪ Beschleunigungssensoren</li> </ul>

**Tabelle 12: Robotersensoren (Quelle: Gerke, 2014)<sup>70</sup>**

Für eine Informationsaufnahme zeigt die Tabelle (Tabelle 12) im Überblick externe und interne Wahrnehmungskomponenten eines physischen Assistenzsystems. Während hierbei interne Wahrnehmung dynamisch über die Veränderung einer Bewegung aufgenommen wird, läuft die äußere Wahrnehmung meist optisch oder über eine Berührungssensorik ab. Die aufgenommenen Daten des Hilfssystems werden an den Controller für nachfolgende Handlungen weitergeleitet. Die Bewegungserkennung digitaler Assistenzsysteme über Tracking Systeme wird in Abschnitt 4.5.1.2 näher behandelt.

<sup>70</sup> Gerke W., 2014

### 4.4.3 Mensch Maschinen Schnittstelle

Besondere Bedeutung kommt der Gestaltung der Interaktion des Menschen mit dem Assistenzsystem zu (vgl. Abb. 28). Um eine reibungslose Kommunikation an der Mensch Maschinen Schnittstelle zu generieren, muss unter Berücksichtigung der menschlichen Fähigkeiten die technische Umgebung dem Mitarbeiter altersgerecht angepasst werden.

Durch eine optimale Verteilung der Aufgaben, Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten zwischen Mensch und Maschine werden Fehler verhindert und die Sicherheit und Effektivität des Gesamtsystems verbessert. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine menschliche Fehlhandlung in technischen Systemen eintritt, wird bei probabilistischer Berechnung der Zuverlässigkeit mit der Zahl 1/100 (0,01) ohne weitere Einschränkungen angegeben.<sup>71</sup>

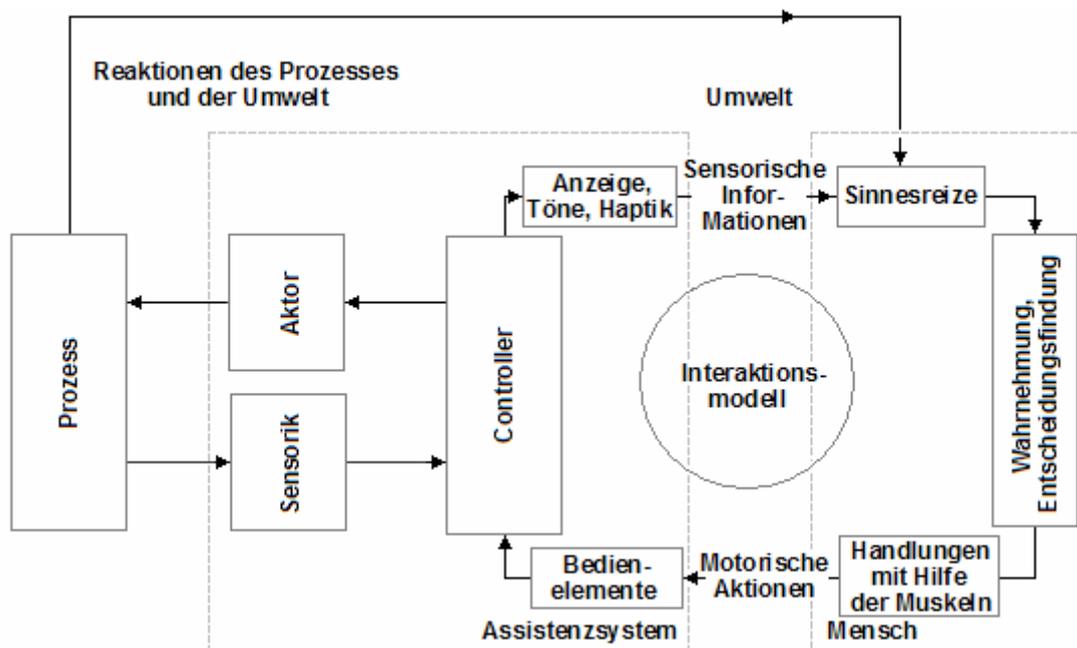


Abb. 28: Modell der Interaktion der Menschen mit einem Assistenzsystem (Quelle: Gerke, 2014)

Die Wahrnehmung bestimmter Messgrößen über Sensoren stellt für viele Assistenzsysteme ein charakteristisches Merkmal dar. Diese liefern Daten einer Situation, eines Zustandes oder eines Ereignisses und über eine computerunterstützte Auswertung erhält die Arbeitsperson die notwendigen Rückmeldungen und Informationen.

Es hat sich der Begriff Mensch Maschinen System<sup>72</sup> und auch die Benutzerschnittstelle als Mensch Maschinen Schnittstelle (HMI - Human Machine Interface bzw. MMI - Man Machine Interface) als zweckmäßige Abstraktion zur Verdeutlichung des Informationsaustausches durchgesetzt. Diese Schnittstelle beinhaltet alle für die Inter-

<sup>71</sup> Badke-Schaub P. et al., 2008

<sup>72</sup> Johannsen G., 2013

aktion von Mensch und Maschine erforderlichen Komponenten. Darunter werden das Beobachten der Anlagenzustände, sowie gegebenenfalls das Eingreifen in den Prozess verstanden. Dies erfolgt über ein geeignetes Mensch Technik Interface und über informationstechnische Systeme, welche eine unternehmensnotwendige Vernetzung ermöglichen.

Im Mensch Maschinen Zusammenspiel erhöhen neue Technologien die Leistungs- und Ausdauerfähigkeit der Mitarbeiter und verbessern die Bedingungen und Arbeitssituation im der Produktions- und Montageprozess. In einem intelligenten Assistenzsystem werden dessen Funktionen weitestgehend im Rahmen der ihm eingeräumten Autonomie und Kontrolle selbständig ausgeführt. Im Unterschied zu automatisch ablaufenden Systemen soll bei Assistenzsystemen ein wechselseitiger Austausch von Arbeitssysteminformationen erfolgen. Der interaktive Mensch Maschinen Dialog erfolgt über eine Benutzerschnittstelle die einfach und intuitiv zu bedienen sein soll. Der Mensch hat jederzeit die Möglichkeit die Arbeit des Assistenzsystems zu unterbrechen, um diese autonom ausführen zu können. Eine Interaktion mit Assistenzsystemen kann sehr vielfältig sein. Über Tastenbetätigung, taktile Kommunikation, Sprach- und Gestikerkennung bis zur haptischen Wahrnehmung ist die Kommunikation möglich. Assistenzsysteme nutzen Touchscreens und Kamerasysteme um per Software über ein Visualisierungssystem für den Informationsaustausch zu sorgen. Für die Mensch Maschinen Schnittstelle gibt es ergonomische und psychologische Grundsätze, die durch individuelle sensorische und kognitive Fähigkeiten der Mitarbeiter beeinflusst und bei der Entwicklung und einer Beurteilung berücksichtigt werden müssen. Für eine qualitativ hochwertige Gestaltung der Mensch Technik Interaktion müssen nicht nur die physischen Fähigkeiten des jeweiligen Mitarbeiters, sondern auch die kognitiven Prozesse des Nutzers im Zusammenhang ihrer jeweiligen Arbeitsaufgabe verstanden und berücksichtigt werden. Ein reines Abarbeiten von Leitfäden und Normen reicht nicht, da entsprechende Entwurfswerkzeuge erforscht und implementiert werden müssen, die dieses Wissen beinhalten. Diese sollen Elemente der Partizipation und Simulation mit dem Wissen des Entwicklungsprozesses (vgl. Abschnitt 3.1.2) enthalten.

Für die Gestaltung der Nutzungsschnittstellen selbst stehen Leitfäden, Standards und Normen zur Verfügung wie etwa die EN ISO 9241-110. Die Norm EN ISO 9241 ist ein internationaler Standard, der Richtlinien der Mensch Computer Interaktion beschreibt. Der Teil 110 der DIN EN ISO 9241 beschreibt sieben Grundsätze (Tabelle 13) für die Gestaltung und Bewertung einer Schnittstelle für interaktive Systeme.

<i>Aufgabenangemessenheit</i>	Eine technische Komponente wird als den Aufgaben angemessen bezeichnet, wenn sie den Benutzer bei der effektiven und effizienten Erledigung seiner Aufgabe unterstützt. Aufgabenan-
-------------------------------	---

	gemessenheit bedeutet z.B., dass nicht aufgabenrelevante Informationen auf ein Minimum beschränkt bleiben oder dass Ein- und Ausgabeformate von Informationen der Benutzeraufgabe angepasst werden können.
<i>Selbstbeschreibungsfähigkeit</i>	Als selbstbeschreibungsfähig werden technische Komponenten bezeichnet, bei denen jeder einzelne Bedienschnitt dem Benutzer unmittelbar verständlich ist oder bei Bedarf durch eine einfache anforderbare Erläuterung verständlich gemacht werden kann.
<i>Steuerbarkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kontrollierbarkeit des Ablaufs</li> <li>▪ zeitlich unabhängige Eingriffsmöglichkeiten</li> <li>▪ Handlungskorrekturmöglichkeiten</li> </ul>
<i>Erwartungskonformität</i>	Als erwartungskonform werden technische Komponenten bezeichnet, die hinsichtlich der verwendeten Begriffe und Bedienweisen konsistent sind und den Erwartungen, dem Wissen und den Erfahrungen der Benutzer entsprechen.
<i>Fehlertoleranz</i>	Eine technische Komponente ist fehlertolerant, wenn der Benutzer das gewünschte Resultat trotz fehlerhafter Eingaben mit minimalen Korrekturen erreichen kann. Dies erfordert, dass der Benutzer beim Aufspüren und Beseitigen von Fehlern unterstützt wird.
<i>Individualisierbarkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anpassen an individuelle Aufgaben</li> <li>▪ Anpassen an individuelle Arbeitsumstände</li> <li>▪ Anpassen an individuelle Fähigkeiten und Vorlieben</li> </ul>
<i>Lernförderlichkeit</i>	Unter Lernförderlichkeit wird verstanden, dass der zu Beherrschung der technischen Komponenten benötigte Lernaufwand vom Benutzer bewältigt werden kann und einmal gelernte Bedienungsstrategien nicht wieder schnell aus dem Gedächtnis verschwinden.

**Tabelle 13: Kriterien der DIN EN ISO 9241-110 „Grundsätze der Dialoggestaltung“ (Quelle: BMWi, 2013)<sup>73</sup>**

<sup>73</sup> BMWi, 2013

Diese sieben Grundsätze einer interaktiven Dialoggestaltung sind, wie nachstehend beschrieben, auf die Mensch Maschinen Kommunikation von Assistenzsystemen anwendbar.

- Aufgabenangemessenheit:

Das interaktive System muss den Mitarbeiter mit einer geeigneten Funktionalität unterstützen, damit die Arbeitsaufgabe optimal erledigt werden kann. Darunter wird verstanden, dass die Ziele der Aufgaben vollständig, korrekt und mit einem vertretbaren Aufwand bei Minimierung unnötiger Interaktionen erfüllt werden.

- Selbstbeschreibungsfähigkeit:

In der Gestaltung des interaktiven Systems, muss eine jederzeitige verständliche Interaktion über Hilfen und Rückmeldungen erfolgen. Der Nutzer muss im Dialog zu jeder Zeit wissen, in welchem Betriebszustand er sich befindet, wie er hingekommen ist und auch wieder heraus kommt.

- Erwartungskonformität:

Das interaktive System gilt als erwartungskonform, wenn eine Anpassung an ein Benutzermodell stattfindet, in dem es im Dialog die Sprache und die Arbeitsgebräuche des Benutzers berücksichtigt. Diese Erwartungskonformität kann mit einer gewissen Konsistenz in der Systemgestaltung und Konventionseinhaltung erheblich verbessert werden.

- Fehlertoleranz:

Das interaktive System muss seinen Nutzer, durch klar verständliche Sicherheitsabfragen, vor Fehlern bewahren, eine gewisse Fehlertoleranz aufweisen, aber auch eine leichte Fehlerkorrektur ermöglichen. Dies bedeutet, dass ermöglicht wird, dass gemachte Fehler ohne großen Aufwand behoben werden können.

- Steuerbarkeit:

Die Steuerung des Dialogs mit dem interaktiven System muss jederzeit durch den Benutzer erfolgen können.

- Individualisierbarkeit:

Das interaktive System muss individuell an Bedürfnisse und Kenntnisse des Benutzers für die optimale Erledigung seiner Arbeitsaufgaben und gegebenen Bedingungen anpassbar sein.

- Lernförderlichkeit:

Ein interaktives System soll eine Anleitung und Unterstützung für den Nutzer, durch Verwendung geeigneter Metapher ermöglichen, die eine minimale Erlernzeit für seinen Umgang sichert und nicht wieder vergessen wird.

#### **4.4.4 Anforderungen an die Funktionalitäten von Assistenzsystemen**

Da jedes Assistenzsystem eine spezielle Anwendung darstellt und je nach Einsatz eigens zu konfigurieren ist, sind auch die funktionalen Anforderungen an die Gestaltung von Assistenzsystemen auf eine situationsbedingte Spezifikation abgestimmt. Unter der Funktionalität als ein wesentliches qualitatives Merkmal dieser Systeme wird verstanden, ob alle geforderten Anforderungen implementiert und ausführbar sind. Dies wiederum erfordert die Bedingungen und Wünsche nach nutzerseitiger funktionaler, sowie technisch funktionaler Betrachtungsweise zu unterscheiden.

Diese beiden Unterteilungen sind nachfolgend allgemeiner formuliert und können gegebenenfalls auf ein jeweiliges Assistenzsystem angewandt werden.

##### **4.4.4.1 Nutzerseitig funktionale Anforderungen**

Die nutzerseitig funktionalen Anforderungen an Assistenzsysteme ergeben sich aus der Bedarfsanalyse eines zu planenden oder realisierten Arbeitssystems unter Abwägung individueller menschlicher Bedürfnisse und Fähigkeiten. Im Software und IT Bereich sind die Anforderungen unter C-Requirement (Customer Requirement) mit jenen, in einem Lastenheft beschriebenen, vergleichbar.

Um eine reibungsfreie Unterstützung und Entlastung im Arbeitsprozess zu erhalten, gilt es das technische Umfeld dem Mitarbeiter optimal anzupassen. Durch eine klare Verantwortungsteilung der Aufgaben und Zuständigkeiten zwischen Assistenzsystem und Nutzer, sowie einer alternsgerechten Gestaltung der Benutzerschnittstelle wird eine reibungslose Interaktion ermöglicht. Durch eine Zuordnung der Kompetenz im Arbeitssystem werden technische und menschliche Fehler auf ein Minimum reduziert und die Sicherheit und Effektivität des Gesamtsystems verbessert.

Aus der Sicht des Mitarbeiters werden funktionale Gestaltungsanforderungen aus dem Human Engineering (Analyse menschlicher Bedürfnisse und Fähigkeiten im arbeitswissenschaftlichen Kontext) an die Assistenzsysteme gestellt. Human Engineering umfasst die Gestaltung von Arbeitsplätzen oder Verbesserung von Hard- und Software um Nutzer und Maschine besser aufeinander abzustimmen, damit die Leistungen der Mitarbeiter gesteigert werden. Alternsgerechte Gestaltung und das menschliche Verhalten gehören mehr dem Bereich des Human Factor zugeordnet. Human Factor, auch menschliche Einflussgröße, kennzeichnet als Sammelbegriff

psychische, kognitive und soziale Einflussfaktoren im Mensch Maschinen Kontext (vgl. Abschnitt 3.5.1.2).

Zu den nutzerseitig funktionalen Anforderungen zählen die:

- Arbeitsplatzgestaltung:

Die ergonomische Arbeitsgestaltung ist durch Richtlinien, Normen und Verordnungen geregelt. Beispielhaft sei hier die Norm „Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen“ DIN EN ISO 6385:2004 angeführt. Für einen optimalen funktionalen Einsatz von Assistenzsystemen in dem der Mitarbeiter im Mittelpunkt des Arbeitssystems steht, gelten für die nutzerorientierten Anforderungen der Arbeitsplatzgestaltung, die nachstehenden Bereiche aus ergonomischer Sicht zu hinterfragen:

- Kinematische Überlegungen (Bewegungslehre) den Arbeitsraum, die Körperhaltung und daraus resultierende Gelenkstellungen betreffend
- Dynamik (Lehre der Kräfte) bezüglich der Aktionskräfte und der muskuläre Belastung
- repetitive Tätigkeiten
- Belastungen mit mentalem Anforderungscharakter

Methoden aus dem Lean- oder TQM (Total Quality Management, z.B. 5S) werden in diesem Zusammenhang nicht näher betrachtet.

- Ergonomische Betriebsmittelgestaltung:

Für portable digitale virtuelle Assistenzsysteme (z.B. Tablets, Hand Held, ...) gelten Eigenschaften der Handhabung wie Tragekomfort und Handlichkeit optimal an den Benutzer abzustimmen, um eine bestmögliche Nutzerakzeptanz zu erzielen.

- Technische Betriebsmittelgestaltung:

Durch eine geeignete technische Spezifikationen für Anzeigen, graphische Darstellung (z.B. Auflösung), Tracking, Bedienelemente, Bedienung (benutzerfreundliche Bedienbarkeit) und Interaktionsfähigkeit wird diese Gestaltung festgelegt und eine optimale Informationsaufnahme und -verarbeitung gewährleistet.

- Altersgerechte Anforderungen:

Hier steht eine Nutzerakzeptanz im Fordergrund der Überlegungen. Es gilt die individuellen psychischen und kognitiven Leistungen und Fähigkeiten der älte-

ren Nutzer, wie deren Leistungs- und Fähigkeitsgrenzen bei der Betrachtung der funktionellen Bedingungen an die Assistenzsysteme in den Mittelpunkt zu rücken. Unter den altersgerechten Anforderungen digitaler Systeme gilt vorrangig eine individuell den kognitiven Fähigkeiten des Nutzers angepasste wahrnehmungsseitige Informationsdarstellung. Grundsätzliche funktionale Anforderungen an das Arbeitssystem aus altersgerechter Sicht ergeben sich aus der Gestaltung von alter(n)sgerechten Arbeitssystemen von Abschnitt 3.5. Weiters können bei einer altersgerechten Gestaltungsanforderung auch extrinsische (aus einem Handlungsergebnis) und intrinsische (wegen einem inneren Anreiz) Motivationsansätze für den Nutzer einfließen.

#### 4.4.4.2 Technisch funktionale Anforderungen

Technisch funktionale Anforderungen an die digitalen Assistenzsysteme ergeben sich aus dem spezifischen Aufbau des jeweiligen Arbeitssystems, dem allgemeinen Aufbau eines MR Systems und der Schnittstellen der zugeordneten Komponenten. Sie resultieren einerseits aus den nutzerseitig funktionalen Anforderungen und sind andererseits eng mit diesen verbunden. Nachdem jeder Einsatzfall einzeln zu betrachten ist, sind aus technischer Perspektive die einzusetzenden Komponenten, die Hard- und Software und die jeweiligen Schnittstellen an die Anforderungen der spezifischen Anwendung zu konfigurieren. Aus diesem Zweck muss auf die Grundkonfiguration virtueller Systeme allgemein, aber näher eingegangen werden.

Die Komponenten eines Virtual Reality (VR) Systems sind neben dem Benutzer eine VR Architektur und eine Datenbank (Abb. 29).

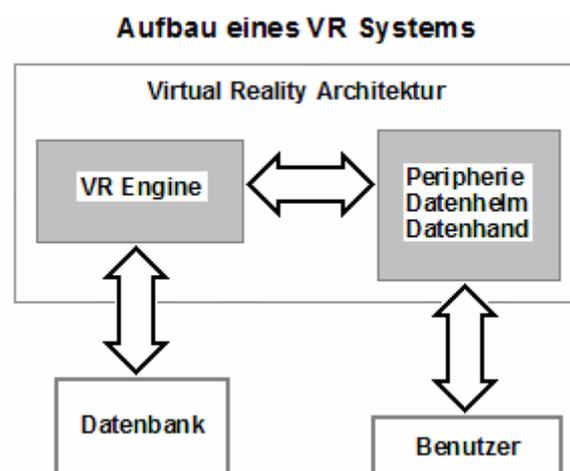


Abb. 29: Komponenten eines Virtual Reality Systems

Eine VR Architektur besteht aus einem Hochleistungsrechner (VR Engine) mit einer entsprechenden Software und einer Peripherie aus der die Steuerbefehle eingehen. Eine VR Engine besteht im Grunde aus einer Bibliothek von Funktionen, die zur Darstellung virtueller Realität benutzt werden. Der Nutzer kann über Datenhandschuhe,

Datenhelme oder andere Eingabekomponenten als Peripheriegeräte das VR System steuern. Die erteilten Befehle greifen auf eine Datenbank für die entsprechende Aufgabe zu und diese werden in Echtzeit umgesetzt, wodurch sich die virtuelle Umgebung augenblicklich ändert.

Während VR Systeme in der Praxis seit längerem erforscht und eingesetzt werden, zeigen AR Systeme noch großes Potential. Auch im Aufbau eines AR System ist der Nutzer Teil der Umwelt mit einer akustischen, haptischen und visuellen Benutzerschnittstelle zur Interaktion mit dem System. Die Justierung (Kalibrierung) der AR Systemkomponenten für Anzeige, den Sensoren zur Erfassung der Umgebung und der Bewegung des Benutzers (Tracking) und die Anordnung der realen und virtuellen Objekte in der Umgebung des Benutzers (Registrierung), sowie einem Datenspeicher für das Weltmodell der AR Anwendung (Datenbank) stellen weitere wesentliche Komponenten dar<sup>74</sup>. Bedeutend für das AR System sind die Subsysteme für Tracking, Registrierung und die See Trough Anzeigegeräte.

Der Vergleich von Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) zeigen in Eigenschaften und in der Leistungsfähigkeit wie der Umgebungseinbildung, der Tragbarkeit, der Rechenleistung, der Grafikdarstellung, Tracking, sowie Registrierung und Erfassung wesentliche Unterschiede<sup>75</sup>.

- Umgebungseinbildung:

Virtual Reality ist von seiner Umgebung komplett unabhängig, da das Umfeld indem sich der Nutzer bewegen kann künstlich erschaffen wird. Reine Virtualität ist im Gegensatz zu AR Systemen umweltunabhängig einsetzbar, da es keine Verknüpfung mit der Außenwelt gibt. Zweitens sind an eine reale Umgebung, mit der sie referenzieren und an die sie sich anpassen müssen, gebunden. Diese Voraussetzungen gelten für In- und Outdoor Anwendungen.

- Tragbarkeit:

Während die VR stationär meist an einem bestimmten Anwendungsplatz stattfinden, sollte der Benutzer von Augmented Reality Systemen in seiner Bewegungsfreiheit nicht eingeschränkt werden. Dies erfordert kleine, leichte und tragbare Komponenten um in einer realen Umgebung agieren zu können.

- Rechenleistung:

Da VR eine vollständig virtuelle Umgebung kreiert, werden eine hohe Rechenleistung und eine hoch auflösende und möglichst fotorealistische Grafik benötigt. AR stellt nur einzelne Objekte oder Grafiken und schriftlichen Informatio-

---

<sup>74</sup> Hamelmann St., 2006

<sup>75</sup> Azuma R.T., 2001

nen mittels Einblendungen dar. Dementsprechend geringer sind die Anforderungen an den Rechner.

- **Grafikdarstellung:**

Um eine möglichst realistische Darstellung der Umgebung zu erhalten müssen die eingesetzten Komponenten in VR Systemen im Speziellen die Displays aufgrund der Auflösung und Farbvielfalt den höchsten Ansprüchen entsprechen. Je nach Anwendung bei einfarbiger Darstellungsmöglichkeit, bei Strichgraphiken oder auch Textinformationen genügen in einem Optical See Through Systems (Halbdurchlässige Brille) einfachere Komponenten. Werden die Aufgaben an das AR System komplexer, sind die Systemanforderungen an das Equipment (Ausrüstung) mit jenen an das VR System vergleichbar.

- **Tracking:**

Da kein Abgleich mit der Realität bei VR Systemen stattfindet und der Benutzer eines solchen Systems sich auch sehr wenig bewegt, muss die Bestimmung der Lage und Orientierung des Systems nicht sehr genau sein. AR Systeme hingegen müssen optimal orientiert sein, da sie mit ihrer Umwelt verbunden sind. Ein genaues Trackingsystem liefert Lage und Orientierung des Head Mounted Display (HMD), damit die Informationen und Grafiken zielgerichtet eingespielt werden können. Die Trackingsysteme basieren auf einer mechanischen, elektromagnetischen, akustischen oder optischen Positionsbestimmung des Nutzers (vgl. Abschnitt 4.5.1.2).

- **Registrierung und Erfassung:**

Das VR System ist ein abgeschlossenes System, das keinen Bezug zu Umgebung herstellen muss. Bei AR Systemen ist durch die Einbindung realer zu erfassender Objekte in digitale Bilder insbesondere bei Bewegungen im Raum eine genaue Referenzierung und Registrierung notwendig.

Durch eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten und eine entsprechende Auswahl an Displaytypen leiten sich die Anforderungen an ein MR System ab. So wird generell zwischen technischen Anforderungen und Anforderungen, die die Wahrnehmung des Nutzers betreffen unterscheiden<sup>76</sup>.

Eine Auflistung von technischen Anforderungen gliedert sich in die Systemzeit, Auflösung und Verzerrung, das Sichtfeld, die Überlagerungsgenauigkeit und gegebenenfalls die (Herstellungskosten). Letzterer Aspekt wird auch unter nichtfunktionalen Anforderungen angeführt, je nach Betrachtung ob diese funktional bedingt oder nicht sind. Die wahrnehmungsbedingten Anforderungen werden in Nutzerakzeptanz

---

<sup>76</sup> Rolland J.P. et al., 2001

und Sicherheit, eine Sichtbarkeit, die Adaption, die Projektionsdistanz, eine Schärfentiefe und Qualitätsaspekte unterteilt.

Die Anforderungen sind eng miteinander verknüpft und schwer zu trennen. Jede einzelne Komponente kann je nach Anwendung unterschiedliche funktionale Anforderungen haben. Der Aspekt für ein multimodales Bedienkonzept für intuitive Bedienung liegt bei Ein- und Ausgabegeräten. Hierbei gibt es die unterschiedlichsten Ausführungen<sup>77</sup>.

Für einen intelligenten Umgang mit großen Datenmengen der Produktion zur schnelleren und genaueren Planung und Entscheidungsfindung sind geeignete Architekturen einzusetzen. Für die Schnittstelle zur optimalen Verknüpfung des Datenmodells mit den erforderlichen Informationsquellen gibt es Einschränkungen aufgrund der unterschiedlichen Datenquellen. Auch die zusammenhängende echtzeitbasierte Darstellung der kontextsensitiven gefilterten Informationen und der entsprechenden Algorithmus für die Auswertung sind näher zu spezifizieren. Hierbei gilt es speziell Zugriffsrechte und Sicherheitsaspekte genau festzulegen. Die in einem Pflichtenheft beschriebenen Anforderungen fallen im Software und IT Bereich unter D-Requirement (Development Requirement).

Zusammenfassend werden als grundsätzliche Ziele für den Einsatz eines digitalen Assistenzsystems die Bereitstellung von Informationen, die Unterstützung des Qualitätsmanagements, die Erfassung prozessrelevanter Daten, sowie die Vermeidung von Fehlern, ohne Verzögerungen im Ablauf zu verursachen genannt. Weiters liegen die Systemforderungen in der Reduktion der Durchlaufzeiten von Entwicklungs- und Produktionsplanung zur schnelleren Bereitstellung bzw. Anpassung von Produkten und das Liefern eines Beitrags um Produktions- und Logistikprozesse kostengünstiger, flexibler und produktiver, sowie energie- und ressourceneffizienter weiterzuentwickeln.

#### **4.4.5 Nichtfunktionale Anforderungen an Assistenzsysteme**

Während funktionale Anforderungen je nach Anwendung verschieden bewertet werden, gibt es für nichtfunktionale Anforderungen grundsätzliche Bedingungen an ein Assistenzsystem.

Aus der betriebsspezifischen Konstellation heraus ist für jedes Unternehmen relevant, dass das Assistenzsystem eine notwendige Resistenz und Robustheit gegenüber Umgebungseinflüssen wie Hitze, Staub und Verschmutzung aufweist. Aufgrund der technischen Bedingungen gilt es zurzeit noch keine allgemein überall einsatzfähigen Komponenten, die allen Anforderungen gerecht werden (BMBF 2014).

---

<sup>77</sup> Dörner R. et al., 2014

Grundsätzliche nichtfunktionale Anforderungen liegen in Sicherheitsanforderungen, der Betriebssicherheit und Stabilität des Systems. Dazu zählen Informationssicherheit, Datenintegrität, sowie die Vertraulichkeit und Verfügbarkeit von Daten. Die eingesetzte Software soll Offline genutzt werden, um einen Schutz vor äußerer Einflussnahme zu haben. Meist wird dies auch durch die Nutzerumgebung verlangt. Das System sollte eine Portierbarkeit oder Übertragbarkeit in Form einer Plattformunabhängigkeit aufweisen. Dazu zählen Eigenschaften wie Anpassbarkeit, Installierbarkeit, Konformität und Austauschbarkeit. Diese Merkmale drücken aus, ob die Hard- und Software auch auf anderen Assistenzsystemen einsetzbar ist. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind Termin und Kosten immer relevant und gelten als Rahmenbedingungen. Das Unterstützungssystem darf kostenmäßig einen vorab geplanten Kosten Nutzen Rahmen nicht sprengen. Gleiches gilt auch für die Realisierungsschiene.

So gelten aus soziotechnischer Sicht für die einzusetzende Hardware als wichtigste nichtfunktionalen Bedingungen:

- Zuverlässigkeit:

Zuverlässigkeit steht für Systemreife, Wiederherstellbarkeit und Fehlertoleranz und bewertet anhand von vordefinierten Testmustern die Verfügbarkeit und Korrektheit des Systems. Dabei soll das Assistenzsystem bei nicht erkannten Situationen an Stelle von falschen Informationen eine Fehlermeldung ausgeben. Dadurch wird eine Fehlinterpretation ausgeschlossen, die in Folge Probleme in Fertigung und Montage hervorrufen können. In den meisten Fällen führt dies zu Nacharbeit oder im Extremfall sogar zu Ausschuss. Auch können durch eine Systemzuverlässigkeit physische und ökologische Schäden an Mensch und Maschine vermieden werden.

- Benutzbarkeit:

Die Benutzbarkeit gilt für eine Benutzerfreundlichkeit, die sich in Verständlichkeit, Erlernbarkeit und Bedienbarkeit zeigt. Für den Nutzer des Systems muss ein einfaches intuitiv benutzbares Interface konzipiert werden, um so einen reibungsfreien Ablauf im Arbeitssystem zu erhalten. Das interaktive Assistenzsystem muss den Mitarbeiter bei der Erledigung seiner Aufgaben leicht verständlich, raschen erlernbar und mit einfacher Bedienbarkeit gut unterstützen, um die gewünschten Arbeitsgänge zu erledigen.

- Wartbarkeit:

Unter Wartbarkeit werden der Aufwand zur Ausführung von Verbesserungen, zur Fehlerbeseitigung oder Anpassung an Umgebungsveränderungen verstanden. Die Voraussetzungen für Änderbarkeit sind die Analysierbarkeit, Stabilität, Prüfbarkeit und Erweiterbarkeit des Systems. Das Assistenzsystem soll

variabel und vielseitig einsetzbar und durch Updates an neue Anforderungen anpassbar sein. Die Wartbarkeit bei Software gilt als Maß mit welchem Aufwand und Erfolg Umstellungen in einem Systemumfeld von Applikationen durchgeführt werden können<sup>78</sup>.

Dieses Maß, wie schnell und effektiv der Regelanlagenbetrieb nach Service, Release oder Ausfall wiederhergestellt werden kann wird auch als MTRS (Mean Time to Restore Service, die durchschnittliche Zeit bis zur Wiederherstellung des Service, MTTRS) bezeichnet werden und kennzeichnet die Fähigkeit, ob Wechsel oder Reparaturen einfach durchgeführt werden können.

- Effizienz:

Die Effizienz drückt das zeitliche Verhalten bei Anfragen und Bearbeitungen, sowie den Ressourcenverbrauch in Hinblick auf Speicherkapazität und Systemanforderungen aus. Bei der Implementierung einer wissensbasierten Automatisierungsmethode soll die notwendige Unabhängigkeit und Flexibilität im Betrieb erreicht werden. Der Nutzer sollte in seiner Konzentration auf seine Arbeitsaufgabe nicht abgelenkt, sowie eine Aufmerksamkeit auf das Hilffssystem sollte nicht übermäßig werden.

Im Zuge der nicht funktionalen Anforderungen seien an dieser Stelle auch noch Aussehen, Korrektheit in Form von fehlerfreien Ergebnissen und die Flexibilität bei der Unterstützung von Standards als Merkmale nicht unerwähnt.

#### **4.4.6 Chancen und Risiken der Assistenzsysteme**

Die Vorteile einer digitalen Signalverarbeitung liegen vor allem in der hohen Flexibilität gegenüber klassischen analogen Technologien und neben den zwischenzeitlich geringeren Kosten der Bauteile wegen vereinfachter Entwicklung, sowie einer hohen Integrationsdichte. Schaltungen können softwaremäßig mit Computer oder speziellen Signalprozessoren realisiert werden. So lassen sich Anpassungen auf veränderte Anforderungen der Funktionen leichter adaptieren. Komplexe Algorithmen sind im digitalen Einsatz einfach anwendbar und analog gar nicht, oder nur mit hohem Aufwand realisierbar. Bei langen Übertragungen und nach vielfacher Bearbeitung unterliegen digitale Signale einer geringeren Verfälschungen bei Überlagerungen im Vergleich zur Verarbeitung in analogen Systemen. Unter Berücksichtigung der Haltbarkeit von Datenträgern bietet die Digitalisierung eine bessere Langzeitarchivierung der Daten. Durch redundante Abspeicherung beziehungsweise Fehlerkorrekturalgorithmen können digitale Inhalte trotz oftmaliger Zugriffe den Originalqualitäten gleichwertig lesbar generiert werden. Diese wesentlichen Vorteile unterstützen zukünftige

---

<sup>78</sup> Bommer C. et al., 2008

Formen der Industrialisierung, wie sie in Industrie 4.0 und in weiterer Folge bei CPS zum Einsatz kommen.

Auf Grundlage digitaler Technologien werden zukünftig immer mehr technische Systeme eingesetzt, die Arbeitszusammenhänge verstehen, Situationen erkennen und interpretieren und sich mit anderen technischen Komponenten des Arbeitssystems vernetzen können. Das Potential von digitalen intelligenten Assistenzsystemen liegt in der Zusammenführung mobiler, lokations- und echtzeitbasierter verfügbarer Informationen, die die Fähigkeit besitzen sich kontextsensitiv dem jeweiligen Umfeld und Nutzer anzupassen, diese zu filtern und bedarfsgerecht zur Verfügung zu stellen.

Ein Zunehmen an Autonomie geht einher mit der Veränderung des Zusammenspiels von Mensch und Technik. Dabei gilt es zu hinterfragen, welche neuen Herausforderungen sich aus der Veränderung einer Mensch Maschinen Interaktion zu einer Mensch Maschinen Kooperation stellen. Wenn autonome Systeme im Sinne der Mensch Technik Interaktion so gestaltet werden, dass sie den Anforderungen des Anwendungsbereiches in Produktion, Montage oder Logistik bestmöglich gerecht, sowie effektiv und effizient im Unternehmenssinn eingesetzt werden, können diese das körperliche und geistige Leistungsvermögen, der mit diesen autonomen Systemen arbeitenden Mitarbeiter berücksichtigen und dabei sogar fördern.

So wird es wesentlich für eine erfolgreiche Implementierung eines digitalen Assistenzsystems sein, ob der Benutzer ausschließlich Instruktionen erhält oder auch durch die Anwendung Wissen generieren kann. Hierbei können bildungsferne und Mitarbeiter, die das Lernen nicht gewöhnt sind an die Bewältigung komplexer Tätigkeiten herangeführt werden. Diese Assistenzsysteme können dabei für eine arbeitsorientierte, sogar arbeitsintegrierte Kompetenzentwicklung einen wesentlichen Beitrag leisten.

Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass ungelernte wie auch erfahrene Arbeitskräfte neue Aufgaben mit visueller Unterstützung in Form von Einspielungen in Datenbrillen schneller erledigen können. Erste Analysen versprechen Steigerungen der Produktionsleistung von bis zu 30 Prozent. Für den Einsatz solcher Ausgabekomponenten müssen die Prozesse grafisch gut darstellbar sein, da unter anderem lange Texte in der Darstellung ungeeignet sind. Studien zeigen aber auch, dass Brillenträger bei mehreren parallelen Aufgaben sogar langsamer reagieren, eine höhere Fehlerquote haben und sie schneller müde sind als etwa Kollegen, die bei der Arbeit einen Tablet Computer benutzen. Die Datenbrille muss perfekt zur Aufgabe passen, sonst kann die Technologie sogar negative Effekte haben<sup>79</sup>.

In der Erweiterten Realität, ist die Zukunft eines Bedienhandbuches virtuell. Tests hätten gezeigt, dass erfahrene Praktiker mit solcher Unterstützung zwischen 30 und

---

<sup>79</sup> Grass K., 2014

40 Prozent schneller ihre Aufgaben erledigten, auch wenn sie diese vorher nicht geübt hatten. Parallel dazu sei ihre Fehleranfälligkeit gesunken<sup>80</sup>.

Für einen effizienten Einsatz intelligenter Systeme sind neben der Auswahl und Gestaltung eines geeigneten auf die Arbeitsaufgabe optimal abgestimmten Assistenzsystems und eine zielgerichtete Zusammenarbeit zwischen Technik und Mensch die Akzeptanz der Benutzer von wesentlicher Bedeutung. Dabei ist für diese soziotechnische Kooperation aus kognitiv ergonomischer Sicht eine leistungsoptimale Informationsdarstellung auf mobilen Geräten nach wie vor eine Herausforderung.

Systeme mit Displays ermöglichen eine bessere und schnellere Aufgabenbewältigung als Head Mounted Displays (HMD), haben aber den Nachteil, dass bei mobilen Geräten freihändiges Arbeiten eingeschränkt ist. Der Einsatz von HMD Technologien in der Industrie hat neben subjektiven Gesichtspunkten wie eingeschränktes Sichtfeld, Brillengewicht und Rutschsicherheit technische Probleme wegen den geringen Akkulaufzeiten. Durch das Eigengewicht eines HMD auf dem Kopf oder bei der Verwendung von monokularen Geräten, könnten bei langzeitigem Tragen langfristige gesundheitliche Beeinträchtigungen hervorgerufen werden<sup>81</sup>. So müssen in diesem Zusammenhang Gesundheits- und Arbeitsschutzrichtlinien durch den Einsatz berücksichtigt werden. Das Tragen von Head Mounted Displays führt durch die fehlende Eigenwahrnehmung und Wahrnehmung der Umwelt zu Unsicherheit. Ein kooperatives Arbeiten ist daher nur beschränkt möglich.

Das Zusammenspiel des Blickfeldes, die Größe des Displays, die Schärfe der Darstellung und die Verzögerung bei den Einblendungen können bei schlechter Abstimmung für den Nutzer zu Kopfschmerzen, Schwindel und Übelkeit führen. Einerseits widersprechen sich vestibuläre (Lagesinn) und visuelle Wahrnehmung, da schon geringfügige Latenzen (Verzögerungszeit) zwischen Kopfbewegung und Bildreaktion zu widersprüchliche Bewegungsinformationen für den Träger eines HMDs führen, sowie bei Projektionssystemen mit mehreren Betrachtern nur einer getrackt wird und dieser sich womöglich auch noch bewegt. Andererseits kommt es zu divergierendem Verhalten bezüglich den okulomotorischen Tiefenkriterien, da durch Akkomodation des Auges der Fokus immer auf das Display gerichtet ist, es hingegen zu einer Konvergenz (Eindrehen) der Augen auf das virtuelle Objekt vor oder hinter der Projektionsscheibe kommt. Diese beiden Gründe führen zu genannten Reaktionen, die als Cyber Sickness bezeichnet wird.

Damit in einem Arbeitssystem dem Mitarbeiter die für ihn relevanten Informationen personalisiert zugänglich sind, muss ein aktuelles Nutzerprofil verfügbar sein. Hierbei stellt sich die kritische Frage nach dem Aspekt des persönlichen Datenschutzes unter rechtlich ethnischen Gesichtspunkten. Die Bezeichnung nach dem gläsernen Mit-

---

<sup>80</sup> Hartbrich I., 2014

<sup>81</sup> BAuA, 2011

arbeiter liegt nahe, wenn die Leistungsfähigkeit, individuelle Kompetenzen und arbeitsbezogene Lernfortschritte transparent gemacht werden können. Aus diesem Grund sind geeignete Verschlüsselungsmaßnahmen unerlässlich. Hier sei auf das Datenschutzgesetz 2000 (DSG 2000), BGBl. I Nr. 165/1999 in der geltenden Fassung verwiesen. Es ist dies das geltende österreichische Datenschutzgesetz und ist die wichtigste Rechtsvorschrift zum Datenschutz in Österreich<sup>82</sup>.

Die Akzeptanz neuartiger Technologien ist problematisch und hängt stark von persönlichen Affinitäten der Arbeitskräfte, aber auch von Hemmnissen seitens der Unternehmensführung ab. Beides stellt eine häufig unterschätzte Herausforderung bei Umsetzungsproblemen automatisierter Hilfssysteme dar<sup>83</sup>.

Die technischen Informationen über einen aktuellen Systemzustand müssen von der Automatisierungstechnik erfasst und vom Nutzer verstanden werden um Fehler oder Optimierungspotentiale zu erkennen. Intelligente Assistenzsysteme dienen hierbei dem Anwender die immer komplexer werdenden Informationen zu interpretieren und dadurch besser nutzbar machen zu können. Durch dieses Verstecken der Systemkomplexibilität bekommen die Nutzer eine abstraktere menschenzentrierte Sicht auf das Arbeitssystem. In der Produktionstechnik bietet sich ein wichtiges Anwendungsgebiet für intelligente oder kognitive technische Systeme. Dabei fehlt es aber noch an einer notwendigen Einstufung und Kategorisierung der in der Automation benötigten kognitiven Fähigkeiten, sowie einer zugeordneten Abbildung auf entsprechende Herausforderungen und Anwendungen.

Eine weitere spezielle Problematik der menschlichen Leistungsfähigkeit, liegt in der Leistungsrücknahme bei Unterforderung. In automatisierten Systemen und autonomen Umwelten hat der Mitarbeiter meist nur Kontroll- und Überwachungstätigkeiten. Der Mensch muss nur noch in den Arbeitsprozess eingreifen, wenn eine Fehlermeldung auftaucht oder das Arbeitssystem zum Erliegen kommt. In dieser Situation operativ und korrigierend einzugreifen ist schwierig, weil auf Grund der Komplexität der Systeme es nicht einfach ist den Überblick über die aktuelle Situation zu haben. Einerseits wurde die Ausgangslage nicht durch den Mitarbeiter herbeigeführt, andererseits ist diese schnell zu analysieren um Handlungsoptionen abzuleiten. Die grundsätzliche menschliche Fähigkeit automatisierte Prozesse in seiner Systemumgebung ganzheitlich zu verstehen nimmt ab, je weniger aktiv in die Systemsteuerung eingegriffen wird<sup>84</sup>. Umso mehr wird der Mitarbeiter gefordert, trotz Hilfssystemen seiner Tätigkeit gegenüber automatisierten Systemen nachzugehen.

Kritisch ist auch der exzessive Gebrauch von Visualisierung im geschlossenen Raum zu hinterfragen. Bei Lern – und insbesondere Trainingsprogrammen, wenn die Simu-

---

<sup>82</sup> DSG 2000, 2013

<sup>83</sup> Hacker W. et al., 1993

<sup>84</sup> BMWi, 2014

lation zur Hauptsache und das Simulierte an den Rand gedrängt wird, sich das Hilfsystem verselbständigt und der Computer zur Schöpfungsmaschine (Spielkonsolen) wird, tritt die Virtualität als Ersatzwelt an Stelle der realen Welt und kann im Extremfall zu kollektivem Realitätsverlust bis zum Extrem eines gesellschaftlichen Autismus führen. Der Preis für neu gewonnene Möglichkeiten durch Virtualität sind der Verlust von vorhandener Redundanz und die Erosion menschlicher Fähigkeiten durch den Verlust der unmittelbaren Erfahrungen. Zu den Kritikpunkten zählen auch die Verletzlichkeit der Informationsgesellschaft<sup>85</sup> und eine Vielzahl an ungenützter und unnützer Information aus dem System.

Bleiben die Einwände im technischen Zusammenhang und bei einer realitätsnahen Einsatzsituation, können die Chancen und Risiken visueller Systeme global beschrieben werden.

Die Vorteile und Chancen bei digitalen Assistenzsystemen liegen im Technikeinsatz bei der Reduktion und Vermeidung von Fehlern. Dies führt zu einer Erhöhung der Prozess- und Produktqualität, was sich letztendlich in der Verbesserung der Effizienz und Produktivität niederschlägt. Die Verbesserung der Ergonomie sowie die Erhöhung der Arbeitssicherheit erhöhen die Akzeptanz von Erneuerungen im Arbeitsprozess bei den Mitarbeitern und so kommt es durch die technische Hilfestellung digitaler Assistenzsysteme zu einer Vereinfachung der Variantenbeherrschung und einer Beschleunigung der Einarbeitungsprozesse.

Gleichermaßen muss auch auf die Nachteile und Risiken hingewiesen werden. Es gibt noch keine einheitlichen Standards und daher eine mangelnde Kompatibilität bei verschiedenen Assistenzsystemen, die zumeist unterschiedliche Hersteller haben. Die hohe Abhängigkeit von der Informationstechnik beschert einen erhöhten Betreuungs- und Pflegeaufwand, sowie durch die spezifischen Einsatzbereiche eine geringe Anwendungsflexibilität. Die Problematik der fehlenden Akzeptanz neuer Technologien durch die Beschäftigten wird durch einen persönliche Weiterbildungsaufwand verstärkt und neben technischen Umsetzungsproblemen beeinflussen insbesondere altersbedingte Nutzerfaktoren, die Bereitschaft mit Assistenz Technologie umgehen zu können und zu wollen. Diese speziellen Kritikpunkte ermöglichen neue Forschungsbereiche und es wird sich zeigen, dass die Systeme in der Automatisierung in Zukunft sich selbstständig vernetzen, diagnostizieren und optimal anpassen müssen. Es gibt zwischenzeitlich genug Teil-, jedoch noch keine ganzheitlichen Lösungen in der Automation.

Obwohl intelligente Assistenzsysteme die Arbeitskräfte unterstützen, gilt es die Systemkomplexität in der Automatisierung zu beherrschen, da die Anforderungen aus der Produktionstechnik und die IKT Integration steigen. Ansonsten werden durch hö-

---

<sup>85</sup> Roßnagel A. et al., 1990

here Belastungen die Beschäftigten von wertschöpfenden Tätigkeiten abgehalten, womit die Arbeitseffektivität wieder sinkt. Es bedarf noch vielen Details um die zunehmende Komplexität der Automatisierungssysteme vollends beherrschbar zu machen.

## **4.5 Praktischer Einsatz von digitalen Assistenzsystemen**

Nachdem Anwendungen digitaler Assistenz mit virtuellen Abbildungen in Arbeitssystemen in hohem Maß individuell sind, stellen diese in den meisten Fällen einen Prototyp dar. In diesem Zusammenhang muss auf den Aufbau eines solchen Assistenzsystems näher eingegangen werden.

### **4.5.1 Aufbau digitaler Assistenzsysteme**

Wie im Abschnitt der technischen Anforderungen ausführlicher beschrieben unterscheiden sich digitale, Virtual Reality und Augmented Reality Systeme im Aufbau und den einzelnen Komponenten. Nachdem reine virtuelle Anwendungen ihre praktische Umsetzung in Unternehmen im Wesentlichen im Planungs-, Simulations-, Trainingsbereich und Marketing finden, ist für die Unterstützung und Kontrolle in Fertigung und Montage eine Überlagerung realer Umwelt mit virtuellen Informationen (erweiterte Realität) von wesentlicher Bedeutung. Zur Realisierung von virtueller Assistenz im technischen betrieblichen Umfeld sind je nach Art der Anwendung, Ausprägung und Umsetzung verschiedenste technische Hardware- und Softwarekomponenten erforderlich, die in effizienter Weise zusammenarbeiten müssen. Um eine Beurteilung der einzelnen Komponenten vornehmen zu können, bedarf es einer Beschreibung der wichtigsten Bestandteile eines Mixed Reality (MR), insbesondere eines AR System (ARS). Nachstehend werden die Eingabe-, Verarbeitungs- und Ausgabesystemkomponenten ausführlicher betrachtet.

#### **4.5.1.1 Eingabekomponenten**

- Kameras:

Zu den gängigen optischen Eingabekomponenten zählen Webcams, Fernsehkameras, Head Mounted Kameras ebenso wie die Nutzung jener Kameras, die in Tablet PCs und Mobiltelefonen verbaut sind. Diese fototechnischen Komponenten zeichnen statische oder bewegte Bilder meist auf einem digitalen Speichermedium auf, um diese über eine geeignete Schnittstelle an die Verarbeitungskomponenten weiter zu übermitteln.

- Sensoren:

Ein Sensor oder Messwertaufnehmer ist ein technisches Bauteil, das bestimmte Eigenschaften und gegebenenfalls die stoffliche Beschaffenheit qualitativ oder als Messgröße quantitativ in seinem Umfeld aufnehmen kann. Diese Größen werden über physikalische oder chemische Effekte erfasst und in ein weiterverarbeitbares Signal umgeformt, indem die Eingangsgröße in eine elektrische Spannung gewandelt und in eine feste Relation zu dieser gesetzt wird. Dabei wird das Signal skaliert, um dieses für die weitere Verarbeitung interpretierbar zu machen. Die Umwandlung von physikalischen in elektrische Größen kann über induktive, kapazitive, piezoelektrische, magnetische, feldstärkegesteuerte, radioaktive, ladungstechnische oder photoelektrische Wandlern erfolgen. Die Sensoren werden in mechanische für Position, Annäherung, Kraft, sowie Druck und nichtmechanische Sensoren für Temperatur, Licht, Magnetfeld, kapazitive und chemische Sensoren unterteilt. Zusätzlich können über Dehnungsmessstreifen, kapazitive Abstandsmessung, induktive Längenmessung oder über Widerstandspotentiometer Positionsmessung erfolgen. Annäherungsmessungen können über Radarbewegungsmelder, Infrarot-, Ultraschallsensoren oder Kameradifferenzbilder ausgeführt werden. Bei den Temperatursensoren werden Kalt-, sowie Heißleiter, RTD Elemente, Thermoelementen und Pyrosensoren eingesetzt.

- Mechanische Eingabegeräte:

Zu den wesentlichsten mechanischen Bedienelementen der Mensch Maschinen Interaktion zählen Keyboard, Maus und Touchscreen zur Steuerung von Anwendungen. Eingabegeräte wie Datenhandschuhe zum Tracking von Fingerbewegungen, sowie haptische Interaktionskonzepte mit Force Feedback Technologien sind für Augmented Reality Anwendungen geeignet und zeichnen sich durch eine bessere Bedienerführung aus. Letztere erhöhen die Sicherheit und erleichtern die Programmierung und Benützung von Assistenzrobotern.

- Akustische Eingabegeräte:

Mit Mikrofon kann eine akustische Eingabe und Steuerung von Anwendungen durch Laute oder Sprache erfolgen. Die Akustik bietet die direkteste Art des Informationstransportes an. Dies gestaltet sich jedoch nicht so einfach die Facetten der menschlichen Sprache zu erkennen und in einem System nachzubilden.

### 4.5.1.2 Verarbeitungskomponenten

Das Herzstück eines MR Systems bildet die Software mit den geeigneten Modulen für die technische Umsetzung der inhärenten digitalen Anwendung. Dabei stellen die nachstehenden Komponenten jene Hauptbestandteile dar, die bei den technisch funktionalen Anforderungen an Assistenzsysteme behandelt wurde.

- Tracking Komponente (Infrastructure Tracker Unit):

Diese elementare Komponente misst Position, sowie Orientierung des Benutzers und bestimmt die Relation der Computergraphik zum Umgebungsbild. Es gibt dafür optische, sowie nicht optische Verfahren, die technologisch in drei Möglichkeiten eingeteilt werden.

Bei einem optischen Verfahren besteht ein solches System meist aus mehreren Kameras, die Bilder von der Position von Markierungen aufnehmen. Aus der relativen Positionierung der Kameras zueinander kann man die räumliche Position der Markierungen und damit die des Benutzers berechnen (Outside In Tracking). Beim Inside Out Tracking kann auch eine Kamera am Benutzer direkt (Kopf) oder indirekt (Hand Held, Tablet) angebracht werden, die sich dann an festen Markierungen am Objekt im Raum orientiert. Head Tracking nennt sich eine Technik in der Datenhelme, mit entsprechenden Sensoren ausgerüstet, Kopfbewegungen in 3D Steuerbefehle umsetzen kann, damit eine Darstellung der Bewegung kontinuierlich folgt.

- Markerbasiertes optisches Tracking:

Beim optischen Tracking mit Markern erkennt eine Kamera ein physisches Muster (Marker). Es werden dabei aktive (ein Transponder emittiert ein Signal) oder passive Marker an den zu erfassenden Objekten angebracht. Durch Verfolgen der Bewegungen der physischen Muster in den einzelnen Kamerabildern kann mittels Triangulation (geometrische Methode der optischen Abstandsmessung durch genaue Winkelmessung innerhalb von Dreiecken) die Position der Marker dreidimensional berechnet werden. Der von der Kamera erkannte Marker, kann auch im Bereich von Augmented Reality Anwendungen mit einer virtuellen Graphik überblendet werden. Der Vorteil liegt in einer relativ schnellen und zuverlässigen Technologie, wobei der Nachteil im sinnvollen Anbringen von Markern liegt.

- Markerloses optisches Tracking:

Über Mustererkennung in der Bildverarbeitung ist es möglich markerlos zu tracken. Stereoskopische Verfahren erkennen Objekte aus der Triangulation verschiedener Kamerapositionen. Ein Tracking ohne Marker ist auch

über Silhouettenttracking realisierbar. Darunter werden Systeme verstanden, die eine 3D Bewegungserfassung auf Basis von Umrissen generieren können. Dabei wird ein virtuelles Modell verwendet und über bildverarbeitende Algorithmen die Silhouette aus dem Raum extrahiert, um Positionen zu erfassen.

- Nicht optisches Tracking der Kamera:

Zum Einsatz kommen je nach Anwendung elektromagnetische, Ultraschall, Infrarot oder mechanische Tracking Komponenten. Je nach Einsatz sind diese Anwendungen schnell und präzise, wobei zusätzliche Systeme kleiner Arbeitsraum und Störeinflüsse individuell negative Auswirkungen haben können.

Tracking	Vorteil:	Nachteil:
<i>Elektromagnetisch</i>	schnell, kostengünstig, durchdringt	kein Metall, Störfelder
<i>Ultraschall</i>	schnell, kostengünstig	bei Verdeckungen
<i>Infrarot (optisch)</i>	sehr schnell	hohe Kosten, Verdeckung
<i>Mechanisch (mit Taster)</i>	sehr schnell, kostengünstig	kleiner Arbeitsraum, Einschränkung des Benutzers

**Tabelle 14: Tracking Komponententechnologie**

Zur Messung von Bewegung (vgl. Tabelle 12) werden, aus Silicium gefertigte piezoelektrischer Beschleunigungssensoren verwendet, welche die von der veränderten Bewegung verursachten Druckschwankungen in elektrische Signale umwandeln.

- Registrierungs Komponente (Processing Unit)
- Darstellungs Komponente (Visual Unit)

Die Funktionsweise und das Zusammenspiel dieser Softwarekomponenten, auch mit den über Schnittstellen angebotenen Systemteilen, wie Sensoren, Interaktionskomponenten (Ein-/Ausgangsgeräte), Datenbanken und Fremdsysteme sind Teil dieser zentralen Systemkomponente. Weitere wesentliche Systembestandteile stellen die angebotenen Datenbanken zur Bereitstellung virtueller Inhalte, sowie weiteren Informationen und die Plattform mit der dazu erforderlichen Rechenleistung dar. Auf dieser wird die Software ausgeführt und gegebenenfalls werden dort noch weitere Komponenten wie Display, Kamera und Sensoren zur Verfügung gestellt.

### 4.5.1.3 Ausgabekomponenten

Die wichtigsten technisch genutzten Ausgabekomponenten beschränken sich auf eine haptische, akustische und visuelle Wahrnehmung der zur Verfügung gestellten Informationen aus dem Assistenzsystem. Unter der haptischen Wahrnehmung im Bereich der Assistenzsysteme wird nur die Oberflächensensibilität, die Wahrnehmung von Reizen über in der Haut, verstanden. Während die akustische Ausgabe über Lautsprechen oder Headset (Sprechgarnitur, eine Kombination aus Kopfhörer und Mikrofon) gelöst wird, gilt die Hauptaufmerksamkeit den unterschiedlichsten Darstellungsmöglichkeiten durch visuelle Ausgabegeräte.

- Haptische Ausgabegeräte:

Bei Betrachtungen haptischer Sensorik und taktile (passiv, durch Berührung) Wahrnehmungen werden die Reize über die Haut durch Druck, Berührung, sowie Vibrationen, aber auch Temperatur und Schmerz empfunden. Meist werden die Anwendungen über piezoelektrische Effekte und Vibrationen gelöst und kommen im Wearable Bereich zum Einsatz. Wearable Computing (tragbare Datenverarbeitung) beschäftigt sich mit tragbaren Computersystemen in Arbeitssystemen, die während einer Assistenzanwendung am Körper des Benutzers befestigt und eine durch den Computer unterstützte Tätigkeit im realen Umfeld darstellen.

- Akustische Ausgabegeräte:

Als akustische Ausgabegeräte kommen vorrangig Lautsprecher und Anwendungen mit Kopfhörer zum Einsatz. Die Sprache für eine Ausgabe nachzubilden erfolgt über die Wiedergabe aufgenommener Sequenzen, bei denen die auditive Wahrnehmung realistisch und kontextbezogen klingt. Dabei lassen sich nur begrenzte Aussagen zusammenstellen. Eine weitere Variation bietet die synthetische Erstellung von Sprache. Diese Form bietet ein breites Spektrum an Phrasen, wobei die Sprachgenerierung weniger natürlich klingt und dadurch anstrengender für den Benutzer erscheint.

Neben den haptischen und klassischen akustischen Ausgabekomponenten gibt es mehrere Arten der visuellen Darstellung von Informationen bei der optischen Wahrnehmung. Die Technologien der visuellen Ausgabemöglichkeiten, die zur Darstellung von virtuellen und Augmented Reality Inhalten zum Einsatz kommen, können grob in Klassen je nach Art der Wiedergabe der Ausgabekomponente eingeteilt werden.

- Gewöhnliche Wahrnehmung:

Bei Anwendungen mit konventionellen Bildschirmen (Abb. 30) und bei projizierten Inhalten wird von gewöhnlicher Wahrnehmung gesprochen.

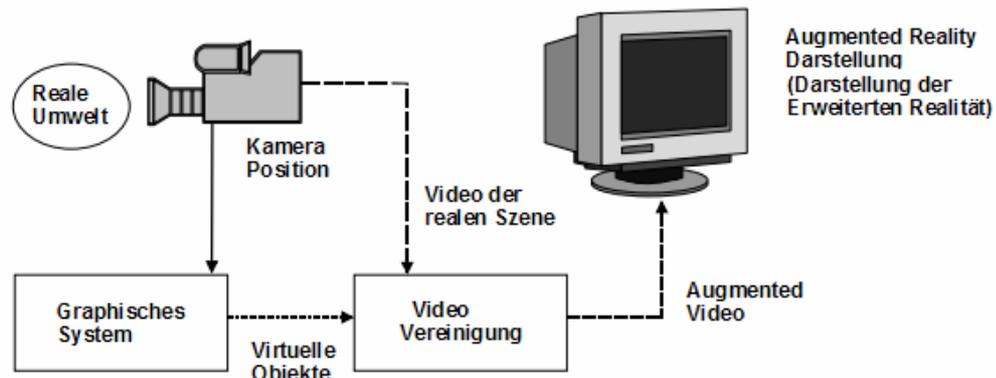


Abb. 30: Augmented Reality Darstellung am Bildschirm (Quelle: Vallino 1998)<sup>86</sup>

In einem geeigneten Arbeitssystem kann eine Informationsbereitstellung für relevante Arbeitsanweisungen (Texte, Bilder, Videos) auch mittels Projektion, basierend auf Laser oder LCD Technik, direkt im Arbeitsbereich an der dafür vorgesehenen Stelle erfolgen. Durch eine Kombination von einem leistungsstarken Projektor und einer spezifischen Software ist es möglich, alle notwendigen Informationen, oder Vereinfachungen von Anleitungen auf den Arbeitsplatz zu projizieren.

- Video See Through Displays:

In dieser Anwendung (Abb. 31) wird ein Videostream der realen Welt mit überlagerten virtuellen Inhalten in einem undurchsichtigen Display wiedergegeben. Neben dem Vorteil einer einfachen und konsistenten Augmentierung (Erweiterung) steht eine Einschränkung der Sicht mit meist mäßiger Auflösung.

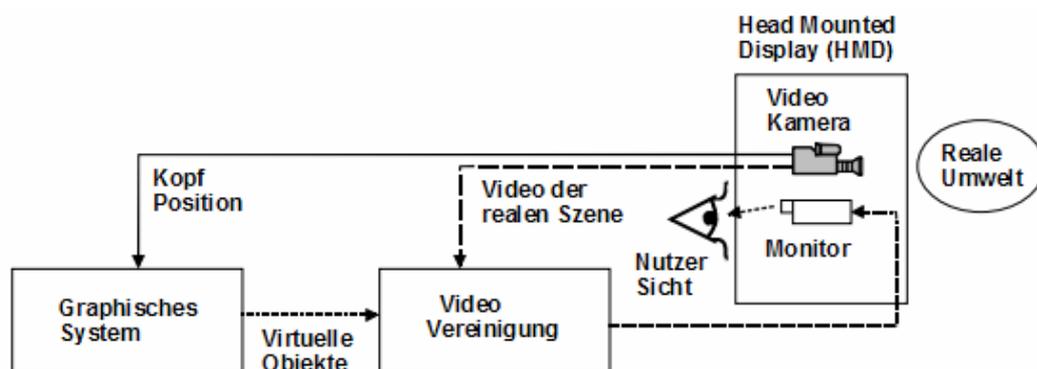


Abb. 31: Video See Through AR Display (Quelle: Vallino 1998)

In Arbeitssystemen der Fertigung und Montage sind solche Anwendungen nicht geeignet.

<sup>86</sup> Vallino J.R., 1998

- Optical See Through Displays:

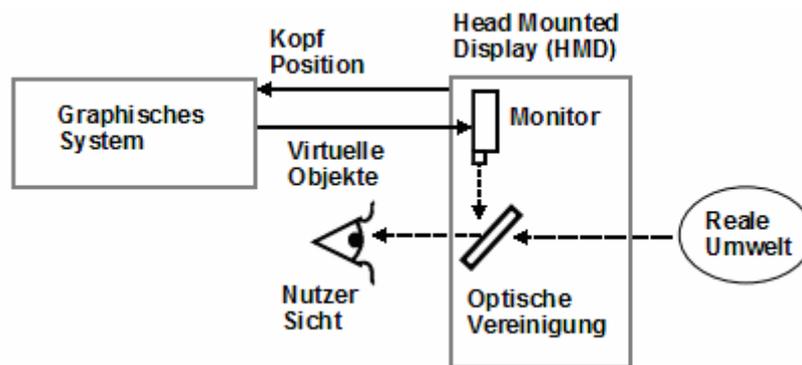


Abb. 32: Optical See Through AR Display (Quelle: Vallino 1998)

Im Gegensatz zu den Video See Through Displays werden hier die virtuellen Inhalte in das Sichtfeld des Betrachters über Halbdurchlässige- oder Retinal Displays eingeblendet (Abb. 32). Durch die natürliche Auflösung und die unverzögerte reale Sicht bei großem Sichtwinkel fühlt sich der Nutzer sicherer. Die Referenzierung des Auges im Brillen Umwelt Kontext fällt gerade älteren Benutzern schwieriger (Exaktheit und Latenz).

Allgemein stehen als Ausgabekomponenten für den Einsatz bei Mixed Reality Anwendungen unterschiedliche elektronische Informationsdisplays (EID) zur Verfügung. Dazu zählen:

- Stationäre elektronische Informationsdisplays:
  - Konventioneller Bildschirm:

Zur Wiedergabe bei der Datenausgabe können gewöhnliche Monitore, Tablet PCs, Touchscreens, sowie Bildschirme von Mobiltelefonen zum Einsatz kommen.
  - Computermonitore
  - Projektionswände
  - Workbench
- Produktintegrierte elektronische Informationsdisplays:
  - Head-up Display:

Dabei wird die Datenausgabe und Wiedergabe von Informationen unmittelbar in das Sichtfeld des Nutzers projiziert.

- Spatial Augmented Reality (SAR):

Durch neuartige Visualisierungskonzepte, in der Inhalte projiziert und die reale Welt überlagert wird, wird eine optische Interaktion erreicht. Im Bereich SAR wird mittels virtueller Lichtschranken oder projizierter Schaltflächen, ein einfacheres, intuitiveres Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine ermöglicht.
- Automaten Touchscreens
- Textildisplays
- Benutzerintegrierte elektronische Informationsdisplays:
  - Hand Held Display (HHD):

Ein Handheld bzw. Handgerät ist ein tragbares, elektronisches Gerät mit Stromversorgung über Akkus oder Batterien für unterschiedliche Anwendungen. Es ist so klein und leicht, dass es bei der Benutzung in nur einer Hand gehalten werden kann. Die wichtigsten Anwendungen liegen im Smartphone und Tablet PCs.
  - Body Worn Armband- und Kleidungsdisplays:

Unter tragbarer Technologie<sup>87</sup> werden am Körper getragene Sensoren bezeichnet, die es ermöglichen, Auskunft über einen allgemeiner Zustand oder die Gesundheit einer Einzelperson zu erhalten. Im Einsatz mit persönlichen digitalen Assistenzsystemen können ältere Menschen aktiv und unabhängig bleiben, während ihr allgemeiner Zustand und die Gesundheit überwacht werden. Die Forschung zeigt, dass intelligente Uhren, Smart Brille und Körpersensoren für persönliche Gesundheit, sowie Fitnessprodukte auf mittlere Sicht ein großes Potenzial haben. Der Großteil des Wachstums wird durch intelligente Uhren und Smart Gläser angetrieben.
  - Datenbrille (Smart Glasses):

Mit Datenbrillen können dem Benutzer in einer Augmented Reality Anwendung Informationen ins Sichtfeld eingeblendet und die wahrgenommene Realität überlagert werden. Dabei werden Systeme mit einer Art tragbaren Bildschirm, indem digitale Inhalte von einem Computer extern eingespielt und Peripheriegeräte mit eigener Rechenleistung unterschieden. Die Möglichkeiten und Funktionen der Datenbrille hängen von Kamera, Display und Prozessor, sowie von der eingesetzten Software ab und können mit Händen und Augen gesteuert werden.

---

<sup>87</sup> Barfield W., 2015

- Head Mounted Display (HMD), Videobrille (VR Brille):

Bei HMDs und VR Brillen handelt es sich um am Kopf getragene Displays oder einem Helm mit Display bei Virtual Reality Anwendungen, wo die Informationen auch in stereoskopischer Darstellung möglich, immer im Sichtfeld des Nutzers liegt. Dabei besteht auch die Möglichkeit der Integration zusätzlicher Technologie zur Benutzerzustandserfassung. Die Arbeitsplätze, in denen Anwendungsbereiche von Datenbrillen möglich sind unterscheiden sich weitgehend von den klassischen Arbeitsplätzen. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit Datenbrillen in den Geltungsbereich der aktuellen, gültigen Verordnung für Bildschirmarbeitsplätze (BildscharbV) fallen<sup>88</sup>.

Aus technologischer Sicht wird zwischen kopfbasierten Okulare Head Mounted Displays und Virtual Retinal Displays (VRD) differenziert. Virtuelle Netzhautanzeigen, so genannte Virtual Retinal Displays (Abb. 33) kommen in Head Mounted Displays, sowie in Videobrillen und Datenbrillen zum Einsatz. Diese Smart Wearables nutzen eine Projektionstechnik, in der über Optiken, Spiegeln oder Prismen ein Rasterbild direkt auf der Netzhaut des Betrachters erzeugt wird. Der Rasterstrahl, der von Leuchtdioden oder einem Laser generiert wird, erzeugt aus den Primärfarben Rot, Grün und Blau (RGB) ein Projektionsbild in additiver Farbmischung, welches über die reale Wahrnehmung gelegt wird. Dabei entsteht für den Systemnutzer der Eindruck, dass die eingeblendeten Informationen in einigen Meter Entfernung ist.

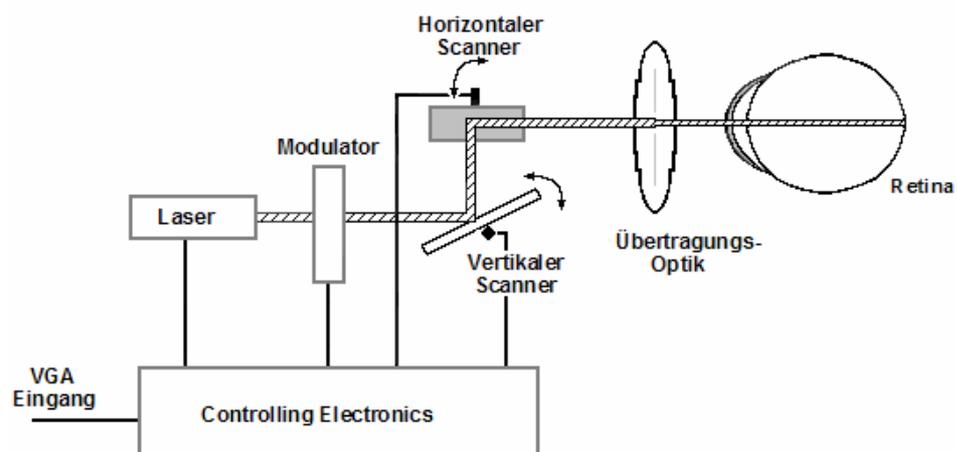


Abb. 33: Virtual Retinal Display (VRD)

<sup>88</sup> BAuA, 2012

- Retinale Datenbrille:

Bei einer retinalen Datenbrille existiert kein Display, da die Informationen und Inhalte direkt auf die Retina projiziert werden. Mittels Laser werden Bildinformationen über die Modulation der Intensität des Lasers, dessen Auflösung von seiner Strahlcharakteristik abhängt, übertragen. Über zwei Spiegel wird der Laser zeilen- und spaltenweise abgelenkt und durch eine Projektionslinse auf die Netzhaut projiziert. Bei Verwendung eines einzelnen Lasers kann nur ein monochromatisches (typischerweise rot schwarzes) Bild auf der Netzhaut erzeugt werden. Neben einer kompakten Bauform, einem geringen Stromverbrauch und daher gut geeignet für den mobilen Einsatz zeigt die Anwendung eine gute Erkennbarkeit der eingeblendeten Informationen auch bei hellem Tageslicht. Obwohl auch die Tiefenschärfe unabhängig vom Pupillendurchmesser ist, stellt wohl das größte Problem die massiv negative Akzeptanz bei den Benutzern dar.

- Eye Tap:

Ein Eye Tap funktioniert wie ein HMD, ist jedoch dem Monokel ähnlich, das vor dem Auge getragen wird und vereint die Funktionen einer Kamera und eines Displays. Bei dieser innovativen Technik wird die virtuelle Anreicherung direkt in die Lichtstrahlen des Bildes gespielt, das der Betrachter sieht. Reale und virtuelle Information verschmelzen hier zu einer neuen Realität, die nicht mehr über den Umweg eines Displays dargestellt wird.

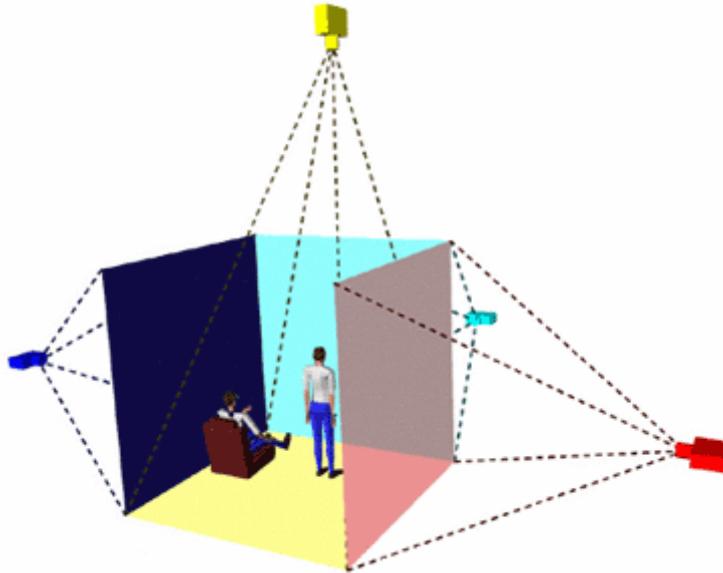
- Kontaktlinse mit Display (Bionic Contact Lens):

Biometrische Kontaktlinsen sind nach dem Prinzip ähnlich einer Datenbrille aufgebaut. Dabei erfolgt die Wiedergabe von Informationen jedoch unmittelbar über die LED Anzeige auf der Kontaktlinse.

#### **4.5.1.4 Cave Automatic Virtual Environment (CAVE)**

Im Zusammenhang mit in Unternehmen genutzten virtuellen Anwendungen sei an dieser Stelle noch auf eine spezielle großräumige Assistenz, die ihre Anwendung im Planungs- und Simulationsbereich findet, dem CAVE (Abb. 34) hingewiesen. Der Begriff Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) bezeichnet eine abgegrenzte Konstruktion zur Projektion der automatisierten virtuellen Realität in einem dreidimensionalen Illusionsraum. In einer interaktiven virtuellen Umgebung (Virtual Environment) wird durch Computersimulation und non-visuelle Darstellungsmöglichkeiten, wie auditive und haptische Elemente der Eindruck eines Ortswechsels in eine synthetische Umgebung simuliert. Das CAVE Virtual Reality System stellt eine andere Möglichkeit neben dem Head Mounted Displays dar, um den Betrachter und Nut-

zer in eine künstliche Welt eintauchen zu lassen. Eine solche Anwendung eines VR System ist vielseitig nutzbar.



**Abb. 34: Prinzipskizze einer CAVE Umgebung**

Im CAD Bereich können Ingenieure mit der CAVE Technologie über größere Distanzen an virtuellen Konstruktionen arbeiten. Hierbei werden zunehmend Systeme eingesetzt, die den Entwicklern Zugänglichkeiten und arbeitswissenschaftliche Ermittlungen über das spätere Aussehen von Arbeitssystemen und Produkten vermitteln sollen. In diesen Systemen können sich bis zu fünf Personen aufhalten, wobei das Tracking sich jeweils auf eine bestimmte Person bezieht. Um bautypische Verzerrungen und Reflexionen, die an Kanten und Wänden auftreten können zu vermeiden, wurde ein zylindrisches 270 Grad Projektionssystem die I-CONE entwickelt. Diese bietet eine verbesserte Raumnutzung bei etwa demselben Platzverbrauch und so finden bis zu siebenmal so viele Benutzer Platz. Die I-CONE eignet sich daher auch sehr gut für Vorführungen.

## 4.5.2 Einsatzbereiche und Anwendungen digitaler Assistenzsysteme

### 4.5.2.1 Einsatzbereiche digitaler Assistenzsysteme

Die Anwendungen digitaler Assistenz, wie z.B. Augmented Reality, die den Menschen im Betrieb bei der Ausführung seiner Tätigkeiten kognitiv unterstützen sind vielfältig und liegen in folgenden Bereichen.

- Entwicklung, technisches Design und Architektur:

Augmented Reality eröffnet im Engineering Bereich die Möglichkeit, das Ergebnis digitaler Planung mit der Geometrie realer Prototypen oder Gegenstände in Relation zu bringen und abzugleichen.

Auch ist es Unternehmen möglich ihre Produktentwürfe in einem AR System ohne das Anfertigen von teuren Modellen zu zeigen. Unter Zuhilfenahme von Augmented Reality Technologie erhalten die Kunden einen dreidimensionalen Anblick auf Konstruktionen oder zukünftige Produkte. Dabei kann jeder Teilnehmer in Echtzeit mit dem neuen Produkt in Interaktion treten. So können Designer, die nicht am gleichen Ort sein müssen, sondern mittels Konferenzschaltung verbunden sind, bestimmte Bereiche des neuen Produktes markieren und ändern. Sowohl der Techniker als auch der Kunde kann nunmehr schneller seine Vorstellungen für Änderungen und Wünsche am Modell einbringen und das Objekt so verbessern. Dies ermöglicht Unternehmen die Entwicklungskosten zu senken und die Entwicklungszeit zu verkürzen.

Mit AR Systemen ist es möglich Arbeitssysteme neu zu gestalten. Dazu wird einzig ein Video der räumlichen Gegebenheiten von verschiedenen Blickpunkten aus gefilmt benötigt. Gleiches gilt auch für die architektonischen Themen, bei denen Kunden die Inneneinrichtung von Eigenheimen vorab anzusehen wollen, oder diese Häuser ausbauen und neu gestalten möchten. AR Anwendungen finden ihren Einsatzbereich ebenso im Generieren vergangener oder zukünftiger Architektur.

- Edutainment:

Bei Mixed Reality Anwendungen wird unter Edutainment eine Form des unterhaltsamen Lernens für Trainings- und Lernanwendungen verstanden. Solche Systeme können einerseits in darstellender Form oder in der der Benutzer Teil der Umgebung ist, gestaltet werden. Neben HMD werden im Trainings- und Ausbildungsbereich Systeme verwendet, bei denen sich die Nutzer und Auszubildenden in einer CAVE bewegen um Situationen und Gegebenheiten zu simulieren (z.B. Fahr- und Flugsimulatoren, NASA Reparatursimulation, ...).

Dabei ist es auch möglich mit computergesteuerten Figuren in Interaktion zu treten.

- Medizin:

Einer der wichtigsten und zukunftsreichsten Bereiche von Augmented Reality Systemen stellt die medizinische Verwendung dar. Beginnend bei Bewegungsanalysen über Operationsunterstützung durch Überlagerung von CT-/MRT-Daten bis zu bildgeführten Operationen ist der Einsatz möglich. In der Vergangenheit hat die bildliche Darstellung des Menschen und seiner Organe eine lange Tradition in der Medizin. Beginnend mit händisch angefertigten Skizzen bis hin zu Röntgenstrahlen sowie modernen digitalen Methoden, wie der Computer-Tomographie (CT) und der Magnetresonanztomographie (MRT). Es ist integraler Bestandteil medizinischer Arbeit, die menschliche Anatomie sowie deren Anomalien darzustellen. Durch diese modernen Visualisierungsmethoden wurde es nicht nur möglich, Erkrankungen besser zu erkennen, sich intensiver über ihre Art und ihren Verlauf auszutauschen, sondern diese auch adäquat zu behandeln. In der medizinischen Forschung nutzen Wissenschaftler CAVEs für eine Fülle an Projekten im Sinne des innovativen Bereichs „Digital Health“.

- Unterhaltung, Marketing:

Stand der Technik sind die Augmented Reality Anwendungen im Fernsehen, wobei hier als eines der bekanntesten Beispiele die Wetterberichterstattung angeführt werden kann. Ein Moderator steht im Studio vor einer „Blue Box“ und die Zuseher erkennen jegliche eingeblendete Bilder und Spezialeffekte anstelle der blauen Wand. Neben der Wetterberichterstattung, bei der eine Computergraphik von der Wetterkarte hinter dem Sprecher eingeblendet wird, können alle Farben, Szenen und Formen oder auch eine Laufschrift im Börsenbericht mit den aktuellen Kursen als Einspielung kommt. Dasselbe gibt es in der Berichterstattung bei der optische Darlegung von taktischen Analysen oder des Bewegungsablaufes im Sportbereich. In vielen Übertragungen bewegt sich der Vortragende in einem CAVE um eine realere Darstellung der Situation zu generieren.

Es gibt sehr viele dieser Anwendungen bis zu virtuellen Spielen in sämtlichen Variationen. Nicht unerwähnt soll die langjährige Nutzung von Mixed Reality Technologien in der Filmindustrie bleiben. Aber auch die Werbeindustrie nützt für personenbezogene Unterstützung bei Entscheidungen, wie beispielsweise einen Schmink-, Kleidungs-, oder Brillenkonfigurator vermehrt den Einsatz von AR Systemen. Immer mehr Präsentationsmöglichkeiten eröffnen sich mit virtueller Technologie. Dazu zählt die gesamte Bandbreite von virtueller Anprobe

mit AR, Augmentierte Verpackung bei Spielzeugbausteinhersteller bis zur Designgestaltung für den Kunden.

- Militär
- Produktion (Fertigung und Montage)
- Instandhaltung, Wartung und Service
- Logistik, Kommissionierung

#### 4.5.2.2 Anwendungen in Fertigung und Montage

- Produktion (Fertigung und Montage):

Augmented Reality bietet dem Nutzer die Möglichkeit große komplexe Arbeitsabläufe im Fertigungs- und Montageprozess flüssig abzuarbeiten. Damit Abläufe fehlerfrei durchgeführt werden, der Mitarbeiter sieht welche Teile wo platziert werden müssen, werden diese in einzelnen Schritten digital und virtuell vorgezeigt. So kann die Arbeitsgeschwindigkeit und Effizienz erhöht werden.

Augmented Reality Anwendungen unterstützen bei Montage- und Justierarbeiten<sup>89</sup> virtuell und prüfen optisch. Dabei ersetzen digitale Assistenzsysteme mit AR Technologie Konstruktionszeichnungen oder Screenshots (Bildschirmfoto) von Bauplänen. So können Monteure während eines Arbeitsprozess in Echtzeit angeleitet und Arbeitsergebnisse überprüft werden. Bei einer optischen Unterstützung in der Montage wird die Realsituation mit virtuellen Bauplänen überlagert und auf einem Bildschirm dargestellt. Dadurch erfährt der Mitarbeiter welches Bauteil in der optimalen Reihenfolge wie montiert werden muss. Durch die Individualisierung und Komplexität der Produkte ist eine automatische Prüfung von Anwesenheit, Richtigkeit und Position beim Zusammenbau nicht einfach. Daher werden diese Schritte meist manuell durchgeführt, wobei Fehler in späterer Folge teuer und zu Stillstandszeiten, sowie Nacharbeit führen können. Ein optisches Prüfsystem<sup>90</sup> gleicht anhand von digitalen Vorlagen den Zusammenbau der Produkte ab. Dazu werden die Vorgaben aus den 3D-fähigen Konstruktionsmodellen in Bilder umgewandelt, die das System anschließend mit realen Aufnahmen vergleicht. Dieses Prüfsystem ist auch für komplexeste Montageanleitungen einsetzbar. Dabei werden mit einer Vielzahl von Kameras reale Bilder der Anbauteilen aus verschiedenen Blickrichtungen gemacht und anschließend mit den virtuellen Daten (Foto aus den CAD Da-

---

<sup>89</sup> Berndt D. et al., 2012

<sup>90</sup> Sauer S., 2014

ten) verglichen. Beim Abgleich werden Abweichungen sofort sichtbar und können korrigiert werden.

Ein neues Assistenzsystem zur prozessintegrierten Unterstützung der Montagemitarbeiter<sup>91</sup> hilft bei der Montage mittels Projektion auf die Arbeitsfläche, an welchen Positionen Bauteile zusammengefügt werden müssen und identifiziert zusätzlich Fehler. Es besteht eine direkte Interaktionsmöglichkeit des Mitarbeiters während der Arbeit mit dem System um Hinweise und Fehlermeldungen eingeben zu können. Durch die Eingabemöglichkeit ist eine Lernfähigkeit gegeben, bei der im Ablauf Fehlerquellen im Montageprozess aufgedeckt und eliminiert werden können. Mittels Kamera werden die Arbeitsschritte, die bei der Montage zu berücksichtigen sind aufgezeichnet, gegebenenfalls nachbearbeitet und durch neue Instruktionen wieder freigegeben. Auch können die Mitarbeiter selbst Anleitungen in das Assistenzsystem ohne Programmierung eingeben. Da dieses System über Projektoren arbeitet, ist es auch in feuchter Umgebung einsetzbar.

Als ein strategisches Forschungsprojekt wurde bei einem renommierten Motorenhersteller ein virtueller Assistent im Bereich Assembling (Zusammenbau) entwickelt. Dieser soll die Effizienz steigern, Fehler verhindern und die Arbeitskräfte in der Produktion entlasten und unterstützen. Das System muss in jedem Fall adaptiv einsetzbar und lernfähig sein. Es lernt durch Beobachtung und Analyse und ist dadurch imstande, neue Montagereihenfolgen zu errechnen und diese auch den Werkern vorzuschlagen. Kameras erkennen Bewegungen und analysieren mit Toleranz über die richtige Montage von Lager-schalen. Das System kontrolliert den korrekten Ablauf und zeigt mit (roten/gelben/grünen) Signalen gegebenenfalls Fehler auf.

- Instandhaltung, Wartung und Service:

Mit AR Systemen sehen Techniker sofort wo, welcher Systemzustand vorliegt und welche Teile defekt sind oder fehlen. Bei schwierigen Reparaturen oder Wartungsarbeiten bietet die Mischung aus realer Umgebung mit virtuellen Handlungsanweisungen einen deutlichen Fortschritt in Sachen Qualität und Geschwindigkeit. Durch einen virtuellen Röntgenblick können Bauteile und Strukturen im Inneren von Anlagen oder Maschinen sichtbar gemacht werden. Zusätzlich lassen sich hierbei einzelne Bezeichnungen, Vorschriften sowie Zustände einblenden oder gegebenenfalls hilfreiche Animationen auf die Bauteile projizieren. Es können einzelne Wartungsschritte und Instandhaltungsabläufe angezeigt werden, damit der Benutzer wichtige Schritte nicht übersieht und diese letztendlich gar vergessen werden. Monteure warten und reparie-

---

<sup>91</sup> Beste D., 2014

ren, indem im Schaltplan oder in der Bedienungsanleitung verzeichnete Informationen und Arbeitsanweisungen in das reale Umfeld eingeblendet werden. Es besteht also die Möglichkeit, Fehler schneller zu finden und korrekt zu beheben.

In einer Industrieanwendung bestimmt beispielsweise ein videobasiertes Ortungssystem die korrekte Position von Bildprojektor und Betrachter relativ zum Gegenstand. Über ein Projektorbild lassen sich damit computergenerierte Informationen zu Schulungszwecken von Servicemitarbeitern exakt in die reale Umgebung einbetten.

- Logistik, Kommissionierung:

Bei immer größerer Komplexität und kürzeren Durchlaufzeiten in der Auftragsabwicklung müssen zukünftig manuelle Kommissionier- und Montagetätigkeiten vermehrt fehlerfrei und verlässlich durchgeführt werden. Kommissionierfehler können eine Vielzahl negativer Auswirkungen hervorrufen und sind ein oftmals unterschätzter Kostenfaktor. Dazu werden neue Unterstützungsmöglichkeiten entwickelt. Digitale Assistenzsysteme stellen in diesem Zusammenhang mit ihren Anwendungen einen erfolgs- und zukunftssträchtigen Ansatz zur Anleitung, Unterstützung und Kontrolle von manuellen Prozessen dar.

Eine Anwendung eines AR basierten Assistenzsystems zeigt im Aufbau und Funktionsweise eine variabel einstellbare Assistenzeinheit mit Projektoren, Infrarotkameras, einer höhenverstellbaren Waage und einem Touchscreen Display. Am Monitor wird ein Kommissionierauftrag ausgewählt und der Nutzer kann mit der Zusammenstellung beginnen. Durch eine adaptive und an die Nutzerbedürfnisse angepasste Anleitung wird eine Variabilität in der Kommissionierung geboten. Personenbezogenen Daten (vgl. Abschnitt 4.4.6), die bisher in Kommissionierprozessen verursachten Fehler und benötigten Zeiten können zur Einstufung einer jeweiligen Anleitungsstufe dienen. Die Entnahme von einzelnen Positionen oder ganzen Behältern wird über einen Projektor mit Lichtsignalen angeleitet. Durch diese Anzeigen werden notwendige und anleitende Informationen direkt in den Arbeitsbereich projiziert. Die Kontrolle der korrekten Entnahmeposition und -menge erfolgt über eine Infrarotkamera und eine Waage. Nach erfolgreicher Kommissionierung einer Auftragsposition werden auf dem Monitor nachfolgende Ablagepositionen und Verschiebeprozesse aufgezeigt und angeleitet.

Basierend auf der Augmented Reality Technologie wird im Bereich des manuellen Kommissionierens zur Unterstützung an weiteren unterschiedlichen Bereitstellungen der erforderlichen Informationen gearbeitet. Die Assistenz kann

in Form eines technischen Hilfsmittels über ein Head Mounted Displays erfolgen<sup>92</sup>.

Bei dem Einsatz von Datenbrillen ist die Akzeptanz der Nutzer von entscheidender Bedeutung. Bei einer Anwendung<sup>93</sup> erwies sich ein monokulares Virtual Retinal Display, das das Bild mit einem schwachen Laser direkt auf die Netzhaut projiziert, als beste Lösung.

Durch das Tragen des Assistenzsystems sind die Hände des Mitarbeiters für Tätigkeiten frei und es eignet sich daher vor allem für konventionelle Kommissioniersysteme bei dem die Nutzer zu Ware gehen, aber auch zur Kommissionierung entlang einer Regalzeile oder an stationären Arbeitsplätzen. Die Einsatzszenarien und Auswirkungen auf den Kommissionierprozess ändern sich gegenüber anderen beleglosen Kommissioniersystemen durch den Einsatz von Augmented Reality nicht. Die Interaktion solcher Systeme erfolgt über Sprachsteuerung oder über Quittieren mittels Bedienknöpfen. Ein meist optisches Trackingsystem garantiert eine lagerichtige Darstellung der virtuellen Information im Raum.

Forschungsaktivitäten<sup>94</sup> zeigen den Einfluss von Augmented Reality mittels einer Datenbrille zur Fehlererkennung und -vermeidung. In wissenschaftlichen Untersuchungen<sup>95</sup> wurden die Potenziale der Verbesserung in der Kommissionierung aufgezeigt, da die Fehlerquote reduziert wird, der mentale Aufwand gering ist und Kommissionierzeiten optimiert wurden. Ohne Kenntnisse der Auswirkungen von langzeitigem Tragen einer Datenbrille (vgl. Abschnitt 4.4.6) zeichnet sich die AR Anwendung durch eine sehr steile Lernkurve aus.

In den Anwendungen werden über geeignete Displays (Bildschirme, Datenbrillen) dem Kommissionierer die notwendigen Daten (Lagerort, Artikel, Position, Stückzahl) und Stand der Auftragsbearbeitung in zeitlicher Abhängigkeit positionsgenau übermittelt. Über eine Funkverbindung mit dem Lagerverwaltungsrechner ist bei mobilen Kommissioniersystemen die Auftragsbearbeitung mittels kontextabhängiger Darstellung mit nichtkongruenter Überlagerung visuell im Blickfeld des Benutzers gewährleistet. Eine Interaktionmöglichkeit mit dem Assistenzsystem kann über ein Touchpad auf einem mobilen PC, einem Scanner oder akustisch erfolgen.

Auf der grundlegenden Charakteristik von AR Systemen<sup>96</sup>, der Kombination von realen und virtueller Umwelt, einer Interaktivität in Echtzeit und einem 3D

---

<sup>92</sup> Schwerdtfeger B. et al., 2011

<sup>93</sup> Günthner W. A. et al., 2009

<sup>94</sup> Günthner W. A. et al., 2012

<sup>95</sup> TUM, Lehrstuhl fml

<sup>96</sup> Azuma R.T., 1997

Zusammenhang der realen und virtuellen Objekte kann hier von reinen Einsatz digitaler Assistenzsysteme gesprochen werden.

Ein Unternehmen hat nach mehrmonatiger Pilotphase mit dem Serieneinsatz einer 3D Datenbrille für die Kommissionierung in der Werklogistik begonnen. Die Nutzervorteile der Augmented Reality Anwendung zeigen sich dadurch, dass beide Hände zum Arbeiten frei bleiben und alle notwendigen Informationen über Entnahmeplatz, sowie zugehöriger Teilenummer eingeblendet werden können. Touch- und Sprachbedienung ermöglichen eine einfache Interaktion. Die Kamera der Brille dient zudem als Barcode Scanner, die Strichcodes lesen und dem Träger Teilenummern, Lagerinformationen oder Arbeitsschritte direkt in sein Sichtfeld einspielen kann. Bei der richtige Entnahmen werden Bauteile färbig (Rot – falsch, Grün – richtig) dargestellt und gekennzeichnet. Diese Maßnahme erhöht weiter die Prozesssicherheit in der Produktion.

## **4.6 Gestaltung digitaler Assistenzsysteme im Fertigungs- und Montageprozess unter dem Aspekt „alter(n)sgerechter Arbeitssysteme“**

### **4.6.1 Allgemeine Bereiche der Gestaltung**

Da die Bevölkerung in den westlichen Industriestaaten altert und abnimmt führt dies zwangsläufig zu einem Mangel an Fachkräften, sodass Mitarbeiter länger am Arbeitsleben teilnehmen müssen. Dazu muss die Arbeitsteilung neu organisiert werden, da sich die Wertschöpfungsprozesse verändern. In einer hochflexiblen Produktion stehen autonome Systeme mit technischen Objekten im Mittelpunkt, die eine bestimmte Intelligenz besitzen, indem sie eigenständig verschiedene Analyse-, Verarbeitungs-, Entscheidungs- oder auch Ausführungsvorgänge durchführen. Durch den vermehrten Einsatz von technischen Komponenten, die im Arbeitssystem Informationen aufnehmen und interpretieren können, Arbeitszusammenhänge verstehen und sich mit anderen technischen Objekten und Systemen vernetzen können, kommt es durch die gewonnene Autonomie zu einer veränderten Situation im soziotechnischen Arbeitssystem beim Zusammenspiel von Mensch und Maschine.

Für einen methodischen Aufbau der Ermittlung und Evaluierung der notwendigen Gestaltungsrichtlinien für digitale Assistenzsysteme in Fertigung und Montage sind drei zentrale Themenbereiche zu hinterfragen.

- **Arbeitsorganisation:**

Bei der Gestaltung der Arbeitsorganisation, den Betriebs- und Arbeitsgruppen gelten die Regeln aus der Arbeits- und Organisationslehre (Macro Ergono-

mics). So ist ein betreffendes Assistenzsystem im Arbeitssystem insbesondere in der Fertigung und Montage nutzeroptimal einzusetzen. Dabei gilt es zu betrachten, wie und unter welcher Flexibilität das System in die Arbeitsorganisation integriert wird, sowie welche Auswirkungen hinsichtlich der Arbeitsinhalte, Aufgaben und Verantwortungsbereiche für den Benutzer zu erwarten sind. Sowohl im Sinne einer günstigen Arbeitsorganisation als auch im Hinblick auf das körperliche und geistige Leistungsvermögen des Nutzers und dessen Entwicklung ergeben sich Gestaltungsanforderungen an die autonomen Systeme.

Auch sollten für die Richtlinien der Arbeits(system)gestaltung mit dem Assistenzsystem geeignete Maßnahmen einer ergonomischen Gestaltung des Arbeitsplatzes, in regelmäßigen Belastungswechseln, bei neuen Tätigkeiten mit weniger alterskritischen Belastungen, in der Erweiterung von Handlungsspielräumen, eine weniger beanspruchende Arbeitszeitgestaltung ermöglicht werden. Hierbei ist auch auf die Ausarbeitung des dritten Abschnitts verwiesen.

- Prozess:

Im Bereich der Informatik wird der softwaregesteuerte Vorgang der Informationsverarbeitung als Prozess bezeichnet. Den technischen Prozess in digitalen Assistenzsystemen kennzeichnet die Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen, durch die Informationen umgeformt, transportiert oder gespeichert werden. Der Prozess kommuniziert mit seiner Umwelt mittels Sensoren, die die Umgebung erkennen und Aktoren, welche die Umgebung verändern. Um den spezifischen Vorgang effizient beschreiben zu können, ist es wichtig das erwartete Ergebnis exakt zu beschreiben und in weiterer Folge die wichtigsten Schritte bis zum Prozesseingang zu definieren. Weiters gilt es auch Fragen über das Aussehen der Entwicklungs- und Gestaltungsprozesse in diesen Systemen und welche methodischen Hilfsmittel es gibt, die es erlauben, Fragen der Mensch Technik Interaktion im Entwicklungs- und Gestaltungsprozess effektiv und effizient zu adressieren zu ermitteln. Jede der Anwendungen stellt in der Praxis einen Prototyp dar, umso wichtiger erscheint es, die Systemabläufe exakt zu beschreiben. Der Prozess stellt einen allgemein gültigen Ablauf sicher, wie das digitale Assistenzsystem seinen Anforderungen gerecht wird. Bei der Nutzung des Assistenzsystems werden aus den Sensoren Eingangsdaten, die die Realsituation beschreiben, benötigt. Diese führen durch definierte Verarbeitungsschritte und unter Zuhilfenahme von Kontrollprogrammen zum gewünschten Endergebnis, das definierten Anforderungen unterliegen soll. Für jede spezifische Anwendung müssen die prozessrelevanten notwendigen Anforderungen eigens definiert werden. Die Ziele

können die Unterstützung, Anleitung für Kommissionierung oder Wartung, vorgeschlagene Montageablaufabfolge oder ähnlich sein.

Zur Software des Assistenzsystems gehört ein spezifisches Programm als eine Folge von Anweisungen. Unter der gesamten Software ist die fertige Anwendung, die zusätzliche Ressourcen wie Betriebssystem, Datenbanken, Grafik- und Audiodateien umfasst, gemeint. Algorithmen steuern in Form von Computerprogrammen und elektronischen Schaltkreisen die Anwendung. Diese sind meist konkret auf das Assistenzsystem zugeschnitten. Hierbei gilt es Unterprogramme als Bausteine zu entwickeln, damit für zukünftige Einsätze aus dann bereits bestehenden Programmbibliotheken bei Anwendungen auf Module zugegriffen und eingesetzt werden kann. In Spezifikationen und Dokumentationen können die Algorithmen in Programmablaufplänen nach DIN 66001 (oder ISO 5807) grafisch dargestellt werden.

Eine weitere prozess- und softwaretechnische Abhandlung der Thematik ist nicht Bestandteil der wissenschaftlichen Arbeit.

- Produkt:

Die Gestaltungsperspektiven aus der Ergonomie (Micro Ergonomics) legen die Regeln für die technische Gestaltung von Arbeitsplätzen und Arbeitsmitteln fest. Beginnend mit einer Analyse der Aufgabenstellung wird diese in zwei Bereiche unterteilt. Aufgaben mit überwiegend physischem Anforderungscharakter werden in statische und dynamische körperlicher Arbeit gegliedert, deren Belastungen beiderseits durch Angabe der physikalischen Leistungsanforderung quantifiziert werden kann. Für Aufgaben mit überwiegend mentalem Anforderungscharakter besteht kein allgemeines Konzept, die Belastung zahlenmäßig zu definieren. Eine geistige Arbeit wird im Allgemeinen als Belastungsfaktor behandelt. In der Praxis sind Aufgaben mit gemischtem Anforderungscharakter am meisten verbreitet. Unter Berücksichtigung der Arbeitsumwelt erfolgt eine Analyse des Mensch Maschine Systems. Diese kann einerseits in Hinblick einer antropometrischen Arbeitsplatzgestaltung und andererseits hinsichtlich einer Systemergonomie (Informationsfluss im System) erfolgen. Die geometrische Auslegung des Arbeitsplatzes und der Arbeitsmittel bezieht sich auf den Seh-, Greif- und Fußraum, sowie auf Körperunterstützungen. Dabei setzen sinnesphysiologische Fähigkeiten ebenso Grenzen, wie auch eine mit dem Alter abnehmende Bewegungsgenauigkeit der Extremitäten. Computerprogramme unterstützen mit geometrischen Menschmodellen, basierend auf einer Perzentilierung der einzelnen Körpermaße, wesentlich bei komplexen Gestaltungen von Arbeitssystemen.

Für die Gestaltung der Assistenzsysteme (Produkte) werden Kriterien aus der Sicht der Mensch Technik Interaktion, insbesondere der digitalen Systeme formuliert. Dafür gilt es eine systemseitige technologische und eine benutzerseitige sensorische Betrachtung des Unterstützungssystems anzulegen, um die zu evaluierenden Gestaltungsrichtlinien zu spezifizieren. Je nach Anwendung sind die optimalen multimodalen Sinneskanäle des Menschen anzusprechen. Es müssen die Benutzer des Unterstützungssystems bei der Entwicklung assistiver Technologien im Sinne eines User Centered Design Ansatzes (vgl. Abschnitt 3.5.1.2) miteingebunden werden, um eine größtmögliche Nutzerakzeptanz zu erzielen. Dabei kommen in der Regel standardisierte qualitative und quantitative Methoden zum Einsatz.

#### **4.6.2 Gestaltung digitaler Assistenzsysteme**

Den digitalen Assistenzsystemen liegt situationsbedingte Anforderungen, wie eine Datenaufnahme zur Optimierung in der Fertigung und Montage, die Wissensgenerierung zur Informationsspeicherung in Datenbanken und in der Wissensvermittlung bei zukünftig kognitiven intelligenten lernfähigen Systemen als Grundanforderungen an diese Systeme zugrunde. Wie in vorangegangenen Kapiteln behandelt, zeigen sich die wesentlichen Eigenschaften von digitalen Assistenzsystemen in einer möglichst durchgängigen maschinellen Wahrnehmung und Betriebsdatenerfassung in der Produktion und Montage, sowie einer kontextsensitiven Filterung und Interpretation der Inhalte, damit eine echtzeitbasierte Darstellung und maschinelle Interaktion möglich ist. Da zurzeit bei den meisten dieser Anwendungen digitaler Assistenzsysteme, insbesondere jene mit virtueller Ausgabedarstellung von Prototypen gesprochen werden kann, ist jede Konfiguration eigen zu betrachten. Dabei zeigt sich, dass den sensorischen Bauteilen zur Informationsaufnahme, den Verarbeitungskomponenten, den Tracking-, den Prozessoreinheiten und der Software, die meist eine Sonderlösung darstellt, sowie Interaktionskomponenten eine wichtige Bedeutung zukommt. Diese speziellen fallspezifischen Grundvoraussetzungen sind je nach Anwendung in einer technischen Spezifikation für ein geeignetes digitales/virtuelles Setup festgehalten.

Aus den funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen der Assistenzsysteme ergeben sich Ansätze an die Gestaltung. Für eine Akzeptanz eines Unterstützungssystems durch den Benutzer müssen sich dessen individuelle Bedürfnisse und Erwartungen mit den Gestaltungen des Assistenzsystems und dem Bedarf aus dem Arbeitssystem in einem hohen Maß decken. Dazu ist es notwendig komponentenbezogen spezifische nutzerorientierte Gestaltungsrichtlinien festzulegen, um seitens des Mitarbeiters eine möglichst große Zustimmung zu erhalten. Auch spielt hier die extrinsische Motivation für den erfolgreichen Einsatz der Unterstützung durch neue Assistenzsysteme eine wesentliche Rolle. Eine Motivationssteigerung für die Verwendung der Systeme kann erfolgreich durch Gamification Ansätze erzielt werden.

Darunter wird eine Einsatzmöglichkeit, die Spielprinzipien und -methoden auf Anwendungen umlegt, um den Systemnutzer zu animieren spielfremde Prozesse und Probleme zu lösen, verstanden.

Diese Form von Spieldesignprinzipien wird durch folgende typische Elemente (Tabelle 16) gekennzeichnet.

Sichtbarer Status (Fortschrittsanzeige)	Eine sichtbare Anzeige des Fortschritts (Statusanzeige) über eine Darstellung von bestimmten Attributen (Badges) oder einer Prozentanzeige. So entsteht eine Transparenz in der Aufgabenerfüllung und dient als Motivationalelement.
Rangliste	Ein Wettbewerbsgedanke entsteht bei vergleichenden Anzeigen mit anderen Benutzern.
Quest	Der Benutzer muss eine Aufgabe in einer bestimmten Zeitspanne absolvieren. Eine aufeinander aufbauende Suche (Quest) helfen Kompetenzgewinn, Qualifikationen und Erfahrungen zu trainieren.
Transparenz des Resultats	Der Benutzer soll bei gamifizierten Anwendungen über z.B. Erfahrungspunkte das Ergebnis einer Aktion vorab kennen. Dadurch erfolgt eine Bewertung oder Wertschätzung seiner Handlungen.
Rückmeldung	Jede Aktion soll zu einer unmittelbaren sichtbaren Bewertung führen. Durch Vermeiden von negativem und Anstreben von positivem Feedback lernt der Systembenutzer.
Epic Meaning (Tieferer Sinn)	Eine zielorientiert Handlung motiviert und gilt für den Nutzer als erstrebenswert. Eine Teamarbeit kann als sinnstiftend beurteilt werden.
Community Collaboration (Gruppenarbeit)	Ein Zusammenarbeiten bei Lösungen von Aufgaben lässt Teams (Community) entstehen und es fördert den Teambildungsgedanken. Es bilden sich Kontakte bis hin zum Entstehen von selbstorganisierenden Systemen (Online Community).
Cascading Information	Eine Fokussierung auf die eigentliche Anforderung.

	rung lenkt den Benutzer nicht ab oder überfordert ihn. Die Lerninhalte werden systemisch ohne inhaltlich vorzugreifen vermittelt.
--	---

**Tabelle 15: Prinzipien eines Spieledesigns (Gamification)**

Bei Einsatz dieser Methoden mit spieltypischen Elementen und Prozessen in einem spielfremden Kontext wird einer Monotonie und Langeweile bei wiederkehrenden Arbeitsabläufen entgegengewirkt. Die Einsätze von gamifizierten Anwendungen zeigen signifikante Verbesserungen in Bereichen wie Benutzermotivation, sowie den Lernerfolgen bei Wissenserweiterungen.

#### 4.6.2.1 Funktionale nutzerbedingte Gestaltung

Die Gestaltungen, die sich aus den funktionalen nutzerbedingten Anforderungen ergeben, werden aus einer gegensätzlicher Betrachtungsweisen, jener die aus dem System (technologisch systemseitig) und aus der Wahrnehmung (nutzerbedingt mitarbeiterseitig) bei altersgerechter Adaptierung, zu gültigen Maßnahmen führen, zusammengeführt.

Unter den systemseitig nutzerbedingten Anforderungen werden jene Anforderungen verstanden, die bei Einsatz eines Assistenzsystems an das Arbeitssystem entstehen.

- Arbeitsplatzgestaltung:

Beim Einsatz einer digitalen Assistenz am Arbeitsplatz werden jene Anforderungen an die Arbeitsplatzgestaltung verstanden, die unter dem Gesichtspunkt des Human Factors und Human Ergonomics Einflusses bei den Gestaltungsrichtlinien berücksichtigt werden müssen. Dieser wissenschaftliche ergonomische Bereich betrachtet die Wechselwirkungen und funktionale Überlegungen im soziotechnischen Arbeitssystem in angemessener Form.

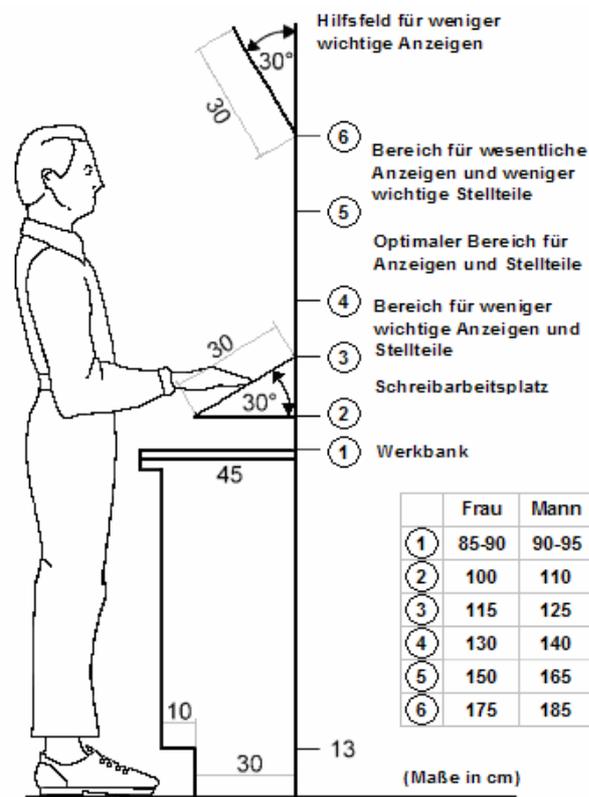
Die arbeitswissenschaftliche perzentile Betrachtungsweise basierend auf antropometrischen Untersuchungen der klassischen ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung ist durch eine Reihe<sup>97</sup> von Gesetze, Richtlinien, Verordnungen, Normen und Empfehlungen geregelt.

Bei der Betrachtung klassischer räumlicher Gegebenheiten zeigen sich Synergien zur Anwendung von digitalen Unterstützungssystemen im soziotechnischen Arbeitssystem. Digitale Assistenzsysteme unterscheiden sich im Aufbau in stationäre (Display, Touchscreen, Projektionen ...) und portable Anwendungen (Hand Held, Touchpad, Datenbrille, HMD, ...). Eine Vereinheitlichung bei Betrachtung des nutzerbedingten Systemaufbaus ist nicht möglich, da die unterschiedlichen einzelnen Komponenten das digitale/virtuelle Setup (virtuelle

<sup>97</sup> AUVA: M 021, 2015

Aufbau) beeinflussen. Wesentlich für Richtlinien bei der aus dem System bedingten Arbeitsplatzgestaltung ist die Darstellungskomponente der Informationsausgabe. So gilt für stationäre digitale Anwendungen mit virtueller Assistenz bei Darstellung über Display oder Projektoren eine Gestaltung am ergonomischen Steharbeitsplatz, des Sichtbereiches und der Greifräume im Arbeitssystem wie nachfolgend dargestellt. Eine zusammenfassende Aufbereitung ergonomischer Daten und Erkenntnisse (mit Normen und Literaturquellen) liefert beispielhaft die „Kleine Ergonomische Datensammlung“ (KED) von Lange und Windel (2013)<sup>98</sup>. Für weitere Ausführungen in diesem Zusammenhang ist auf die einschlägige Literatur verwiesen.

Der nachstehende Auszug aus den Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS)<sup>99</sup> gibt den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für die Verwendung von Arbeitsmitteln wieder.



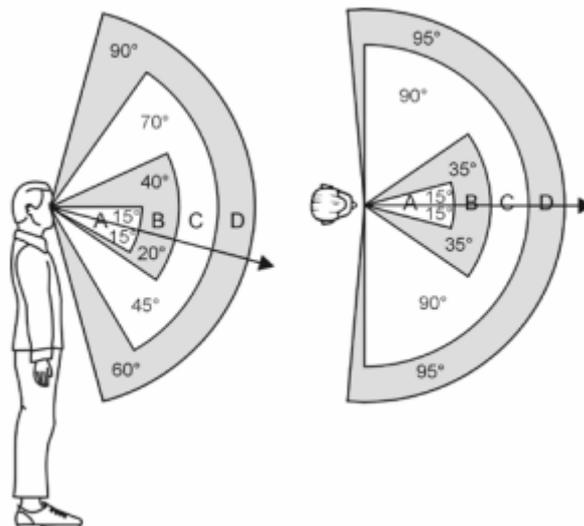
**Abb. 35: Ergonomischer Steharbeitsplatz (Quelle: Kleine Ergonomischen Datensammlung, 2013)**

Hierbei zeigt sich für stationäre digitale Assistenzsysteme eine begrenzte Anordnungsmöglichkeit von Interaktionsgeräten und Displays im Arbeitssystem. Die Anordnung für Betriebsmittel der visuellen Wahrnehmung, meist Bild-

<sup>98</sup> Lange W. et al., 2013

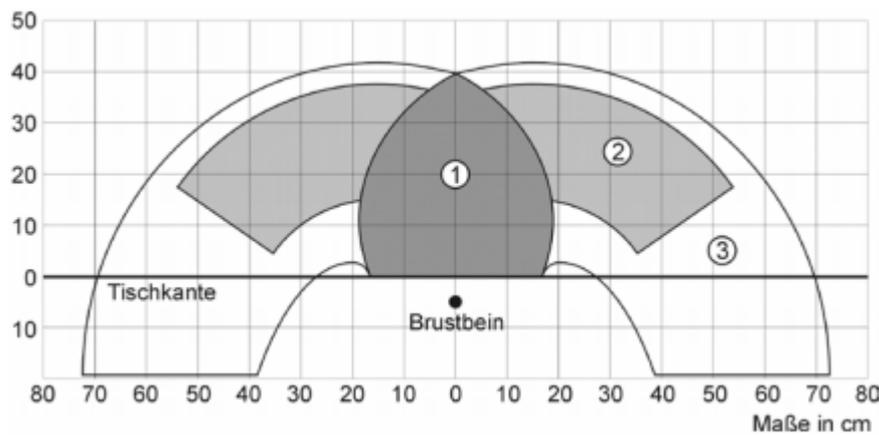
<sup>99</sup> BAuA: TRBS 1151, 2015

schirme soll bei häufigen Blickkontakten zentral mit einer optimalen Entfernung von etwa 50 cm unterhalb Augenhöhe angebracht werden (Abb. 35). Eine Verstellmöglichkeit für individuelle Mitarbeiterkonfiguration ist anzudenken. Bei allen häufig genutzten Betriebsmitteln sollen möglichst gleiche Sehabstände zum Benutzer eingehalten werden. Die Anzeigen für Montageanweisungen (Sehachse  $15^\circ$  bis  $30^\circ$  unter der Horizontalen) oder Kontrolltätigkeiten (vertikales Sehfeld für Überwachungsaufgaben  $\pm 15^\circ$  zur Sehachse) sind im zentralen Blickfeld anzuordnen. Für beide Anwendungen gilt ein horizontales Sehfeld  $15^\circ$  links und rechts zur Blickrichtung. Nachstehende Abbildung (Abb. 36) zeigt das Blickfeld eines Mitarbeiters bei Neigung des Blickes um  $15^\circ$  gegen die Waagrechte und einer Kopfdrehung um  $0^\circ$  gegen die Senkrechte beim stramm aufrechten Stehen.



**Abb. 36: Gesichtsfeld der Arbeitsperson (Quelle: Kleine Ergonomische Datensammlung, 2013)**

Für eine reibungsfreie Interaktionsmöglichkeit mit einem Assistenzsystem gilt bei optimaler Anordnung der Bediengeräte die Berücksichtigung ergonomischer Greifräume im Arbeitsbereich (Abb. 37). Grundsätzlich gilt für eine günstige Anordnung der Arbeitsmittel zum Greifen, dass jene mit häufigste Griffkontakten im optimalen Greifraum liegen sollen (Für Eingabegeräte wie Tastatur oder Maus gilt: Abstand Tischvorderkante - mittlere Tastenreihe 10 cm, mittlere Tastenreihe auf Höhe des waagrecht ausgestreckten Unterarms). Die Praxis zeigt bei digitalen Anwendungen eine Interaktion mit dem System über Touchscreen. Diese sind meist situations- und arbeitsablaufbedingt nicht im unmittelbaren Greifraum angebracht.



- 1 – Darstellung der Beidhandzone
- 2 – Darstellung der Einhandzone
- 3 – Darstellung der erweiterten Einhandzone

**Abb. 37: Ergonomische Greifräume (Quelle: Kleine Ergonomischen Datensammlung, 2013)**

Die Gestaltungsanforderungen an portable Anwendungen am Arbeitsplatz werden folgend unter der Komponentenbeschreibung der Interaktionsgeräte näher behandelt. Für in diesem Zusammenhang notwendige Bewegungs- und Gestaltungsräume, im Arbeits- sowie Interaktionsbereich und sonstige Freiräume gelten keine speziellen Richtlinien. Es zeigen sich aber Synergien zur Betrachtung klassischer räumlicher Gegebenheiten.

Der Einsatz eines digitalen Assistenzsystems macht nur bei einem Mehrwert und einer Hilfestellung im Arbeitssystem einen Sinn. Eine gegebenenfalls erhöhte physische und psychische Belastung bei visueller Wahrnehmung am Arbeitsplatz wird durch ergonomische Anordnung des spezifischen Assistenzsystems vermieden.

- Grundsätze für eine allgemeine ergonomische Gestaltungsbewertung:
  - Einbeziehung ergonomischer Gestaltungsanforderungen (Auswahl und Einbeziehung von Normen und Richtlinien in ergonomischen Gestaltungsanforderungen).

Die Anforderungen an Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung und Leitsätze für die Arbeitsumgebung sind in DIN EN ISO 9241-5 und -6 festgelegt.

- Gestaltungsanforderungen nach physikalischen spezifischen Umgebungseinflüssen (Beleuchtung, Lärm, thermische Emissionen, Schwingungen). Diese lassen sich messtechnisch erfassen und können quantitativ bewertet werden.

- Beleuchtungsverhältnisse (Die allgemeine Raumbeleuchtung liegt zwischen 300 und 500 lx. Die übliche Arbeitsplatzbeleuchtung liegt im Bereich von 500 bis 1000 lx mit einem maximalen Kontrast im Sehbereich 1:10 (minimalen Kontrast für Informationsdarstellung beachten). Es ist auf eine Vermeidung von Reflexen durch Material oder durch Anordnung der Lichtquellen und Geräte zu achten.)
  - Geräusche (Die Lärmentwicklung bei Routinearbeit sollte kleiner gleich 70 dB(A), bei konzentrierter Arbeit kleiner gleich 55 dB(A) und bei Gerätegeräuschen nicht mehr als 5 dB(A) über Hintergrundgeräusch liegen.)
  - Klima (Die allgemeinen Umgebungsbedingungen sollen eine Temperatur zwischen 20°C und 26°C, keine direkte Wärmestrahlung, eine Luftfeuchtigkeit zwischen 40% und 60% und Luftbewegungen unter 0,15 m/sec aufweisen.)
  - Gestaltungsrichtlinien nach physischen individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten (Körpermaße, -haltungen, -bewegung und -kräfte)
  - Gestaltungsrichtlinien nach psychischen individuellen Merkmalen
    - sensorische Fähigkeiten (visuelle, auditive, haptische Fähigkeiten)
    - kognitive Fähigkeiten (Aufmerksamkeit, Reaktionsgeschwindigkeit, Koordinationsfähigkeit, Informationsverarbeitung, Gedächtnis)
    - emotionale Fähigkeiten
  - Einfache, intuitive, flexible, fehlertolerante Benutzung
  - Erreichbarkeit, Zugänglichkeit
  - Wahrnehmbare, erkennbare Information
  - Einfache, intuitive, flexible, fehlertolerante Benutzung
  - Schädigungs- und Beeinträchtigungsfreiheit
  - Sicherheit und Gesundheitsschutz
- Produktgestaltung:

Wie bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes gilt es auch Aspekte der ergonomischen Betriebsmittelgestaltung an das Produktes (Device) zu stellen, um bei Einsatz digitaler Assistenz eine hohe Nutzerakzeptanz zu erhalten. Für die An-

forderungen aus dem Arbeitssystem ergeben sich Bedingungen bezüglich Nutzbarkeit und Bedienung (berührungslose Bedienung, Ein- oder Mehrhandbedienung).

Für Wearables, sowie Hand Helds gelten systembedingte Richtlinien an Tragekomfort, Handlichkeit und Hygienevorgaben.

- geringes Gewicht und ausgewogene Schwerpunktlage
- justierbar (Einfachheit, Stabilität)
- wegklappbar und leichtes Auf-/Absetzen des Ausgabegerätes
- brillentauglich oder fehlsichtkorrigierbar
- kabellos
- äußere Ansteuerung zur Interaktion (Kopfhörer, Mikrofon, haptische Geräte)
- Arbeitszeittauglichkeit (Energieversorgung, Akkuleistungen).

Die technische und ergonomische Betriebsmittelgestaltung ist eng mit den funktionalen technischen Anforderungen verbunden. Eine technische Betriebsmittelgestaltung erfordert für die Ein- und Ausgabekomponenten:

- eine benutzerfreundliche Bedienbarkeit an Bedienung und Bedienelemente
- die Interaktionsfähigkeit
- technische Spezifikationen für Anzeigen
- graphische Darstellung (z.B. 2D/3D Darstellung, Auflösung)

Da die einzelnen Komponenten unterschiedlich sind, werden die technischen Aspekte der Produktgestaltung unter Abschnitt 4.6.2.2 näher behandelt.

Die Anforderungen, die bei Einsatz eines Assistenzsystems aus der Sicht des Benutzers an das Arbeitssystem entstehen, werden unter den mitarbeiterseitigen nutzerbedingten Anforderungen zugeordnet. Im Nachfolgenden sind Gestaltungsanforderungen aus der menschlichen Sensorik erarbeitet, die aus der Sicht des Mitarbeiters eine benutzerfreundliche Bedienbarkeit, im Sinne einer optimalen Arbeitsplatzsituation, sowie Betriebsmittelgestaltung und einer den individuellen kognitiven Fähigkeiten des Benutzers angepasste Interaktionsfähigkeit und Möglichkeit der Informationsdarstellung bietet.

- Visuelle Wahrnehmung:

Die wahrnehmungsbedingten Gestaltungsanforderungen werden in Sicherheits- und Qualitätsaspekte unterteilt. Aus der Ergonomie der Mensch System Interaktion<sup>100</sup> werden die folgenden Gestaltungsanforderungen gestellt an:

- Sehbedingungen:
  - Sichtbarkeit (vgl. Arbeitsplatzgestaltung)
  - Adaption
  - Projektionsdistanz
  - Tiefenschärfe
- Leuchtdichte:
  - Darstellungen mit umgebungsabhängigem Kontrast für eine aus allen Arbeitspositionen ablesbare Anzeige
- visuelle Artefakte:
  - Entspiegelte oder matte Oberflächen einsetzen um Reflexe und Blendung zu vermeiden
  - Flimmerfreiheit bei Displays
  - gleichmäßige Darstellung bei Geometrie, Leuchtdichte, Farbe, Kontrast
  - Vermeidung der Moiré Effekte, ein aufgrund von Überlagerung von feinen regelmäßigen Mustern entstehendes grobes Raster
- Lesbarkeit und Leserlichkeit:
  - Leserlichkeit der Informationscodierung und von Grafiken
- Wiedergabetreue:
  - Farbtreue durch die Anzahl nötiger Farben
  - schnelle Reaktion bei bewegten Bildern um keine Schlieren zu erzeugen
  - den Aufgaben angemessene Auflösung und Pixeldichte unter Berücksichtigung von Leseentfernung, Blickwinkel, Detailreichtum

---

<sup>100</sup> DIN EN ISO 9241, Teil 300 ff.

Anhand nachstehender Zusammenstellungen zeigen sich die visuellen (Tabelle 16) und akustischen (Tabelle 17) Anforderungen<sup>101</sup> an Ein-/Ausgabekomponenten für eine Interaktion basierend auf den Wahrnehmungsfähigkeiten des Benutzers.

Eigenschaften des Auges	Anforderungen an das Bediensystem
Mangelnde Adaption bei geringer Beleuchtungsstärke	Intensive Arbeitsplatzbeleuchtung
Ermüdung bei Adaptionsvorgängen	Angleichung der Helligkeit der Arbeitsmittel (Positivdarstellung, helle Bedienelemente)
Sehschärfe abhängig von der Beleuchtungsstärke	Beleuchtungsstärke von 100 cd/m <sup>2</sup> für Bildschirme
Ermüdung bei Akkomodationsvorgängen	Ebenen von Bildschirm und Bedienelementen in etwa gleichem Abstand vor den Augen
Große Zeitdauer von hell dunkel Adaptionen	Hell dunkel Adaptionen durch helle Bildschirme und gute Arbeitsplatzbeleuchtung vermeiden (d.h. nur mit hell adaptierten Auge arbeiten), Positivdarstellung (dunkle Schrift auf hellem Grund)
Absorptionsmaxima des Lichts bei Wellenlänge $\lambda$ ( $\lambda = 420 \text{ nm}$ , $\lambda = 500 \text{ nm}$ , $\lambda = 540 \text{ nm}$ , $\lambda = 570 \text{ nm}$ und $\lambda = 700 \text{ nm}$ )	Zur Bedeutungscodierung Verwendung der Farben Blau, Cyan, Grün, Gelb, Magenta und Rot
Chromatische Abberation	Sparsamer Umgang mit Farben, gleichzeitige Verwendung von Farben außerhalb des grün gelben Bereiches vermeiden bei Anforderung des scharfen Sehens
Erkennen von Einzelbildern (Flimmern)	Bildwiederholfrequenz von mindestens 70 Hz bei Positivdarstellung
Farbempfindlichkeit der Netzhautperipherie gering für die Farben Grün und Rot	Wichtige Objekte am Bildschirmrand nicht in grüner oder roter Farbe darstellen

<sup>101</sup> Zühlke D., 2011

Farbempfindlichkeit abhängig von der Ortsfrequenz	Nur größere Objekte mit Farbe versehen
Unterschiedliches Sehfeld in horizontaler und vertikaler Ebene	Bedienelemente und Anzeigeelemente so anbringen, dass sie sich im Bereich von +/- 15° in horizontaler Ebene und zwischen 0 und 30° (nach unten) in vertikaler Ebene bezogen auf die normale, horizontale Sehachse befinden

**Tabelle 16: Eigenschaften des Auges und abgeleitete Anforderung an die Gestaltung von Bediensystemen**

- Akustische Wahrnehmung:

Unterstützung und Anleitung im Arbeitssystem über Lautsprecher und Mikrofon von auditiven Informationen ist aufgrund eines Grundlautstärkepegels in Produktion und Montage schwer umsetzbar. Die akustischen Ausgabegeräte<sup>102</sup> bei Systemen mit Sprachdialog reduzieren sich daher meist auf Head Sets (Kopfhörer).

Eigenschaften des Ohres	Anforderungen an das Bediensystem
Aufnehmbare Schallfrequenz zwischen 16 und 20000 Hz (5000 Hz im Alter)	Töne nur im Bereich von 250 bis 4000 Hz einsetzen
Hörgrenze (4 dBA) frequenzabhängig	Töne im Bereich zwischen 1000 und 4000 Hz einsetzen, da liegt die größte Empfindlichkeit des Gehörs
Hörbereich zwischen 4 dBA (Hörgrenze) und 120 dBA (Schmerzgrenze)	Systeme auf Lautstärkepegel zwischen 30 und 100 dBA auslegen

**Tabelle 17: Eigenschaften des Ohres und abgeleitete Anforderung an die Gestaltung von Bediensystemen**

Eine reine Ausgabe über Lautsprecher kommt vorrangig bei Warn- und Signaltönen zum Einsatz. Dabei gilt es folgend Grundsätze bei den Gestaltungsrichtlinien<sup>103</sup> einzuhalten.

- Die Anzahl der Warn- und Alarmsignale ist auf maximal sechs begrenzt.

<sup>102</sup> DIN EN ISO 9241-154:2013-05

<sup>103</sup> Gerke W., 2014

- Zur sicheren Erkennung und schnellen Reaktion des Menschen müssen die Signale einen Schalldruck von 15 dB über dem Hintergrundrauschen haben.
- Die Frequenz der Warnsignale muss sich von der Frequenz der Umgebungsgeräusche unterscheiden.
- Die Frequenz der Signale soll zwischen 500 und 5000 Hz liegen.
- Das Signal sollte moduliert sein z.B. kann die Lautstärke steigen und fallen oder das Signal wird an- und ausgeschaltet.
- Signale, die aus weiter Entfernung ( $\geq 30$  m) wahrgenommen werden müssen, sollten tiefe Frequenzen beinhalten.

Bei verbaler Interaktion mit dem Assistenzsystem wird zwischen zwei Arten der Spracherkennung unterschieden.

Im technischen Einsatz wird bevorzugt eine sprecherunabhängige Spracherkennung (automatische Dialogsysteme) verwendet, bei der ein nur begrenzter Wortschatz verarbeitet werden kann. Der Vorteil dieser Systeme liegt in einer, ohne vorhergehender Trainingsphase, sofortigen Einsatzmöglichkeit für den Benutzer. Bei einer sprecherabhängigen Spracherkennung muss der Nutzer vor einer Systemverwendung auf Besonderheiten der Aussprache trainiert werden. Damit ist eine Anwendung bei häufig wechselnden Benutzern nicht möglich. Solche Systeme haben aber einen viel größeren Wortschatz, sodass für zukünftige kognitive intelligente Systeme auch technische Möglichkeiten in Betracht gezogen werden müssen. Dabei wird zwischen Front End Systemen (Sprachverarbeitung und Umsetzung erfolgt direkt auf dem Computer des Benutzers) und Back End Systemen unterschieden. In Letzteren wird die Umsetzung auf einem entfernten Server durchgeführt, so dass eine Reaktion mit Verzögerung zur Verfügung steht. Diese Systeme finden auch im medizinischen Bereich ihre Anwendung.

- **Haptische Wahrnehmung:**

In der haptischen Wahrnehmung ist das Empfinden von Vibrationen eine Komponente der Feinwahrnehmung (epikritische Sensibilität). Die Rezeption von Vibrationsreizen erfolgt passiv in speziellen Rezeptororganen. Diese Rezeptoren übernehmen eine dem Sensor in der Technik vergleichbare Funktion und überführen Reize. Piezokeramiken werden als intelligente Werkstoffe (Smart Materials) schon seit längerer Zeit in der Industrie eingesetzt. Diese besitzen sowohl sensorische als auch aktorische Eigenschaften und können geänderte Umfeldbedingungen wie Druck-, Biege- aber auch Stoßbeanspru-

chungen feststellen und darauf reagieren. Im Bereich der haptischen Wahrnehmung bietet sich ein Bereich in dem Interaktion mit dem Assistenzsystem auf dieser Technologie basieren kann. Die Reizschwelle der haptischen Wahrnehmung liegt bei einem gesunden erwachsenen Menschen bei rund 1  $\mu\text{m}$  (1 mm = 1000  $\mu\text{m}$ ). In Wearable Anwendungen oder am HMI finden Force Feedback Systeme vielseitige Anwendung in Industrie und Wissenschaft zur Unterstützung im Bereich der Interaktion, um mit Krafrückkopplung Systemrückmeldungen bei digitaler Assistenz rechtzeitig zu spüren und der Nutzer darauf reagieren kann. Über multimodale Sensorik des menschlichen Körpers können Informationen schnell und sicher aufgenommen werden.

- Alter(n)sgerechte Wahrnehmung:

Zu den funktionalen nutzerbedingten Anforderungen aus der Sicht des Mitarbeiters zählen auch jene, die aus den alter(n)sgerechten Wahrnehmungen resultieren. Diese werden speziell im Abschnitt 4.6.2.4 berücksichtigt. Eine kombinierte Unterstützung bei der Aufnahme von Informationen kann in Bezug auf altersgerechte Anwendungen nützlich sein. Im Zusammenhang für eine intuitive Bedienung und ein multimodales Bedienkonzept, liegt dies bei der spezifischen Auswahl der gewählten Ein- und Ausgabekomponenten.

#### **4.6.2.2 Funktionale technische Gestaltung**

Bei Betrachtung der Betriebsmittel unter einem Human Centered Design Ansatz (der Mensch steht im Mittelpunkt) gilt die Aufmerksamkeit vorrangig einer individuellen Bedienbarkeit, einer benutzergerechten Informationsdarstellung und einer störungsfreien Interaktionsmöglichkeit mit dem Assistenzsystem. Bei der Betriebsmittelgestaltung gilt es die erwünschten Anforderungen, im Speziellen altersgerechte Anforderungen in Einklang mit der technischen Durchführbarkeit und einer wirtschaftliche Realisierung zu bringen. Nachdem Anwendungen von digitalen Assistenzsystemen mit virtueller Ausgabedarstellung, beispielhaft in Abschnitt 4.5.2 beschrieben, speziell konfigurierte Prototypen und auf eine spezifische Situationen zugeschnitten sind, sind nachfolgend eine Beschreibung und die individuellen Gestaltungsrichtlinien für die jeweiligen Eingabe- und Ausgabegeräte angeführt.

- Eingabegeräte:

Als Eingabegeräte werden alle Geräte bezeichnet, über die dem Assistenzsystem Informationen zugeführt werden können. Neben optischen, durch Erfassen von Bildern und Veränderungen von Positionen und akustischen, bei denen die Steuerung durch Laute oder Sprache erfolgt, kommen haptische Eingabegeräte (Steuerung durch Kraftausübung oder Bewegung) zur Anwendung. Jene bei denen die Gestaltung im direkten Zusammenspiel mit dem Benutzer steht und

ergonomische und sensorisch basierende Richtlinien zum Einsatz kommen, werden in der Gruppe der mechanischen Eingabegeräte zusammengefasst. Dabei wird meist von Tastaturen (Keyboard), Maus und Touchscreen oder Datenhandschuhen gesprochen.

o Tastaturen:

Neben dem Einsatz von herkömmlichen Tastaturen können auch Bauformen mit ergonomischer Anordnung der Tasten je nach Konzeption in gekrümmten oder geknickten (durchgehenden oder unterbrochenen) Linien verwendet werden. Auch sind konstruktiv Teilbereiche in der Tastatur gegenüber der Auflagefläche erhöht. Die ergonomischen Forderungen an einzelnen Tasten aber auch an die gesamte Tastatur sind in der Norm der Gestaltungskriterien für physikalische Eingabegeräte im Anhang B<sup>104</sup> geregelt.

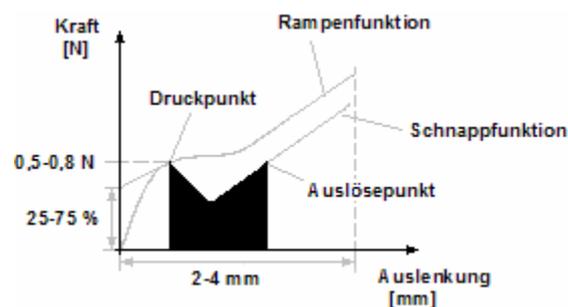


Abb. 38: Tastenfunktion von Tastaturen

Auszugsweise sind hier die Anforderungen an die Tasten (Fläche mind. 110 mm<sup>2</sup>, Breite 12 bis 15 mm, Abstand der Tastenmittelpunkte 18 bis 20 mm) mit einem Druckpunkt (Abb. 38) mit Schaltwegen zwischen 2 und 4 mm erwähnt. Für eine Griffsicherheit ist eine leicht konkave nicht zu glatte Oberfläche mit einer fühlbaren Markierung bei F und J festgesetzt. Neben den ergonomischen Forderungen an die Tastatur (Neigungswinkel 5° bis 12°, Höhe der Grundreihe ≤ 30 mm über Arbeitsfläche) liegen die Richtlinien in erkennbarer Zuordnung, geringer Reflexion und gegebenenfalls mittlerer Leuchtdichte entsprechend der Umgebungsbedingungen.

Im Zusammenhang mit digitalen Assistenzsystemen kann eine virtuelle Interaktion auch über Projektion erfolgen. Hierbei wird ein projiziertes Tastenfeld im Arbeitsbereich auf einer ebenen Oberfläche erzeugt und die Benutzeraktion mittels Kamera erfasst. Eine Bildverarbeitung erkennt die Berührung der virtuellen Felder und die Information wird weitergeleitet. Bei dieser Anwendung wird von einer projizierten virtuellen Tastatur gesprochen, deren Vorteil in einer verschmutzungsresistenten Einsatzmöglichkeit liegt.

<sup>104</sup> DIN EN ISO 9241-410 Anhang B

- Maus:

Die Maus<sup>105</sup> ist eine der am weitesten verbreiteten Eingabegeräte meist im Zusammenspiel mit Computern eingesetzt. In den Bereichen der Produktion und Montage kommen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten eher Anwendungen über Trackball oder Trackpoint zum Einsatz. Die Bewegung wird über einen Sensor aufgenommen, digitalisiert und über eine Schnittstelle übertragen. Zur Anwendung kommen auch Dreh- oder Rändelräder, wo durch Drehen positioniert und durch Drücken quittiert wird. Die ergonomischen Forderungen hierbei liegen in Leichtgängigkeit und Präzision mit abgerundeten, nicht scharfkantigen, griffigen Knöpfen.

- Touchscreen:

Berührungsempfindliche Bildschirme<sup>106</sup>, als Touchscreen bezeichnet, ersetzen Tastatur oder Maus und stellen ein kombiniertes Ein- und Ausgabegerät dar, bei dem durch Berührung von Teilen eines Bildes der Programmablauf eines digitalen Assistenzsystems interaktiv direkt gesteuert werden kann. Neueste Anwendungen zeigen haptische Interaktionskonzepte mit Force Feedback Technologien mittels einer taktilen Rückmeldung, die dem Nutzer den Eindruck eines konventionellen Tastendrucks vermittelt.

- Datenhandschuh:

Durch Bewegungen von Hand und Finger erfolgt bei Datenhandschuhen die Eingabe und Orientierung in einem virtuellen Raum. Diese Eingabegeräte bieten ein taktiler Feedback, eine Wahrnehmung des Ertastens und Erfühlens und Force Feedback Technologie in Form von Krafrückkopplungen an. Diese können das Aussehen eines Handschuhs einnehmen, aber auch in Form von einer Wearable Anwendung über Handbewegungserkennung mittels dünner künstlicher Haut<sup>107</sup> mit eingeschlossenen Dehnmessstreifen zu Einsatz kommen.

- Gestensteuerung:

Eine berührungslose Interaktion mit einem digitalen/virtuellen Assistenzsystem über einer kleinen Zusatzkomponente bietet das System Leap Motion an. Dieses erkennt Gesten und Hände des Benutzers und ist eine Bewegungssteuerung der gleichnamigen Firma.

---

<sup>105</sup> DIN EN ISO 9241-410 Anhang C

<sup>106</sup> DIN EN ISO 9241-410 Anhang J

<sup>107</sup> Chossat J.B. et al., 2015

Gestaltungsanforderungen für Eingabegeräte<sup>108</sup> ergeben sich aus den spezifischen Anforderungen einer digitalen Anwendung und müssen nachstehende Grundsätze erfüllen:

○ Angemessenheit:

Eine Gestaltung muss für den vorgesehenen Benutzer, dessen Aufgaben und Nutzungsumgebung mit geeigneten Gerät, sowie einer Kombination daraus, um den erforderlichen Grad an Effektivität zu erlangen und für vorgesehene Benutzerpopulation und Nutzung, angemessen sein.

○ Handhabbarkeit:

- Eindeutigkeit der Nutzung (offensichtlich leicht erkennbar Gebrauch)
- Vorhersehbarkeit der Nutzung (Reaktion entsprechend den Benutzererwartungen)
- Konsistenz der Funktion (gleiche Art und Weise der Funktion und Reaktion)
- Benutzerkompatibilität (anthropometrische Eigenschaften und biomechanische Fähigkeiten)
- Rückmeldung (unmittelbar wahrnehmbare und leicht verständliche Reaktion)

○ Steuerbarkeit:

- Ansprechbarkeit (hinreichende konsistente Rückmeldung)
- Störungsfreiheit (keine Einschränkung der Funktionalität durch den Gebrauch)
- Zuverlässigkeit des Zugriffs (kein zufälliger Kontrollverlust)
- Angemessenheit des Zugriffs (schneller und leichter Zugriff)
- Zugriff auf Stellteile (schnell und einfach ausfindig zu machen und zu betätigen)

○ Minimierung biomechanischer Belastung:

Bei der Gestaltung der Eingabesituation ist auf eine Bedienbarkeit ohne übermäßige Anstrengung und einer Körperhaltung mit nicht zu großer Abweichung von der neutralen Position zu achten.

---

<sup>108</sup> DIN EN ISO 9241-410

- **Ausgabegeräte:**

Bei Anzeigen gilt es auf eine ausreichende Zeichengröße (Sehwinkel 18 bis 22 Bogenminuten) bei einer Zeichenschärfe (ähnlich Gedrucktem) und einem Kontrast zwischen Hintergrund und Darstellung zu achten. Weiters ist ein eindeutiges Codierungsverfahren für Arbeitsmittel und eine spezielle Kennzeichnung für Notfall und Alarmsituationen zu berücksichtigen. Eine Informationsdarstellung hat unter Berücksichtigung der menschlichen Leistungsgrenzen für Informationsverarbeitung zu erfolgen. Eine Antwortzeit für erwartete liegt üblicherweise zwischen 0,2 s und 0,3 s bzw. für nicht erwartete Signale über 0,5 s. Durch eine geeignete Abfolge und Strukturierung von Meldungen kann eine zeitliche Optimierung der Anweisungen erfolgen. Gegebenfalls sollte eine individuelle Anpassungsmöglichkeit an den Nutzer des Assistenzsystems gestaltet werden. Die sieben charakteristischen Eigenschaften der Informationsdarstellung<sup>109</sup> liegen in (Tabelle 18):

Eigenschaften der Informationsdarstellung	
Klarheit	schnelle und zutreffende Vermittlung von Informationsinhalten
Unterscheidbarkeit	exakte Unterscheidung angezeigter Informationen
Prägnanz	kompaktes Anzeigen der zur Aufgabenerfüllung notwendigen Information
Konsistenz	gleichartige benutzererwartungsgemäße Darstellung gleicher Informationen
Erkennbarkeit	gelenkte Aufmerksamkeit zur benötigten Information
Lesbarkeit	leicht lesbare Informationen
Verständlichkeit	eindeutig interpretierbare erkennbare Bedeutung

**Tabelle 18: Eigenschaften der Informationsdarstellung**

Bei Ausgabegeräten im Fertigungs- und Montagebereich kommen Betriebsmittel der gewöhnlichen Wahrnehmung (Bildschirm, Projektion), aber auch Optical See Through HMDs für Mixed Realitys Anwendungen zu Einsatz.

<sup>109</sup> DIN EN ISO 9241-12

○ Bildschirm:

Beim Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Produktionsbereich beschränken sich die Anwendungen bei zweidimensionalen Ausgabegeräten meist auf Flüssigkristallanzeigen (LCD), wobei hierbei ein bestimmter Betrachtungswinkel erforderlich ist. Durch Hinterleuchten mit Leuchtdioden wird eine bessere Bildqualität erzielt. Die Auflösung entspricht der Anzahl der Kristalle und liegt je nach Anwendung zwischen einer 1366 x 768, auch 1600 x 900 (Laptop) bis zu 1920 x 1080 (Desktop in HD) Darstellung. Für die Gestaltung innovativer Benutzerinteraktionen eröffnet sich mit Multitouch Displays eine Vielzahl von Applikationen. Hierbei kann durch eine Fülle von Aktionen wie Bildschirmausschnitte vergrößern und –kleinern, scrollen, wischen zum Weiterblättern bis zu zweihändigen Displaykontakten für Objektrotationen in die Darstellung aktiv eingegriffen werden. Der Vorteil dieser Technologie liegt in der Gestaltung einer intuitiven Bedienung bei der zusätzlich eine Fehlbedienungen der Assistenzsystems vermeiden werden kann.

○ Projektion:

Mittels Projektion basierend auf LCD oder Laser Technik (Tabelle 19) ist eine Ausgabe im Arbeitsbereich oder an Objekten ebenso möglich, wie auch auf durchsichtige Flächen (Head Up Display) und AR Anwendungen.

Bei konventionellen Projektionen werden Anwendungen mit Lichtpunkten, als Hilfestellung beim Anzeigen von Arbeitspunkten und Darstellungen mit Konturen unterschieden.

LED (Light Emitting Diode) Projektion	Laser Projektion
<p><i>Vorteile:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kompakte Bauweise</li> <li>▪ scharfe Bilder</li> <li>▪ LEDs verfügen über mehr Wellenlängen als Laser</li> <li>▪ kein Speckel (Interferenzphänomen bei optisch rauen Objektflächen)</li> <li>▪ nicht kohärent</li> <li>▪ kein Laserschutz erforderlich</li> </ul>	<p><i>Vorteile:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nahezu beliebig geformte Projektionsflächen</li> <li>▪ keine Fokussierung nötig</li> <li>▪ sehr hoher Kontrast</li> <li>▪ punktgenau und gut definiert in eine Richtung</li> </ul>
<p><i>Nachteile:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beste Qualität nur bei einer bestimmten Auflösung des Eingangssignals gegeben</li> </ul>	<p><i>Nachteile:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ begrenzte Lichtstärke</li> <li>▪ Laserprojektoren sind als Laserklasse 3R (GLV) oder 4</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mit zunehmender Betriebsdauer lässt die Bildqualität nach</li> <li>▪ Verringerung von Kontrast, Farbsättigung und Homogenität</li> <li>▪ Mit zunehmender Betriebsdauer lässt die Bildqualität nach</li> </ul>	<p>(LDT) klassifiziert</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betrieb ist nur durch ausgebildetes Personal erlaubt (Lasersicherheitsnorm IEC 60825-1 Ed3)</li> <li>▪ Sicherheitsmaßnahmen erforderlich</li> <li>▪ Gefahr für das Auge durch die direkt in das Auge gelenkten Strahlen</li> <li>▪ Streulicht</li> </ul>
--	--

**Tabelle 19: LED/Laser Projektion**

Laserprojektoren können Silhouetten oder sonstige Formen als Laserlinien auf beliebigen Oberflächen darstellen. In speziellen Projektionssystemen können mit geeigneten CAD Daten die notwendigen Steuerdaten an die Projektoren übertragen werden. Um Konturen darzustellen, lenken drehbare, elektronisch gesteuerte Spiegel im System einen Laserstrahl ab und projizieren ihn auf die Oberfläche. Dabei können digitale Regler für die Spiegelansteuerung einem internen systembedingten Drift entgegensteuern. Eine hohe Wiederholgenauigkeit des Laserstrahls zeichnet die Stabilität einer Projektion aus. Durch eine automatische Prüfung der Position anhand von mehreren Referenzpunkten, kann eine exakte Kalibrierung des Systems gewährleistet werden. Mittels einer Kombination von verschiedenen Sicherheitstechniken werden Gefährdungen durch den Laserstrahl ausgeschlossen.

Bei Projektions-AR sieht der Nutzer auf oder durch die projizierte Fläche hindurch (Optical See Through). Im Gegensatz zu HMDs ist jedoch der Benutzer beweglich und muss in bei 3D Inhalten (Content) ebenso wie bei bewegter Projektionsfläche getrackt werden. Neben einer komfortablen, natürlichen Sicht liegt die Schwierigkeit im Zusammenspiel Auge, Projektionsfläche und Umwelt (insbesondere bei Optical See Through Anwendungen). Konflikte zwischen realer und virtueller Umwelt durch Synchronisationsfehler sind zu vermeiden.

○ dreidimensionalen visuellen Darstellung:

Für die technische Realisierung einer dreidimensionalen visuellen Darstellung ist ein Bild pro Auge räumlich (Datenhelm), zeitlich (Shutterbrillen) versetzt oder durch Modulation des Lichtes (Anaglyphen, Polarisation) erforderlich. Neben dem Einsatz von Datenhelmen, bei dem vor jedem Auge ein LCD mittlerer Auflösung platziert ist, steht einer hohen Bildqualität die Umgebungsisolierung und die ein Personen Anwendungsmöglichkeit entgegen. Bei Anaglyphen erfolgt die Darstellung durch Aufteilung der Bilder mit rot/grünen Farbfiltern und bei Polarisation wird der Effekt durch Polarisati-

onsfilter hervorgerufen. Für einen praktischen Einsatz in der Produktion erscheinen diese Systeme nicht geeignet zu sein. Ein autostereoskopisches Display bietet in der 3D Darstellung eine Alternative, wobei eine praktische industrielle Anwendung in Produktion nicht bekannt ist. Wegen der geringen Verbreitung sind bezüglich ergonomischer Anforderungen keine gesicherten Erkenntnisse an diese Systeme bekannt.

- Head Mounted Display:

Für digitale Ausgabegeräte virtueller Assistenz liegen die technischen Spezifikationen bisheriger alter VR HMDs mit SXGA Auflösung (1280x1024) bei einem durchschnittlichen Sichtfeld von 60° und einem durchschnittlichen Gewicht von 1kg. Dadurch ergibt sich eine nur bedingte Eignung für einen kommerziellen Einsatz. Stark abweichende HMD Systeme weisen eine höhere Auflösung von 2600x1200 Pixel (Sensics piSight), 1680x1050 Pixel (Sensics xSight), 1920x1080 Pixel (Virtual Realities HMD pro 3D WUXGA-60) oder ein erweitertes Sichtfeld von 100° (Rockwell Collins Sim Eye SR 100), 104° (Sensics xSight), 120° (SEOS HMD 120/40), 180° (Sensics piSight) auf.

Die Technologie der heute eingesetzten Displaytypen bei HMDs beschränkt sich auf OLED (kleiner Aufbau, geringe Stromaufnahme, keine Steuerelektronik), fLCOS, ForthDD (schnelle Schaltzeiten, externe LEDs erzeugen Farbe), AMOLED (aufgrund der Massenproduktion preisgünstig) und LCD Technologien.



**Abb. 39: Augmented Reality fähige HMDs**

Neue und angekündigte HMDs sind Augmented Reality fähig (Abb. 39, z.B. Sulon Cortex, Technical Illusions Cast AR, VRVANA Totem). Andere bieten Smartphone Halterungen mit Optik (z.B.: Archos VR Glasses, Carl Zeiss VROne, Durovis Dive, Google Cardboard, Samsung GearVR, vrAse) und nützen Smartphone Displays als zusätzliche Bildquelle (Abb. 40).



**Abb. 40: HMDs mit Smartphone Halterung**

Für den Einsatz in Fertigung und Montage sind Virtual Reality Brillen nicht geeignet, aber wegen der Vollständigkeit, sowie der Zugehörigkeit in dieser Zusammenfassung der Ausgabekomponenten, sind diese angeführt.

o Datenbrillen:

Das Einsatzfelder von Datenbrillen ist vielfältig, da ein Großteil der natürlichen Sicht unbehindert ist. Im Allgemeinen haben diese kleineren Displayflächen mit geringerer Auflösung als HMDs. Der Praxisbezug liegt zumeist bei anderer Verwendung als bei Head Mounted Displays.



**Abb. 41: Datenbrillen mit Trackingsystemen**

Zu den Datenbrillen (Abb. 41) mit einem Display und Trackingsystemen zählen z.B. Google Glass (640x360 Pixel, Gewicht: 54g), Optinvent ORA-1 (640x480, 80g), Recon Jet (432x240, 60g) und Vuzix M100/M100 Safety (432x240).

Hierbei bieten sich diverse Möglichkeiten bei der Prozessunterstützung während eines Arbeitsablaufs durch Zusatzanzeigen von computergenerierten Zusammenhängen in einer realen Umgebung. Der Content (Inhalt) wird häufig symbolisch oder alphanumerisch wegen Auflösung und Größe des Displays in AR Anwendungen dargestellt. Die Informationen können durch aktiven Abruf, im Zusammenspiel mit Hand Held (z.B. Logistikpad), im örtlichen Zusammenhang (z.B. RFID Bezug) oder ortssensitiven Annotationen, bei Anzeigen von Messdaten, Prozessparametern oder auch verborgener Objekte (Röntgenblick) angewandt werden. Der Vorteil gegenüber Tablet Computern liegt in Hands Free Einsatzmöglichkeiten.

Eine zukünftige Entwicklung zeigt das System der Microsoft HoloLens (Abb. 42), einer Augmented Reality Brille, indem durch transparente Bildschirme, hochauflösende Projektionen durch projizierte Lichtpunkte gesehen werden können. Die HoloLens wird von einem Intel Atom Chip für das Betriebssystem angetrieben und kann über ein eingebautes Kinect Sensor System, bei der durch die Kameras die Umgebung gescannt wird, eine dreidimensionale Ebene erzeugen. Die Brille ist über Gesten, Sprache, Kopf, Augenbewegung aber auch kleine Knöpfe zu steuern und zu bedienen.



Abb. 42: Microsoft HoloLens

- Virtual Retinal Display (VRD):

Mittels VRDs wird eine Darstellung direkt auf die Netzhaut projiziert. Es findet eine Weiterentwicklung der VRD Technologie, vor allem durch die gestiegene Lichtleistung der LEDs und der Verfügbarkeit der Leuchtdioden in den RGB (rot/grün/blau) Grundfarben statt. Der Vorteil der Technologie liegt im geringen Platzbedarf und Energieverbrauch des Systems, sowie der Helligkeit der Projektion, da See Through auch bei Tageslicht möglich ist. Es ist keine Fokussierung des Auges notwendig und daher auch für Leute mit Fehlsichtigkeit geeignet (z.B.: HMD Avegant Glyph)

Neben den Gestaltungsrichtlinien für Eingabegeräte (Angemessenheit, Handhabbarkeit, Steuerbarkeit, Minimierung der biomechanischen Belastung), die auch für Ausgabegeräte ihre Gültigkeit besitzen, gilt es individuelle ergonomische, den Nutzer betreffende und technische Anforderungen an die Verarbeitungskomponenten zu spezifizieren. Für eine ergonomische Beurteilung liegen die Schwerpunkte in vestibular visuellen Konflikten, Informationsdarstellung und einer situativen Displaybewertung. Dabei gilt es grundsätzlich Überlastungen des Auges durch Akkomodation im Nahbereich, unnatürliche Vergenz (Kehrwert des Krümmungsradius in der geometrischen Optik) oder Flimmern (aufgrund halbiertes Frequenz wie bei Shutterbrillen) zu vermeiden.

Die ergonomischen Hauptschwierigkeiten bei Datenhelmen und Brillen liegen in der physischen Belastung durch Form, Gewicht und Balance des Helmes und Gründen der Hygiene, sowie möglichen Zwangshaltungen bei Behinderung durch Kabel.

Als ergänzende Faktoren<sup>110</sup> an Tragekomfort und Handlichkeit in der Betriebsmittelgestaltung gelten zusammengefasst:

- geringes Gewicht und ausgewogene Schwerpunktlage
- justierbar (Einfachheit, Stabilität)
- wegklappbar und leichtes Auf-/Absetzen des Ausgabegerätes
- brillentauglich oder fehlsichtkorrigierbar
- kabellos
- äußere Ansteuerung zur Interaktion (Kopfhörer, Mikrofon, haptische Geräte)
- Arbeitszeittauglichkeit (Energieversorgung, Akkuleistungen).

- Verarbeitungskomponenten:

Für die Gestaltungsrichtlinien an die Verarbeitungskomponenten (Tracking-, Prozessor-, Darstellungs-Unit) der technischen Betriebsmittelgestaltung, gelten Anforderungen an die Technik (Display, Tracking und Interaktion) basierend auf der Auflistung der technischen und den wahrnehmungsbedingten Anforderungen aus Abschnitt 4.4.4 (Tabelle 20).

---

<sup>110</sup> Oehme O., 2004

Tracking und Darstellungsanforderungen	
Technische Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systemezeit</li> <li>▪ Kalibrierung (Justierung)</li> <li>▪ Registrierung (Anordnung der Objekte)</li> <li>▪ Bewegung des Benutzers (Tracking)</li> <li>▪ Auflösung (Grafikdarstellung)</li> <li>▪ Überlagerungsgenauigkeit</li> <li>▪ Verzerrung</li> <li>▪ Sichtfeld</li> <li>▪ (Herstellungskosten)</li> </ul>
Wahrnehmungsbedingte Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzerakzeptanz</li> <li>▪ Sicherheit</li> <li>▪ Sichtbarkeit</li> <li>▪ Adaption</li> <li>▪ Projektionsdistanz</li> <li>▪ Tiefenschärfe</li> <li>▪ Qualitätsaspekte</li> </ul>

Prozessoranforderungen (technischer Perspektive)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ spezifische Konfiguration der Soft- und Hardware (Rechenleistung)</li> <li>▪ passende Schnittstellen (Schnittstellenproblematik)</li> <li>▪ eine Verknüpfung des dahinter liegenden Datenmodells mit den Informationsquellen</li> <li>▪ sinnvolle Einschränkungen aufgrund unterschiedlicher Datenquellen</li> <li>▪ kohärente echtzeitbasierte Darstellung</li> <li>▪ kontextsensitiven gefilterte Informationen</li> <li>▪ entsprechenden Auswertungsalgorithmus</li> <li>▪ Zugriffsrechte und Sicherheitsaspekte</li> <li>▪ intelligenten Umgang mit großen Datenmengen der Produktion und Montage</li> <li>▪ Datenspeicher, Datenbank</li> <li>▪ durchgängige Betriebsdatenerfassung in der Produktion</li> </ul>

**Tabelle 20: Gestaltungsanforderungen an die Verarbeitungskomponenten**

Eine der größten Herausforderungen gilt der Erkennung der exakten Position eines Objektes um reale und virtuelle Informationen mit möglichst großer Genauigkeit lagerichtig deckungsgleich zusammenspielen zu können.

Die Gestaltung einer Nutzungsschnittstelle ist durch die sieben Grundsätze (Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Steuerbarkeit, Individualisierbarkeit, Lernförderlichkeit) für eine Gestaltung und Bewertung einer Mensch Maschinen Schnittstelle für interaktive Systeme festgelegt (vgl. Abschnitt 4.4.3). Die allgemeinen Gestaltungs-

prinzipien der Bedienbarkeit wie Aufgabenangemessenheit, Steuerbarkeit und Lernförderlichkeit sind in der DIN EN ISO 9241-110 Usability<sup>2</sup> beschrieben. Eine intuitive Abfolge der Ablaufschritte bei Interaktion, einfache Bedienung ohne großes technisches Grundwissen über das digitale Assistenzsystem wirkt sich weiters positiv auf die Benutzerakzeptanz aus.

Nachdem jeder Einsatz eines digitalen Assistenzsystems in der Fertigung und der Montage ähnlich einem Prototyp zu konzipieren ist, gilt es je nach Anforderung die geeigneten Komponenten auszuwählen. Genauere spezifische technische Gestaltungsrichtlinien werden in diesem Zusammenhang nicht erwogen, da für eine situationsbedingte Betrachtung einer Anwendung die nichtfunktionalen Anforderungen an die Systemgestaltung und an die Physis des Device (Gerätebeschaffenheit) unter dem Aspekt der Umgebungseinflüsse vorrangig zu behandeln ist. Weiters gilt es zu berücksichtigen, dass jede einzelne Komponente unterschiedliche funktionale Anforderungen je nach Anwendung erfüllen muss.

#### 4.6.2.3 Nichtfunktionale Gestaltung

Die nichtfunktionalen Gestaltungsrichtlinien stellen die Rahmenbedingungen dar, die auf den speziellen Einsatz eines digitalen Assistenzsystems zugeschnitten, Anwendung finden müssen. Sie ergeben sich aus dem spezifischen Arbeitssystem, seiner Umgebung, räumlicher sowie organisatorischer Bedingungen und müssen je nach Stand der Technik die Systemanforderungen, welche in Abschnitt 4.4.5 näher festgeschriebenen sind bestmöglich erfüllen.

Eine Übersicht (Tabelle 21) zeigt die wichtigsten Gestaltungsanforderungen an die Unterstützungssysteme.

Nichtfunktionale Anforderungen	
Resistenz, Robustheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gegenüber Umgebungseinflüssen (Hitze, Staub und Verschmutzung)</li> </ul>
Sicherheitsanforderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betriebssicherheit</li> <li>▪ Systemstabilität</li> <li>▪ Informationssicherheit</li> <li>▪ Datenintegrität</li> </ul>
Verfügbarkeit von Daten	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vertraulichkeit</li> <li>▪ Zugriffsrechte</li> </ul>
Unabhängigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzerumgebung</li> <li>▪ Offline Nutzung der Software</li> <li>▪ Schutz vor äußeren Einflussnahme</li> <li>▪ Hard- und Software auch auf anderen Assistenzsystemen einsetzbar</li> </ul>

Plattformunabhängigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Portierbarkeit</li> <li>▪ Übertragbarkeit</li> <li>▪ Anpassbarkeit</li> <li>▪ Installierbarkeit</li> <li>▪ Konformität</li> <li>▪ Austauschbarkeit</li> </ul>
Betriebswirtschaftliche Sicht	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Termin (Realisierungsschiene)</li> <li>▪ Kosten (Kosten-Nutzen Rahmen)</li> </ul>
Zuverlässigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systemreife</li> <li>▪ Wiederherstellbarkeit</li> <li>▪ Fehlertoleranz</li> <li>▪ Verfügbarkeit und Korrektheit des Systems</li> </ul>
Benutzbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Benutzerfreundlichkeit</li> <li>▪ Verständlichkeit</li> <li>▪ Erlernbarkeit</li> <li>▪ Bedienbarkeit</li> </ul>
Wartbarkeit	<p>Aufwand zur Ausführung ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ von Verbesserungen</li> <li>▪ zur Fehlerbeseitigung</li> <li>▪ Anpassung an Veränderungen der Umgebung</li> </ul>
Effizienz	<p>zeitliche Verhalten bei</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anfragen</li> <li>▪ Bearbeitungen</li> </ul> <p>Ressourcenverbrauch bei</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Speicherkapazität</li> <li>▪ Systemanforderungen</li> </ul>
Allgemeine nichtfunktionale Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aussehen</li> <li>▪ Korrektheit (fehlerfreien Ergebnisse)</li> <li>▪ Flexibilität bei der Unterstützung von Standards</li> </ul>

**Tabelle 21: Nichtfunktionale Gestaltungsanforderungen**

Der Systemaufbau und die technischen Bedingungen an die digitalen Assistenzsysteme können von Fall zu Fall grundunterschiedlich sein. Daher gibt es keine überall einsatzfähigen Komponenten, die alle Anforderungen erfüllen können. Die nichtfunktionalen Anforderungen an die Betriebsmittelgestaltung sind gegebenenfalls mit gültigen Sicherheitsvorschriften und Normen abzugleichen.

#### 4.6.2.4 Alternsgerechte Gestaltung digitaler Assistenzsysteme

Die technische Betriebsmittelgestaltung erfordert aus benutzer- und altersgerechter Sicht eine individuell den kognitiven Fähigkeiten des Nutzers angepasste Informationsdarstellung.

- Kognitive und organisatorische Ergonomie:

Zu einem mitarbeiterseitigen nutzerbedingten, sowie altersgerechten Gestaltungsbereich zählen auch die resultierende Arbeitsgestaltung aus ergonomischen kognitiven und organisatorischen Untersuchungen. Die kognitive Ergonomie (Ingenieurspsychologie) untersucht Arbeitsbedingungen, die von psychischen Prozessen betroffen sind, wie Wahrnehmung, Denken, Gedächtnis und motorische Reaktionen, die Interaktionen im Arbeitssystem beeinflussen. Ziel ist es, diese hinsichtlich Leistungsfähigkeit der Beschäftigten, Wohlbefinden und Gesundheit zu optimieren. Gegenständlich wird die nähere Betrachtung auf die Analyse von kognitiven Prozessen gelegt, die Aufmerksamkeit, Wissen und Schlussfolgerungen erfordern, wie beim Arbeiten in komplexen, variablen und flexiblen Situationen. Dazu zählen in dieser Arbeit nicht behandelte, aber betroffene Themen wie:

- mentale Arbeitsbelastung
- Entscheidungsfindung
- qualifizierte Leistung
- menschliche Zuverlässigkeit
- Arbeitsstress und Training

Das Gebiet der organisatorischen Ergonomie befasst sich mit der Optimierung von soziotechnischen Systemen, einschließlich ihrer Organisationsstrukturen, Richtlinien und Prozesse. Die wesentlichen Gestaltungsansätze wurden in Abschnitt 3 erörtert. Ziel ist die Optimierung der Effizienz:

- der interpersonellen Kommunikation
- Arbeitsgestaltung
- Arbeitssysteme
- Gestaltung von Arbeitszeiten
- Teamarbeit, und kooperative Arbeit
- neue Arbeitsprogramme und Organisationen

- Qualitätsmanagement.
- Alternsgerechte ergonomische Arbeitsplatzgestaltung:

Mit einer Analyse von den Arbeitsaufgaben, dem Mensch Maschinen Zusammenspiel und den Arbeitsumwelteinflüssen in Arbeitssystemen werden Erkenntnisse für die Festlegung von Regeln zur Gestaltung der Mensch Maschine Interaktion unter dem Gesichtspunkt einer ausgewogenen Belastung des Benutzers erlangt. Bei Betrachtung der Leistungen innerhalb der individuellen altersgerechten Grenzen menschlicher Leistungsvoraussetzungen gilt für die Gestaltung industrieller Arbeitsplätze als Prämisse, dass Menschen dort über lange Zeit arbeiten können. Eine Bewertung der Leistungsfähigkeit älterer Mitarbeiter für die Gestaltung des Arbeitsplatzes ist wegen der sehr starken Streuung der Leistungsvoraussetzungen nach dem kalendarischen Alter nicht möglich (vgl. Abschnitt 3.3.1.4). Trotz interindividueller Leistungsunterschiede, die mit dem Alter steigen stellen tätigkeitsspezifischen Belastungskonstellationen wichtige Einflussgrößen auf die Leistungsvoraussetzung von Mitarbeitern dar. So sind für eine alternsgerechte ergonomische Arbeitsplatzgestaltung entsprechende antropometrische Informationen über einen Nutzer notwendig. Neueste Gestaltungsansätze beurteilen nicht nur die Körperhaltung und Gelenkstellung, sondern durch Simulation (vgl. Abschnitt 4.5.2.1) und durch biomechanische Ansätze können Rückschlüsse auf Arbeitsräume, maximale Körperkräfte und damit verbundene Belastung und Leistungsfähigkeit geschlossen werden. Für eine allgemeine Erhebung einer Arbeitsplatzgestaltung unter Berücksichtigung digitaler Assistenzsysteme sei an dieser Stelle auf die Bewertung der Körperhaltung bei Arbeit an Maschinen<sup>111</sup> und auf die betreffende Norm, die gleichermaßen Körperhaltung und Bewegung berücksichtigt verwiesen<sup>112</sup>. Für alternsgerechten Gestaltungsrichtlinien gilt es ungünstige Körperhaltungen und Körperstellungen zu verhindern, um vorzeitiger Muskelermüdung, erhöhten Energieumsatz oder vermehrte Kreislaufbeanspruchung entgegenzuwirken. Dabei gilt es auch negative Langzeitfolgen für den Mitarbeiter zu verhindern.

- Alternsgerechte Wahrnehmungsgestaltung:

Eine der wesentlichsten Veränderungen im Alter betrifft die Reduktion in der visuellen Wahrnehmung. Aus diesem Grund gilt es bei der Gestaltung digitaler Assistenzsysteme den Sehbedingungen, der Lesbarkeit, der Leuchtdichte, den visuellen Artefakten und einer Wiedergabetreue besondere Aufmerksamkeit zu geben.

---

<sup>111</sup> DIN EN 1005- 4:2005

<sup>112</sup> DIN EN 1005:2002-2007

- Sehbedingungen, Lesbarkeit:

Das subjektive Wohlbefinden steigt bei größeren Beleuchtungsstärken. Für ein belastungsarmes Lesen heutiger Bildschirmanzeigen liegt eine Beleuchtungsstärke bei >500 lx (allgemeine Raumbeleuchtung 300-500 lx, Arbeitsplatzbeleuchtung 500-1000 lx). Ältere Mitarbeiter sehen bei mehr Helligkeit, trotz erhöhter Blendempfindlichkeit, schärfer und es ist neben einer Anpassungsmöglichkeit für die individuellen Beleuchtungsverhältnisse ein Bereich zwischen 750 bis 1500 lx im Arbeitsbereich empfohlen. In der DIN 9241 Teil 6 wird den Beschäftigten mehr Einfluss auf die Lichtgestaltung eingeräumt.

Bildschirmdiagonale LCD	Richtwerte Sehabstand
15 Zoll – 38 cm	60 cm
17 Zoll – 43 cm	70 cm
19 Zoll – 48 cm	80 cm
21 Zoll – 53 cm	80 cm
22 Zoll Breitformat	90 cm

**Tabelle 22: Richtwerte für Sehabstände Auge Bildschirm (Quelle: BGI 650, DGUV-I215-410)<sup>113</sup>**

Für die Distanz zwischen der Bildschirmoberfläche und dem Betrachter gibt es Richtwerte (Tabelle 22) und für den jeweiligen Sehabstand eine zugehörige Zeichenhöhe. So soll bei 50 cm Abstand ein Großbuchstabe 3,2-4,5 mm und bei 80 cm 5,2-7,3 mm hoch sein. Durch eine geeignete Gestaltung der Software sollte eine subjektiv geeignete Zeichenvergrößerung per Zoomfunktion gewährleistet sein. Beim Vergrößern der Displaydarstellung für eine bedarfs- und altersgerechte Datenbereitstellung darf kein Verlust durch aus dem Bildschirmfenster wandernde wesentliche Informationen auftreten. Alle Hilfestellungen aus dem Assistenzsystem im Bereich der visuellen Wahrnehmung, müssen für die einzelnen Arbeitsschritte ohne zusätzliche Handhabung verfügbar bleiben.

- Leuchtdichte, visuelle Artefakte, Wiedergabetreue:

Neben dem Einsatz von Flüssigkristall Flachbildschirmen (LCD), finden Matrix LCDs häufig als TFT Display (Thin Film Transistor) bezeichnet, ihre Anwendung in der Industrie. Technologisch gibt es hier einige Unterschiede. So können transflektive Displays in direktem Sonnenlicht und zusammen mit einer Hintergrundbeleuchtung auch bei schwachem Licht betrachtet werden. Die Vorteile von MVA/PVA Bildschirmen liegen in einem höheren Kontrast

<sup>113</sup> DGUV Information 215-410 (bisher BGI/GUV-I 650), 2015

(>1000:1, zu TN Bildschirm < 800:1) und bieten zudem eine große Blickwinkelunabhängigkeit. Durch eine richtige Auswahl können altersgerechte Anforderungen (Helligkeit, Farben, Leuchtdichte, Kontrast, Auflösung) schon bei Systemkonfiguration berücksichtigt werden.

Unter der im Alter abnehmenden menschlichen Sehleistung wird die Fähigkeit des Auges schnell Helligkeitsunterschiede, sowie Farb- und Formstrukturen von visuell fixierten Darstellungen wahrzunehmen verstanden. Hierfür gibt es keinen spezifischen Kennwert, da äußere Rahmenbedingungen Einfluss auf eine Anzahl elementarer Augenfunktionen haben<sup>114</sup>.

Die Leuchtdichte, der Leuchtdichtekontrast und Zeichenattribute legen fest inwieweit Informationen für einen Nutzer eines Assistenzsystems einfach und schnell erkennbar sind. Der Leuchtdichtekontrast in der Darstellung stellt durch die reduzierte Fähigkeit der Farberkennung mit zunehmendem Alter eine wesentliche Bedeutung für visuelle altersgerechte Gestaltungsrichtlinien dar. Ein Sehen bei Tageslicht wird mit einer Leuchtdichte von  $\geq 100 \text{ cd/m}^2$  angesetzt. Um mit einem Display bei Kunstlicht in Innenräumen arbeiten zu können sollten 200-220  $\text{cd/m}^2$  einstellbar sein. Als Anhaltswert gilt etwa 280-300  $\text{cd/m}^2$ , um im Freien bei Sonnenlicht, zu arbeiten und je niedriger der Wert, desto dunkler ist das Display. Industriebildschirme besitzen meist eine dimmbare Helligkeit (von z.B. 12,5-300  $\text{cd/m}^2$ ).

Nur bei den herkömmlichen Röhrengeräten kann es zum Flimmern kommen, wenn die Bildwiederholfrequenz zu niedrig ist. Diese sollte wenn überhaupt noch technologisch eingesetzt, bei qualitativ hochwertige Bildschirme mit einer Bildwiederholfrequenz von mindestens 85Hz bis 100 Hz liegen. Die Bild Darstellung auf TFT Monitore<sup>115</sup> ist absolut flimmerfrei, weil die Flüssigkristallanzeige wie ein Bildspeicher funktioniert, indem die Bilder nicht ständig wieder neu aufgebaut werden müssen.

Eine Positivdarstellung, eine eindeutige Bedeutungscodierung (empfohlene Leuchtdichte zur Warnung vor Gefahren:  $\geq 300 \text{ cd/m}^2$ ) und die Berücksichtigung von Farbempfindlichkeiten (optimale Leuchtdichte für Farbsehen:  $\geq 100 \text{ cd/m}^2$ ) erhöhen altersgerechte Lesbar- und Leserlichkeit.

Bei anisotropen Anzeigen, zu denen die LC Displays gehören, müssen in einem zum Nutzungskontext festgelegten Sehwinkelbereich die Anforderungen an Leuchtdichte und Leuchtdichtekontrast erfüllt sein. In den technischen Daten der Displayhersteller wird meist der Blickwinkel spezifiziert unter der diese ungetrübte Sehrichtung aus unterschiedlichen Arbeitshaltungen

---

<sup>114</sup> Hentschel H.J., 1994

<sup>115</sup> DIN EN ISO 9241-307, 2008

einhalten ist. Die Zeichenhöhe und -verkürzung, der optimale Blickwinkel auf eine Anzeige<sup>116</sup>, sowie Schriftart sind in Normen festgesetzt, können aber altersgerecht durch Vergrößerung der Anzeigen individuell verändert werden.

- HMD, VRD, Datenbrille:

Mit Head Mounted Displays (HMDs) wird ein virtuelles Bild generiert, das entweder direkt (Optical See Through) oder über optische (Video See Through) Systeme projiziert, aktiv betrachtet wird. Die begrenzte Bilddarstellungsfläche gerade in direkten Systemen und ein hohes Gewicht ( $> 1,2$  kg) der Komponenten sprechen gegen eine altersgerechte Einsatzmöglichkeit. Die Bildschärfe kann vom Benutzer nur in einer bestimmten Tiefe fokussiert werden. Dies erfolgt meist auf dem realen Hintergrund des Umfeldes, sodass der Eindruck eines schwebenden Bildes entsteht. Durch die begrenzte Helligkeit ( $\leq 100$  cd/m<sup>2</sup>) der Systeme ist zusätzlich die Nutzung ausschließlich in Innenräumen brauchbar, wobei sie der Arbeitsumgebung angepasst sein sollte.

Der Vorteil der Virtual Retinal Display (VRD) Technologie liegt, dass mit Hilfe von modulierbaren Prismen oder lichtbrechenden und -reflektierenden Spiegeln ein Lichtstrahl so auf die Retina gelenkt wird, damit beim Systembenutzer der Eindruck eines großen virtuellen Bildes entsteht. Es kommt zu keinem Lichtverlust, da kein Photon verschwendet wird, und die Helligkeit der Displays ermöglicht den Einsatz solcher Systeme bei Umgebungslicht. Durch eine äußerst geringe Lichtintensität besteht entgegen anderen Befürchtungen keine Gefahr für das menschliche Auge (Angaben des HIT-Laboratory der Universität Washington). Die Lichtstrahlen erzeugen eine Gesamtenergie, die selbst bei Blockieren des Scanners um das zwei- bis dreifache unterhalb der maximal zulässigen Laserstrahlungsmenge für eine Schädigung des Auges (Maximum Permissible Exposure, MPE) liegt<sup>117</sup>. In einer solchen Störungssituation würde der Laser einfach abschalten. Die maximal zulässige Leistung für gefährliche Strahlen ins menschliche Auge bei Laser liegt bei 1mW<sup>118</sup>.

Die bei einem Virtual Retinal Display erzeugte Gesamtenergie des Lichtstrahls liegt laut den Angaben des HIT-Laboratory im Bereich zwischen 100-300 nW, wobei die Unterschiede zwischen den Spektralfarben zu beachten sind. Somit stellen die größten Probleme die Fokussierung freischwebender Bilder durch eine nicht exakt coplanare Projektion zur Pupillenöffnung und Augenbewegungen, die zur Verdeckung des Lichtstrahls durch die Iris führen, dar. Abhilfe schafft bei Zweiterem ein Eye Tracking Device, das Augenbewegungen und Displayverän-

---

<sup>116</sup> DIN EN ISO 9241-303, Entwurf 2006

<sup>117</sup> Pryor H.L. et al., 1998

<sup>118</sup> BVA, 2014

derungen innerhalb eines Sichtradius erkennt und so eine wiederholende Neukalibrierung des Gerätes nicht notwendig macht.

Datenbrillen bieten Ausführungen eines virtuellen Ausgabegerätes, die für eine altersgerechte Assistenzsystemkonfiguration, auch aufgrund des geringeren Gewichts, besser geeignet sind. Die Nutzerakzeptanz wird maßgeblich von subjektiven Eigenschaften wie dem Tragekomfort, durch die Balance (Schwerpunktslage), sowie gute Sitzeigenschaften, die keine Druckstellen hinterlassen, aber auch technologischen Eigenschaften wie Akkulaufzeiten und zusätzlichen Systemaufbauten der Interaktion beeinflusst.

Nachdem viele ältere Mitarbeiter Brillen oder Kontaktlinsen tragen, müssen die HMDs wie auch Datenbrillen für Träger von Sehhilfen einsatzfähig bleiben. Hierbei gilt es eine entsprechende Einstellmöglichkeit des Augenabstandes (Eye Relief) für die maximale Entfernung vom Auge, um das komplette Bild zu sehen, einzufordern. Für Einsatzmöglichkeiten in den Bereichen der Fertigung und der Montage eignen sich monokulare Darstellungssysteme, um den Bezug zur Umwelt natürlich zu belassen, am besten. Die primäre Arbeitstätigkeit sollte dabei nicht durch Beeinträchtigung oder Verdeckung des Sichtfeldes behindert werden. Es ist eine beidseitige Positionierungsmöglichkeit des Displays für die Verwendung eines bevorzugten Auges zu ermöglichen, welches wiederum von der spezifischen Tätigkeit abhängig sein kann. Dabei gibt es neben kompletten Datenbrillensystemen auch Clip On Anwendungen für Schutzhelme und Brillenträger. Generell gilt, dass wichtige Informationen möglichst dicht am visuellen Zentrum dargestellt werden sollen.

Unabhängig von der Wahl des Ausgabegerätes liegen wichtige Gestaltungsrichtlinien im Bereich Augmented Reality in der Systemzeit und in der Überlagerungsgenauigkeit der realen mit der virtuellen Information, da kognitive Prozesse älterer Mitarbeiter langsamer ablaufen. Um eine breitere Nutzerakzeptanz zu erlangen, muss das System nicht nur schnell, genau, sowie hoch auflösend, sondern auch leicht und robust sein.

- Kognitive Wahrnehmung:

Die wahrgenommenen Informationen eines Menschen und deren Verarbeitung unterliegen einem dynamischen Vorgang ähnlich einem Kreisprozess, da die Informationen jenes Wissen generiert, welches weitere Wahrnehmungen mitbestimmt. Im ikonischen Gedächtnis werden visuelle Reize zwischengespeichert und auditive im Echospeicher, der diese sensorischen Wahrnehmungen für 4-18 s aufrechterhält. Der ikonische Speicher hält nicht so lange und hat eine

Speicherdauer von in etwa 200 ms<sup>119</sup> bis die ersten Gedächtnisspuren zerfallen.

Die Zerfallszeiten sind alters- und personenabhängig und das kognitive System wird auch durch Emotionen und Motivation beeinflusst. Nachdem der echoische sensorische Speicher in der Lage ist Informationen länger verfügbar zu halten, sollten Signale oder kritische Informationen für die kognitive Weiterverarbeitung (wie Denken und Absichten) altersgerecht nicht ausschließlich über eine Darstellung erfolgen. Die grundsätzliche Darstellung von Informationen<sup>120</sup> ist durch charakteristische Eigenschaften wie Klarheit, Unterscheidbarkeit, Kompaktheit, Konsistenz, Erkennbarkeit, Lesbarkeit und Verständlichkeit geregelt. Für eine erfolgreiche Interaktion zwischen Assistenzsystem und seinem Benutzer seien an dieser Stelle nochmals die sieben Dialogprinzipien wie in Abschnitt 4.4.3 beschrieben, erwähnt.

- Altersgerechte Wissensaufnahme:

Die Entwicklung von weiteren Fähigkeiten bei Mitarbeitern stellt in Arbeitsumgebungen mit neuen Technologien, aber auch technisch autonomen und intelligenten Systemen eine wesentliche Herausforderung dar. Bei der Systemgestaltung von Assistenzsystemen muss die Entwicklungs- und Lernmöglichkeiten älterer Mitarbeiter mittels altersgerechter Didaktik berücksichtigt werden. Altersgerechte Didaktik, auf Wissen basierend, beim Aneignen von neuem Wissen und Einbindung in neue Technologien stellt neben der Benutzereinbindung in der Entwicklung einen wesentlichen Zugang altersgerechter Gestaltungsrichtlinien dar.

---

<sup>119</sup> Wandmacher J., 1993

<sup>120</sup> DIN EN ISO 9241-12, 2000

## 5 Experteninterview

Nach einer umfassenden Auseinandersetzung mit der Thematik einer altersgerechten Arbeitgestaltung unter Zugrundelegen der Folgen der demographischen Entwicklungen in den Industriestaaten, insbesondere der österreichischen Situation, wurden Wert auf eine umfassende Information dieser sozialpolitisch brisanten, aber wirtschaftlich gesellschaftlichen wichtigen Thematik gelegt. Nach dem Recherchieren der technologischen und nutzerbedingten Anforderungen digitaler Assistenzsysteme wurden daraus jene Gestaltungsmöglichkeiten evaluiert, denen diese unter Berücksichtigung altersgerechter Bedingungen unterliegen.

Aufgrund des technischen Standes einer zukunftsorientierten Technologie und der umfassenden Anforderungen der Unternehmen wurde trotz eingeschränkter Frage nach konkreter Betrachtung digitaler Assistenzsysteme in Fertigung und Montage die Basis der Arbeit breiter aufgesetzt. Um einen gesamtheitlichen Überblick für die Thematik, sowie eine Bekräftigung der Ausarbeitung zu erhalten, wurde seitens der Interviewpartner für die Experteninterviews<sup>121</sup> auf eine ausgewogene Mischung geachtet. Die Aufteilung der Interviewpartner deckt das Spektrum der Forschung, der Zulieferbetriebe, sowie Anwender und das der Produktionsbetriebe ab.

	IT, Beratung	Forschung	Produktion
Unternehmen 1		F1	
Unternehmen 2		F2	
Unternehmen 3		F3	P1
Unternehmen 4		F4	
Unternehmen 5			P2
			P3
Unternehmen 6			P4
Unternehmen 7		F5	P5
			P6
Unternehmen 8			P7
Unternehmen 9			P8
Unternehmen 10			P9
Unternehmen 11	C1		P10

<sup>121</sup> Meuser M. et al., 1991

Unternehmen 12			P11
Unternehmen 13		F6	
Unternehmen 14	C2		
Unternehmen 15	C3		

**Tabelle 23: Auflistung der Experteninterviews**

Alle Gesprächspartner haben in den jeweiligen Unternehmen eine leitende Funktion inne und wurden gemäß ihrem Expertenwissen den Bereichen IT, Beratung, Forschung und Produktion (Fertigung und Montage) zugeordnet (vgl. Tabelle 23). Deren Gesprächsbereitschaft hat einen maßgebenden Anteil am Gelingen dieser Arbeit und brachte interessante Aspekte aus der Praxis mit ein.

Um eine Basis für die qualitative Auswertung zu bekommen, ist vorab ein Leitfaden<sup>122</sup> für die Befragung erstellt worden. In diesem werden die Einsatzmöglichkeiten von digitalen und Unterstützungssystemen mit virtuellen Informationsausgaben in der Fertigung und Montage und die Anforderungen einer zukünftigen Mensch Maschinen Interaktion hinterfragt. Nachdem Systemanwendungen diesbezüglich Prototypen darstellen, gilt es für die wissenschaftliche Arbeit die Physis des Device (Gerätebeschaffenheit), sowie ein digitales/virtuelles Setup zu hinterfragen.

Das Interesse galt bei einem praxisnahen Bezug den funktionalen/nicht funktionalen Anforderungen digitaler Assistenzsysteme, sowie in weiterer Folge den altersgerechten Gestaltungsrichtlinien diesbezüglich.

Der Auszug der Gesprächspartner legt nicht einen repräsentativen Querschnitt der Grundgesamtheit relevanter Kontaktunternehmen dar, zeigt aber sehr wichtige Meinungsbildner im regionalen Kontext. Der Themenkreis der Befragungen umspannt digitale Assistenzsysteme, virtuelle Ausgabe, alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung, sowie zielführende Gestaltungen von digitaler/virtueller Assistenz, aber auch zukünftige Szenarien einer „Cyber Physical System / Industrie 4.0“ Produktion aufbauend in einer Informations- und Wissensgesellschaft.

Die Auswertung der Experteninterviews soll eine Bestätigung der theoretischen Ausarbeitung darstellen und gegebenenfalls eine Zusatzinformation als praktischen Bezug zum Literatursurvey liefern.

Die zentrale Forschungsfrage der wissenschaftlichen Arbeit gilt der Erörterung von:

*„Welche Anforderungen werden an digitale Assistenzsysteme der Produktion und Montage gestellt, um einer altersgerechten Gestaltung in Arbeitssystemen gerecht zu werden?“*

<sup>122</sup> Mieg H. A. et al., 2005

## 5.1 Zusammenfassung / Ausblick

Eine Individualisierung bei Produkten für den Endnutzer und Kunden führt zu kleineren Losgrößen in der Herstellung bei einer steigenden Variantenvielfalt. Hohe qualitative Ansprüche sichern im Wettbewerb mit der Konkurrenz die Wirtschaftsposition und führen gegebenenfalls zu ansteigenden Marktanteilen. Die Beschäftigten in Produktionen sind laufend gefordert komplexere Arbeitsinhalte ihrer Aufgaben fehlerfrei zu erfüllen. Die Aufgaben von Assistenzsystemen liegen in einer symbiotischen Kooperation zwischen Mensch und Maschine. Diese dienen dem Menschen als physische, sowie psychische Entlastung und müssen sich in Echtzeit an veränderte Produktionsumgebungen anpassen. Am Anfang des Entscheidungsprozesses für einen Einsatz von Assistenzsystemen im Unternehmen stehen Grundsatzfragen:

*„Welche Unterstützung macht im Industriebereich Sinn?“ [F3]*

*„In welchem Arbeitssystem, Prozess bin ich ineffizient und welchen Need (Nutzen) habe ich vom Assistenzsystem?“ [F4]*

Ansätze für die Beantwortung nach dem Bedarf eines Unterstützungssystems in Produktion und Montage wären:

*„Mehr zielgerichtete Informationen zum Werker bringen.“ [P4]*

*„Mit neuer Sensorik bekommen wir geringere Fehlerquoten in der Fertigung.“ [F4]*

*„Der Stillstand in der Fertigung wird reduziert.“ [F4]*

*„Über ein Kontrollsystem in einer Arbeitsfolge (AFO) werden Nacharbeitsstationen eingespart.“ [F4]*

Rechnerbasierte informationstechnische Assistenzsysteme sollen dabei einen Mitarbeiter beim Umsetzen und Entscheiden im Arbeitsprozess unterstützen. Hier gilt es individuell, nicht nur einfach Informationen, Daten und Fakten kurzfristig, sondern auch Hilfestellungen für Entscheidungen und Lösungen von Problemen zu generieren. Digitale Assistenzsysteme dienen einer individuellen Unterstützung des Mitarbeiters im Unternehmen, um variable Informationen in Echtzeit im Arbeitssystem zu bekommen. Sicherheit, Zuverlässigkeit und eine hohe Verfügbarkeit der Unterstützungssysteme haben höchste Priorität. Bei der Assistenz in Arbeitssystemen müssen eine Sicherheit gegenüber Fehlern im Wireless Betrieb, sowie bei der Mensch Maschinen Interaktion in Echtzeit über sicherheitsrelevante Abschaltungen, stets abgestimmt auf die spezifischen Anforderungen und Normen der Unternehmen, berücksichtigt werden.

Digitale Assistenzsysteme leiten sensorische Größen und Daten mit elektronischen Datenverarbeitungssystemen digital zu deren Nutzung weiter. Diese digitalisierten

Werte können zur virtuellen Unterstützung in einer Anwendung generiert werden. Die Bandbreite erstreckt sich von einer einfachen visuellen Darstellung für Arbeitsinhalte und Anweisungen bis hin zu einer kontextsensitiven Mixed Reality Unterstützung im Arbeitssystem. Assistenzsysteme werden sinnvoll eingesetzt, wenn im Produktions- oder Montageablauf Variantenvielfalt und Flexibilität gefordert sind. Großserien mit hohen Stückzahlen laufen in der Regel unter Zuhilfenahme von kontinuierlichen Verbesserungsprozessen fehlerfrei, dadurch finden Assistenzsysteme vor allem bei Fertigungen und KMUs mit kleiner variabler Fertigung (Werkstattfertigung), bei denen große Schwankungen bei der Toleranz und Abweichungen im Prozess auftreten können, ihren Einsatz. Durch die Verwendung von optischen Komponenten sind diese Systeme auch bei Überwachungen und Dokumentationen einsetzbar. Ziel von Assistenzsystemen ist es Aktionen und Aktivitäten eines Benutzers mittels 3D Sensorik zu erkennen und zu interpretieren. Hierbei gilt es Störeinflüsse menschlicher Aktivitäten in der Fertigung mit unterschiedlichen Niveaus robust zu erkennen und mit Hilfe der gewonnenen Interpretationsdaten Arbeitspläne automatisiert zu erstellen.

Herkömmliches Assembling (Zusammenbau) beginnt im Maschinenbau in der Konstruktion, wo die Arbeitsschritte der Montage sinnvoll festzulegen sind. Für die Ablaufkoordination ist es enorm wichtig, Daten über Verfügbarkeiten und Fertigstellungsgrade in der Produktion und Montage in Echtzeit zu erhalten. Gesucht ist ein Führungssystem um Fehler im Zusammenbau aufzuspüren und eine Anleitung für den Ablauf, wie der Werker gegebenenfalls eingreifen kann. Für eine Anleitung ist eine virtuelle Darstellung über Projektion geeignet, aber diese Systeme sind für eine Überwachung zu ungenau. Je nach Qualitätsanspruch ist auch von mehr Rechenleistung im System auszugehen. Für eine hochwertige Überwachung wird eine bestimmte Genauigkeit vorausgesetzt. Aus der Industrie wird zunehmend VGA Auflösung mit 3D Standard gefordert. Dies bringt mehr Genauigkeit, bedeutet aber mehr Rechenleistung, mehr Kosten und somit ein hohes Invest. So legen die Toleranzgrenzen beim Tracking die Frage nach dem Qualitätsanspruch fest.

Meist liefert die klassische Sensorik bessere Systeme für die Prozesssicherheit. In der Praxis wird das Lean- oder Qualitätsmanagement mit Regelkarten abgedeckt, wobei klassische Qualitätsregelkreise ohne große Flexibilität für lang laufende Produktionen störungsfrei laufen.

In der klassischen Automatisierungstechnik ist das Problem der Referenzierung im Raum gelöst. Bei Assistenzsystemen und genauer Steuerung ist diese über GPS (Global Positioning System) steuerbar, aber es gilt die Sicherheit im Prozess auch bei Zugriff über eine grobe Referenz mittels Marker oder über RFID sicherzustellen. Radio Frequency Identification (RFID) ist eine Sender/Empfänger System Technologie für die automatische berührungslose Identifikation und Lokalisierung von Objekten mit Radiowellen. Das System besteht aus einem Transponder, einer Funketiket-

te, die einen gekennzeichneten Code enthält, der sich am oder im Gegenstand befindet, sowie einem Auslesegerät für diese Kennung. In weiterer Verwendung von RFID oder über Funk ist es beispielsweise möglich Mitarbeiter der Instandhaltung direkt zu einem Einsatzort zu rufen und diese anschließend mit Augmented Reality Technologien bei Informationen der Wartung anzuleiten.

In digitalen Fabriken wird auch die Ressource Mensch digitalisiert. In einer vertikale Integration über Einbindung mit Interface oder Endgerät, mit einem großen mächtigen Hirn im Hintergrund, werden Konstruktionsdaten bis zum Shop Floor (Fertigung) mit den Assistenzsystemen geliefert und Rückmeldungen aus diesem System zurückgespielt, bei der Forderung mehr Varianten sicherer zu produzieren, sowie bei schnellerer, flexiblerer, produktiverer billigeren Fertigung und Montage. Eine hierfür notwendige technologische Flexibilität der Endgeräte ist gegeben, aber die Datenflexibilität heutiger ERP Systeme lassen diese Forderungen in diesem Ausmaß noch nicht zu. Ein Enterprise Resource Planning System (ERP) ist eine komplexe Anwendungssoftware oder eine Vielzahl von miteinander kommunizierender IT Systemen, die zur Unterstützung der Ressourcenplanung des gesamten Unternehmens eingesetzt werden. Komplexe ERP Systeme werden häufig in Teilsysteme, sowie Anwendungsmodule aufgeteilt, die je nach Unternehmensbedarf miteinander kombiniert werden können. Solche Systeme sind mit einer geschützten Cloud vergleichbar. Cloud Computing bezeichnet das Speichern von Daten in entfernten Rechenzentren und Ausführen von nicht lokal am Arbeitsplatz oder zugehörigen Servern installierten Programmen. Technisch interpretiert werden IT Infrastrukturen dynamisch bedarfsgerecht über ein Netz zur Verfügung gestellt. Dies betrifft Datenspeicher, Rechen- und Netzkapazität, aber auch anwenderfertige Software. In diesem Zusammenhang fällt auch der Begriff Big Data. Dieser bezeichnet zu große, zu komplexe Datenmengen, die einer zu schnellen Veränderung unterworfen sind, um sie mit den klassischen Methoden der Datenverarbeitung auszuwerten.

In neuen Organisationsstrukturen gilt es eine schnellere Informationsbereitstellung ohne Papier auszuführen. Dabei stellt sich aber die Frage:

*„Wie lasse ich einerseits digitale Informationen in meinen Prozess herein und wie bringe ich andererseits Informationen schneller und zielgerichtet an den Werker heran?“ [F2]*

Digital geführte Anweisungen machen Sinn, wenn in größeren Dimensionen Informationen verfügbar gemacht werden und gezielte Abfragen von Daten erfolgen. Dabei gilt:

*„Wie komme ich schnell zur geforderten Information?“ [F3]*

Ein Assistenzsystem soll Richtigkeit und Fertigstellungsgrad der Arbeitsaufgabe selbständig erkennen können, um nächste Arbeitsschritte und Anweisungen einleiten

zu können. Sinn macht, wenn ein intelligentes System erkennt, ob der User Fehler macht und kognitiv einschreitet. Dabei gilt es für den Bedarf zugeschnittene Systeme und Lösungen zu entwickeln, die finanzierbar bleiben.

In vielen Betrieben gibt es zurzeit eine einfachere Form der Assistenz durch Hinterlegen von Anweisungen, Vorschriften sowie Arbeitsgängen am Transportwagen mit Wagenummer und Teilenummer. In Produktionen werden Informationen über Barcode, einer Schlüsseltechnologie auf dem Gebiet der automatischen Identifikation und Datenerfassung, am Werkzeugträger weitergeleitet. Im Unternehmen kann dadurch jederzeit effizient und automatisch verfolgt werden, welche Artikel wo vorhanden sind. Der Einsatz der Barcodetechnik in der Fertigung unterstützt Prozesse, das Bestandsmanagement und die Verfolgung von Wareneingang und Warenausgang bei Produkten, die für die Fertigung von zentraler Bedeutung sind. In Verbindung mit dem Fertigungsmanagement und dem ERP/SAP System hilft die Datenerfassung dem Unternehmen bei der Erhöhung der Arbeitseffizienz. Basierend auf Barcode werden auch vermehrt RFID Technologien eingesetzt.

In zukünftigen Montagesystemen muss am Arbeitsplatz eine digitale Form der Daten zur Verfügung stehen. Dabei ist eine Anforderung an das Assistenzsystem die nutzergeführte, richtige und einfache Datendarstellung aus dem ERP/SAP für notwendige Daten, die der Werker individuell benötigt. Die Unterstützung durch das Assistenzsystem dient nicht nur einer Kontrolle, dem Sammeln von Daten, sondern auch einer Sicherstellung im Prozessablauf. Dazu sollen über das System Arbeitsanweisungen in der jeweiligen Arbeitsfolge erfolgen.

*„Es zeigt ein Trend, dass Facharbeiter, die Zeichnungen richtig lesen können, weniger werden.“ [P4]*

Zusatzinformationen in Form von Fotos, Zusammenbauzeichnungen und Explosionszeichnungen, aber auch wichtige Kontrollpunkte für Einstellmaße innerhalb eines Bereichs (Range) müssen dem Mitarbeiter zur Verfügung stehen. Dem Werker muss es möglich sein jene relevanten für ihn individuell erforderlichen Informationen auf den Arbeitsplatz zu holen. Die Ausgabe muss über beispielsweise Touchscreen, gekoppelt über das ERP/SAP als Basissystem, erfolgen. Es ist technisch sehr aufwändig, bei Variantenfertigung die notwendigen ZSBs (Zusammenbauzeichnungen) über Projektionen auf den Arbeitsbereich zu spielen. Ab einer höheren Stückzahl erscheint diese Möglichkeit aber durchaus interessant. Es ist notwendig bei einer hohen Anzahl von Montagevarianten die Arbeitsanweisungen in sinnvolle einfache umzuwandeln, diese bei gegebenem Änderungsindex der Baugruppen individuell zielgerichtet und aktuell an die richtigen Stellen zu leiten. Der Input hat so einfach wie möglich zu erfolgen, ohne den Eindruck einer Bevormundung des Nutzers zu bekommen. Ein Mitarbeiter muss wissen:

*„Betrifft mich eine technische Änderung am Arbeitsplatz, in der Arbeitsvorbereitung, bei Checklisten oder erfordert eine Änderung eine neue Arbeitsanweisung?“ [P4]*

Für eine zielführende Bedienung eines Assistenzsystems ist auf die geeignete Mitarbeiterqualifikation zu achten. Die Unternehmen sind bestrebt, dass Mitarbeiter in ihrem Arbeitsumfang und deren Tätigkeiten mitdenken. So darf das Assistenzsystem nicht alles an Arbeitsanweisungen vorgeben oder die Beschäftigten in ihrer Handlungsfähigkeit entmündigen. Es dient dazu, angezeigte Fehler schneller aufzufinden und durch Informationen oder Anweisungen sofort zu beheben. Bei internationalen betrieblichen Niederlassungen kann die Qualifikation der Beschäftigten in gleichen Arbeitssystemen unterschiedlich sein. Hier dienen Assistenzsysteme auch einer Sicherstellung von Standards und garantieren eine geforderte Qualität.

*„Dient das Unterstützungssystem als Absicherung, damit kein Fehler gemacht wird im Qualitätsmanagementbereich oder wird die Gestaltung so konzipiert, dass es kognitiv intelligent arbeitet?“ [F1]*

Hierbei stellen sich softwaretechnische Anforderungen, wie Wissen aufgenommen, abgeglichen und lernfähig weitervermittelt wird. Die Spezifikation aller Softwareanforderungen kommt aus dem Unternehmen. Eine wesentliche Anforderung bei der Gestaltung an ein Assistenzsystem muss sein, dass ein Benutzer ohne Anlernen das System selbständig bedienen können muss. Dabei gilt es, eine möglichst benutzerfreundlich intuitive Bedienung der Interaktion des Unterstützungssystems einzuführen. Das System benötigt nicht nur eine logische Abfolge von Bedienschritten, sondern es stellt sich auch zukünftig die Frage:

*„Kann das System selber erkennen, wo du im Ablauf bist, oder muss dies durch den Werker quittiert werden?“ [F4]*

Für die Gestaltung des Userinterface möchten Unternehmen das gesamte Leistungsspektrum der Anwendungen abdecken können. Dazu gilt es sowohl gut ausgebildete Mitarbeiter, die die höchste Qualität der Maschine einstellen können, als auch unerfahrene Nutzer beispielsweise bei Fluktuation im Betrieb oder Anwendungen in einem Entwicklungsland, gleichermaßen zu unterstützen. Die Oberflächengestaltung muss hierfür eine fehlerverzeihende Parametervariation für adaptive Einsätze zulassen. Die Maschine soll erkennen wie gut der Benutzer ist, um sich darauf einstellen zu können. Auch bieten veränderbare Anweisungen Abwechslung gegen Langeweile und bei Monotonie im wiederkehrenden Arbeitsablauf.

Ein-/Ausgabegeräte sind Informationsgeräte und nicht gleichzusetzen mit einem Assistenzsystem, denn diese interagieren mit dem Mitarbeiter und zeigen eigene Reaktionen. Ein Benutzer erwartet jene Handhabungsmöglichkeiten von seinem Interaktionsgerät, die er von seinen privaten Anwendungen kennt. Dies bedeutet nicht

gleichzeitig mehr Effizienz in seinem Arbeitssystem, erhöht aber die Nutzerakzeptanz.

Intuitive Bedienung in industriellen Anwendungen bei HMI Bediengeräten sichert optimierte Bedienungsabläufe und zielorientiertes, fehlerfreies Handeln. In der Industrieautomation werden mobile, sowie stationäre Bediengeräte zur einfachen Umsetzung von verschiedensten Visualisierungs- und Bedienaufgaben angeboten. Eine Bedienung mit Handschuhen erfordert eine robuste Bauausführung von Joystick, Handrädern oder Not-Aus, die oft den extremsten Belastungen ausgesetzt sind. Handhabungen der Komponenten erfolgen nicht selten an dessen Kabeln und den Verbindungen.

Mobile Handbediengeräte sind kompakt, leicht und verfügen über einen leistungsfähigen Prozessor. Sie sind vielseitig verwendbar und können mit verschiedenen optionalen Bedienelementen wie beispielsweise Schlüsselschalter, Drucktaster, Handrad und/oder (Achs)wahlschalter ausgestattet werden. Das geringe Gewicht sowie die kompakte Bauform ermöglichen ein langes, komfortables und ermüdungsfreies Arbeiten. Je nach Ausführung verfügt diese über ein ergonomisches Gehäuse mit einer zusätzlichen, optionalen Tastatur auf der Geräteunterseite sowie ein HD fähiges Display (1280 x 800 Pixel Auflösung). Schnelle Prozessoren erlauben anspruchsvolle Visualisierungs- und Bedienanwendungen.

Stationäre Bediengeräte für Industrieanwendungen und industrietauglicher Touchbedienung sind als analog resistive TFT Touchscreen Monitorlösung bis Größe 12,1" mit Auflösung 800 x 600 Pixel und bei 15" mit 1024 x 768 Pixel ausgeführt. Die Visualisierung kann zentral auf der Steuerungs-CPU laufen.

Echtzeitfähige Multitouch Panel, die nicht durch die raue Industrieumgebung beeinträchtigt oder verschlissen werden können, ermöglichen Blindbedienung durch haptische Bedruckung und bietet robuste Gestenbedienung auch für Handschuhbedienbarkeit. Dabei ist der Nutzer in der Lage, die Bedienerinteraktion in Echtzeit direkt an die Steuerung zu übertragen. Durch diese Lösung entfallen mechanische Einbauelemente sowie Folientasten und die HMI Varianten werden bei voller Flexibilität im User Interface auf ein Panel reduziert. Durch die CPU mit Grafikbeschleunigung wird eine optimale Plattform für Visualisierungsaufgaben geboten.

Funktionale technische Anforderungen an Bediengeräte und Multitouch Panels (Tabelle 24) werden gestellt an:

Allgemein:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spannungsversorgung</li> <li>▪ Max. Einschaltstrom</li> <li>▪ Leistungsaufnahme</li> <li>▪ Schutzklasse und Schutzart</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abmessung</li> <li>▪ Gewicht</li> </ul>
Display (Darstellungskomponente):	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Art</li> <li>▪ Größe</li> <li>▪ Auflösung</li> </ul>
Rechnereinheit:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CPU</li> <li>▪ Cores</li> <li>▪ GPU</li> <li>▪ Wechselspeicher</li> <li>▪ Schnittstellen</li> </ul>
Umgebungsbedingungen:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betriebstemperatur</li> <li>▪ Lagertemperatur</li> <li>▪ Relative Luftfeuchtigkeit</li> <li>▪ Vibrationsfestigkeit</li> <li>▪ Schockfestigkeit</li> </ul>

**Tabelle 24: Anforderungen an Bedienkomponenten**

Der Kunde gibt in seiner Spezifikation vor, welche Werkstoffe nicht zulässig sind und was beim Aufbau der Komponenten nicht verwendet werden darf. Diese müssen lösungsmittelfest und der eingesetzte Kunststoff muss schneidölfest sein.

Die Entwicklungen eines haptischen Displays die trotz Handschuhen verwendbar sind, bei denen der Benutzer eine gute Rückmeldung bekommt, sind technisch kompliziert und daher teuer. Systemkomponentenhersteller wollen ihre Produkte verkaufen und Interaktionsgeräte für haptische Rückmeldungen aus dem System bringen anfänglich sehr hohe Entwicklungskosten, sowie hohe Arbeitskapazität mit sich, damit das Produkt kostengünstig auf den Markt einzuführen ist. Große Unternehmen arbeiten an Displayssystemen auf elektrostatischer Basis (Spüren elektrischer Impulse). Eine einfache haptische Rückmeldung am Display kann auch über Erhöhungen auf der Bedienoberfläche erfolgen.

In Betrieben wird vermehrt über andere Formen von HMI beispielsweise in Form von Wearables nachgedacht. Diese Anwendungen technisch aufzusetzen, ist aber kompliziert und es gilt dabei Fragen zu beantworten wie:

*„Ist bei Wearable Tastatur und Applikationen immer eine Hand frei?“ [F4]*

*„Wo befindet sich der Benutzer im Arbeitssystem?“ [F4]*

*„Wo schaut der Benutzer hin und wo setzt man die Marker für das Tracking?“ [F4]*

In anderen Einsatzmöglichkeiten der Augmented Reality Technologie, bei Anwendungen in der Filmindustrie, wird ein Muster an Menschen aufgebracht, welches erkannt und überlagert werden kann.

„Für einen industriellen Einsatz ist im Jahre 2030 eine cm genaue Erkennung mit dieser Methode technologisch vorstellbar.“ [F1]

Eine der größten Herausforderungen von Systemen mit digitaler/virtueller Assistenz liegt in der Exaktheit beim Tracking für eine Positionsbestimmung oder Lageüberwachung (Tabelle 25). Eine virtuelle Sensorik kann nicht mit ausreichender Genauigkeit feststellen wie tief beispielsweise Schrauben in einen Bauteil montiert wurden. Die Erkennung der Korrektheit von Verschraubungen am Produkt, kann über eine zusätzliche Drehmoment und Drehwinkel Überwachungen am Werkzeug erfolgen. Dadurch wird eine spezielle Sensorik für die Kontrolle eingespart und die Qualität bleibt gewährleistet.

Optische Systeme	Diese sind anfällig auf Verschmutzung, bei Fremdlicht und es entstehen Probleme bei der Belichtung. So müssen ein Nachregeln der Blende, sowie ein Nachstellen des Objektivs möglich sein. Dazu muss ein System laufend Verzerrungen herausrechnen können.
Laserbasierende Systeme	Diese sind zurzeit für 3D Messung noch sehr teuer und es entstehen Probleme bei glänzenden, bei unterschiedlichen metallischen, verschiedenfärbig lackierten, schwarzen, strukturierten, oder geriffelten Oberflächen. Bleche lassen sich mit optischen Systemen schlecht vermessen.
Radar Systeme	Das System boomt und ist gegenüber äußeren Einflüssen weitgehend immun. Es besitzt eine hohe Eignung für Indoor Anwendungen, da Radar gegenüber Signalreflexion von außen immun ist. Problematisch ist aber die Mehrwegeausbreitung bei viel Metall in der Umgebung. Hier ist eine sehr gute Signalverarbeitung notwendig, damit Reflexionen erkannt und herausgefiltert werden können. Die Radartechnik hat sich rasant weiter entwickelt. Vor 10 Jahren gab es Einsatzbereiche mit Frequenzen von 5 GHz, heute sind Abstandsmessungen im 77 GHz Bereich (z.B. Nahbereichsfunktionen wie Abstandswarnsysteme und automatisches Positionieren) und 200 GHz Anwendungen in der Forschung üblich. Sollte sich die Frequenz zukünftig in den 500 GHz Bereich bewegen, kann sicher festgestellt werden wo etwas montiert ist. Diese Systeme sind bei hoher Genauigkeit sehr teuer und auch bei Anwendungen mit beweglichen Menschen eher ungeeignet.

Positionsbestimmung über Funk	Bei aktiven RFID oder Funkmodulen geht der Trend in Richtung hohe Frequenz (5-10 GHz). Mit einer hohen Bandbreite werden Genauigkeiten mit einer Abweichung von ca. 5 cm geschafft. Mit Plausibilitätsalgorithmen können die Genauigkeiten erhöht werden, indem unwahrscheinliche Bereiche eliminiert und die Positionen mit bestimmter Wahrscheinlichkeit festgelegt werden. Es stellen sich aber Sicherheitsfragen, wenn kein Kabel oder keine mechanische Verbindung eingesetzt wird, da Funkverbindungen gestört werden können.
Elektromagnetische Systeme	Der Einsatz ist bei metallischen Gegebenheiten problematisch, wobei mittels Signalverarbeitung positiv entgegen gewirkt werden kann. Die räumliche Ortung erfolgt über viele Antennen (Multibeam) in der die Mehrwegeausbreitung herausgerechnet werden kann. Auf diesem Prinzip basiert Positionsausmessung bei einem WLAN Router (Wireless Local Area Network Router) und einer Mehrantennen Handyortung.

**Tabelle 25: Die unterschiedlichen Möglichkeiten des Positionstracking**

In den Unternehmen wird neben der Automobilindustrie in der Logistik das Thema der Assistenzsysteme verstärkt aufgegriffen. Lagertechnik, Versandhandel und B2B (Business to Business) schieben den Markt kräftig an, da hier Umsetzungen in der Positionierungsgenauigkeit viel einfacher lösbar sind.

Grundlage für Unterstützungssysteme ist ein Indoortracking, bei dem für eine Innenraumvermessung in Echtzeit SLAM Algorithmen zum Einsatz kommen. Dabei wird ein Abgleich eines virtuellen Modells mit einem realem Umfeld erstellt. Das SLAM Verfahren (Simultaneous Localization and Mapping) eine simultane Lokalisierung und Kartenerstellung stellt eine Methode dar, mit der ein mobiler Roboter gleichzeitig eine Karte seiner Umgebung erstellen und seine Position innerhalb dieser Karte schätzen kann. Die Probleme von SLAM Algorithmen bei der Genauigkeit, die beim Indoortracking zurzeit im einstelligen cm Bereich liegen, entstehen im Zusammenhang mit der notwendigen Infrastruktur, da eine Unveränderbarkeit des Großteil des Raumes vorausgesetzt werden muss. Schwierigkeiten entstehen dadurch in Industriehallen beim Erkennen von Staplerpositionen. Einsatzmöglichkeiten bieten AGV (Automatic Guided Vehicles) fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) mit geeigneten intelligenten, virtuellen Sensoren zur Extraktion von Regionsmerkmalen in strukturierten Umgebungen innerhalb von Gebäuden. Im Maschinenbau sind diese Algorithmen für Anwendungen zu ungenau und daher schwer einsetzbar. Für Darstellungen von AR Anweisungen hingegen eignet sich das Verfahren gut.

Weiters gibt es Systeme aus der Consumerelektronik (Unterhaltungselektronik), die Informationen aus Infrarot Sensoren und Video überlagern oder Ultraschall Systeme eingesetzt. Diese Anwendungen nehmen eine Vorreiterrolle in der Indoor Positionsbestimmung (im Wohnzimmer) ein. Eine praxisgerechte betriebliche Anwendung liefert ein fixes Kalibrieren über Projektion oder über eine reine Computer Vision (maschinelles Sehen) mit Tiefenkamera mit einem Aufbau wie eine MS Kinect für ein 3D Bild. Tiefenkameras dienen ursprünglich zur Bewegungserkennung als natürliche Interaktion zwischen Mensch und Computer. Die Kamerakomponenten bestehen aus einem Infrarotsensor, einer Infrarotkamera und einer RGB Kamera. Der linke Tiefensensor (Emitter) wirft dabei im nahen Infrarotbereich ein für das menschliche Auge nicht sichtbares, codiertes Punktmuster (einen großflächigen Infrarotstrahl) in den Raum, und der rechte Tiefensensor empfängt das von der Szene reflektierte Bild, jene Infrarotstrahlen, die Personen und Objekte reflektieren. Die RGB Kamera (640×480 Bildpunkte) fotografiert oder filmt den Arbeitsbereich. Die Bewegungssteuerung wertet diese Informationen aus, ermittelt daraus aufgrund des Kameraabstandes über die Parallaxen korrespondierender Punkte ein dreidimensionales Abbild, die Tiefenmatrix mit VGA Auflösung, der ein RGB Bild zugeordnet werden kann. Webcams mit HD Auflösungen (1920×1080 Pixel) liefern im Nahbereich und bei schlechten Lichtverhältnissen gute Ergebnisse.

Für eine Oberflächendarstellung ist keine Objektrekonstruktion des Bauteils zwingend notwendig, da durch Abtasten von Lagen Hüllkurven (Freiformflächen) generiert und Gegebenheiten erkannt werden. Dies kann auch mittels Laserdistanzmessung (z.B. Leica Entfernungsmessung) über Messung von Punkten durch Abscannen erfolgen.

Virtuelle Anwendungen eignen sich eher für Anleitungen als für eine Kontrolle in Arbeitssystemen, da die Darstellungen von Anleitungen technisch einfacher zu lösen sind als Kontrollaufgaben. Ein Einsatz von digitaler/virtueller Assistenz ist hoch individuell.

In der Entwicklung von Applikationen mit einer Datenbrille muss der Benutzer in den Mittelpunkt gestellt werden. Gefordert sind kleine mobile Systeme mit niedrigem Gewicht. Die visuelle Wahrnehmung der Darstellung ist gewöhnungsbedürftig. Das Auge referenziert den Abstand reale/virtuelle Umgebung unterschiedlich. Die Brillensorik benötigt zwei Kanäle um den Mitarbeiter zu führen und Informationen aufnehmen und ans System zurückzuführen. Die Kommunikationsschnittstelle bei Datenbrillen und eine Interaktion mit dem System sollte über Akustik mittels Kopfhörer und Mikrofon erfolgen.

Die negativen Aspekte einer Datenbrille liegen in der Nutzung der möglichen Funktionen. So wird die Gesichtserkennung kontrovers diskutiert und auch die informationelle Autonomie der Mitarbeiter kann missachtet werden. Diese Technologie ist zur-

zeit stark am Prüfstand, da auch unternehmensintern durch Verletzungen der Privatsphäre (Betriebsrat), die Kamera von Datenbrillen filmt die Umgebung, der Einsatz nicht unumstritten ist. Eine permanente Nutzung einer Datenbrille den ganzen Tag führt technologisch zu Problemen bei der Akkulaufzeit und benutzerorientiert zu Unwohlsein und Übelkeit. Auch kommt es zu einer Ablenkung von der Arbeitsaufgabe durch die projizierten Zusatzinformationen, auf die der Benutzer laufend referenziert. Datenbrillen sind zu wenig flexibel für Fertigungs- und Montageanwendungen und die Darstellungen schränken das Gesichtsfeld zu sehr ein. Längeres monokulares Sehen ist anstrengend, aber für Tätigkeiten der Kommissionierung, sowie für Anleitungen bei Wartung und Reparaturen bei denen die Hände frei sind, sind die Systeme geeignet. Bei nicht permanenter Nutzung und um Zusatzinformationen, Schritte, Abfolgen und eventuell auch Checklisten zu lesen, bieten Anwendung mit Datenbrillen interessante Möglichkeiten. Wenn Informationen eingespielt werden, die der Mitarbeiter nach dem zweiten Arbeitsgang beherrscht, ist das System overloaded (überladen).

Bei einer Informationsdarstellung über Datenbrillen gilt es eine Sehschwäche älterer Mitarbeiter zu berücksichtigen. Deshalb werden Anwendungen mit einer Clip on Variante bevorzugt, um bei Problemen der Tiefenschärfe und Fehlsichtigkeit des Nutzers entgegenzuwirken und durch den eigenen Sehbehelf einfach korrigieren zu können. Einfache Farbprojektion mit optischen rot (falsch) und grün (richtig) Signalen ist unbedenklich. Praxisbezogene Rückmeldungen mit retinalen Displays zeigen hingegen Akzeptanzschwierigkeiten.

*„Wer mag schon über den ganzen Tag wie bei retinalen Brillen einen Laser ins Auge geleuchtet bekommen?“ [F4]*

Stand der Technik ist der Einsatz von Displaytechnologien. Ein Bildschirm kann jedoch in der Produktion verschmutzen oder beschädigt werden und ist aus ergonomischen Gründen meist im Gesichtsfeld. Der direkte Sichtbereich in Arbeitssystemen der Fertigung und Montage soll nicht eingeschränkt oder gestört werden, da sonst eine Nutzerakzeptanz nicht gegeben ist.

*„Ist in einer Anwendung ein Display sinnvoll, weil ein zusätzliches Betriebsmittel benötigt wird und was bringt das für einen Need (Nutzen)?“ [F4]*

Für eine Augmented Reality Anwendung in einem kontrollierbaren Environment (Umfeld) in einer Produktion ist es nicht zwingend notwendig, ein Display ein- oder eine Datenbrille aufzusetzen. Dem Benutzer können alle wichtig Informationen nicht in sein Auge, sondern in sein Gesichtsfeld projiziert werden. Ein Projektor ist im Arbeitsbereich als Betriebsmittel nicht störend und eine Projektion ist Stand der Technik sowie leicht umsetzbar. Durch einen Systemaufbau, bei dem die Informationen direkt auf den Arbeitsplatz projiziert werden, gibt es keine Schwierigkeiten mit externer

Stromversorgung und Umgebungsbedingungen wie Schmutz oder Lärm. Zusätzlich können fix montierte Kameras, die den direkten Arbeitsbereich aufnehmen, unterbrechungslos Inputs und Informationen für eine Datenauswertung sammeln. Auch kann eine Tastatur gegebenenfalls für die Interaktion virtuell eingespielt werden.

In der Automobilindustrie ist eine Maßhaltigkeit im Karosserierohbau eines der obersten Qualitätskriterien. Eine Augmented Reality Anwendung zeigt eine mit einem fixen kalibrierten Beamer auf einen referenzierten Anbauteil des Karosserierohbaus projizierte virtuelle Schablone. Abweichungen von den Sollvorgaben am Bauteil, bei dem zuviel Material oder eine Öffnung (Bohrung) falsch positioniert ist, wird durch das Erkennen eines optischen Umrisses aufgezeigt. Durch dieses Kontrollpräventivsystem konnte die Effizienz der Anlage wesentlich gesteigert werden.

Eine weitere Anwendung zeigt eine Anleitung bei manuellen Arbeitsplätzen durch Anleuchten zur richtigen Entnahme von Bauteilen aus Behältern. Über ein Lichtsystem eines digitalen Assistenzsystems werden dabei die aktuell notwendigen Arbeitsschritte optisch angeleitet und auf richtige Ausführung überprüft. Ein Pick by/Put to Light Prinzip visualisiert dabei die richtige Entnahme und prüft zusätzlich die Korrektheit des richtigen Behälters. Dabei kann der Montagebereich angezeigt sowie gleichzeitig wieder die Position und Orientierung des zu verbauenden Gegenstands geprüft werden. So können Fehler bereits in der Entstehungsphase vermieden werden, indem die einzelnen Montageabläufe Schritt für Schritt angezeigt werden. Interaktive Warn- und Fehlerhinweise erfolgen dabei optisch und/oder akustisch durch das System. Eine solche Anwendung sorgt für sichere Prozesse und hohe Funktionalität bei optimaler Unterstützung hin zu mehr Prozesssicherheit und Null Fehler Produktion. Auch lassen sich neue Arbeitsvorgänge spielend einfach und innerhalb kürzester Zeit durch das einmalige Durchführen eines korrekten Prozessablaufs im System hinterlegen und generieren einen effizienten Lernmodus.

Augmented Reality Lösungen über Tablets erscheinen aufgrund der Umgebungsbedingungen in einer Produktion und der Empfindlichkeit der Geräte als ungünstig. Für den betrieblichen Einsatz gibt es spezielle Produkte, die die Anforderungen für eine Darstellung in einer industriellen Anwendung erfüllen. Für Präsentationenzwecke beim Kunden und auf Messen haben Tablet AR Lösungen ihre Berechtigung, wenn auch die Betrachtungsmöglichkeit einer Anwendung nur für einzelne Nutzer möglich ist.

*„Eine Killerapp für Augmented Reality gibt es noch nicht!“ [F4]*

Für einen alter(n)sgerechte Einsatz der Unterstützungssysteme gilt es modal mehrere Kanäle der menschlichen Sensorik anzusprechen. Daher ist für eine altersgerechte Systemkonfiguration eine Gestaltung mit multimodaler Wahrnehmung und Rückmeldung aus dem Assistenzsystem anzustreben. In der Bedienung ist Suchen

nicht kreativ und eine produktiv gesehene verlorene Zeit. Über eine Sprachsteuerung ist das Zusammenspiel Mensch Maschine in der Interaktion viel schneller als bei manueller Auswahl. Dazu zählt auch ein akustisches Quittieren über Sprachsteuerung, das in der Praxis bei geeigneten Umgebungsbedingungen problemlos funktioniert. Eine multimodale Sensorik in einem Assistenzsystem macht Sinn, wobei die Aufnahme von akustischen Informationen einfacher zu gestalten ist, als eine Eingabe aufgrund des Geräuschpegels in der Produktion. In der Wahrnehmung ist die Spracherkennung für Standardanwendungen im Kommen, auch eine Gedankenerkennung ist stark am Vormarsch, weil es auf diesem Gebiet große Forschungserfolge gibt. Die geeignete Sensorik muss hierbei noch weiterentwickelt werden, da es gilt, dass die Systeme an die jeweilige Person angelernt werden müssen. Eine Alternative in der Wahrnehmung kann eine haptische Ausgabe darstellen. Die Haut stellt das größte Sinnesorgan des Menschen dar. Sie beinhaltet die Sinnesrezeptoren in Form von Tast- und Lamellenkörperchen für die Aufnahme von Berührungs- sowie Druckreizen. Neben dem klassischen Tastsinn ermöglicht eine Navigation über Vibrationen am Handgelenk (Wearable – taktile, haptische Wahrnehmung beispielsweise am Handgelenk) mit einer notwendigen Hintergrundsoftware für die Erkennung ebenfalls eine schnelle Umsetzung einer Wahrnehmung und die Hände bleiben frei.

Zum Thema einer zukünftigen Interaktion mit dem Arbeitssystem bietet eine Wearable Anwendung ein innovatives Beispiel, dessen grundsätzliche Idee ein ergonomisches Thema ist. Der Werker bekommt dabei beide Hände frei zum Arbeiten. Dies erfolgt durch ein spezielles Bedienkonzept, bei dem die Hubauslösung der Werkzeugmaschine nicht mehr per herkömmlichen Fußtaster, sondern durch eine Fußbewegung mit dem Arbeitsschuh erfolgt. Auf diesem ist am Fersenteil eine abnehmbare, tauschbare Connector Einheit für die Funkverbindung mit einem Akku für die Energieversorgung angebracht. Eine Sensorik im Inneren der Schuhsohle erfasst die Fußbewegung durch ein individuelles Auslösemuster des jeweiligen Bedieners. Durch Gewichtsverlagerung auf den oder vom Fußballen funktioniert die Hub-/Senkbewegung des Werkzeugs. Über ein haptisches System mit Vibrationen erhält der Bediener Rückmeldung aus dem System.

*„Die gesamte sicherheitstechnische Entwicklung wurde vom TÜV Austria begleitet.“*  
[P2]

Die Sensorik berücksichtigt Sicherheitsaspekte und unterscheidet Auslösemuster von unkoordinierten Bewegungen des Bedieners, damit es zu keiner ungewollten Fehlfunktion kommt. Im Sockel der Maschine sind mehrere Ultraschallsensoren verbaut, die das Signal vom Sender des Schuhs erfassen. Ein komplexer Auswertalgorithmus errechnet über Laufzeitmessung und Triangulation die exakte Position des Bedieners. Sobald dieser den definierten Arbeitsbereich vor der Werkzeugmaschine verlässt, stoppt diese.

In der Frage nach individueller Interaktion in einem speziellen Arbeitsumfeld zeigt ein berührungsloses Hand Tracking Device (Leap Motion) spezielle Einsatzmöglichkeiten. Ein Usercase (Anwendung) zeigt einen technisch affinen Chirurg, der berührungslos mit Fingerbewegungen Anzeigen von CT/MRT auf dem Display steuert. Daher wäre eine Anwendung über Gestiksteuerung in einem speziellen Environment in der Produktion durchaus denkbar.

Eine Unternehmensorganisation muss sich laufend weiterentwickeln, damit die Eigeninteressen der Mitarbeiter mit den Firmeninteressen harmonisieren und konform gehen.

*„Sind die Zielvereinbarung des mechanischen Entwicklungsleiters, die jedes Jahr zusammenbrechen, mit Interessen einer Produktion Industrie 4.0 vereinbar?“ [F1]*

*„Wie weit wird ein Mitarbeiter am Fließband genötigt ein Assistenzsystem zu verwenden, um die Effizienz zu erhöhen?“ [F1]*

Es gibt neue futuristisch anmutende Anwendungen bei Assistenzsystemen, wie Exoskelette (eine Stützstruktur für einen Organismus) und Brain Computer Interface. Erste Systeme, für Querschnittgelähmte ab der Halswirbelsäule, bei denen ein Computerchip im Gehirn über gedankliche Beeinflussung eine Gedankensteuerung des Computers vornimmt, gibt es schon. In den nächsten fünfzehn Jahren ist die Gedankensteuerung als Anwendung technologisch gesehen industriell einsetzbar. Durch physisches Doping entsteht ein multikulturelles Problem in Ländern, die Persönlichkeitsrechte nicht so genau nehmen.

*„Wo ist die Grenze bei Anwendung am gesunden Menschen zur industriellen Produktionserhöhung?“ [F1]*

Der Mensch muss als wichtigster Produktionsfaktor möglichst lange im Betrieb integriert bleiben. In den Unternehmen sind in den meisten Vormontage- und Montagebereichen alternsgerechte Arbeitsplätze geschaffen worden, in denen genauere Tätigkeiten ohne übermäßigen Zeitdruck und teilweise mit physischen Assistenzsystemen ausgeführt werden. Eine wichtige Einsatzmöglichkeit von erfahrenen älteren Mitarbeitern liegt in der Wartung bei Prüfmitteln, bei deren Kontrolle und Instandsetzung Erfahrung, Genauigkeit und Ruhe oberste Priorität hat. Arbeitsorganisationsformen mit Jobrotation (Arbeitsplatzwechsel) für unterschiedliche Tätigkeiten entsprechen einer alternsgerechten Gestaltungsmaßnahme im Unternehmen. Der Tätigkeitswechsel kann durch Systeme, die einen Gaming Charakter besitzen verstärkt werden. Die spielerische Auseinandersetzung mit neuen Systemen weckt die Neugierde des Benutzers und dies führt zu positiver Motivation für die Erfüllung der Arbeitsaufgabe. Um Langeweile bei Montageabläufen vorzubeugen, könnte wenn technisch möglich eine wechselnde Abfolge von Ablaufschritten unter Zeitnahme mit High Score Darstellung angezeigt werden. Dabei muss aber beachtet werden, dass sich das gesam-

te Outputsystem so an den Benutzer anpassen lassen muss, dass dieser weder bevormundet wird, noch sich gelangweilt fühlt. Beides würde zu Problemen führen. Bei Rückmeldungen aus der Praxis über den Einsatz von Gamification Methoden, sind diese nicht nur positiv bewertet worden. Ältere Kollegen wollen sich nicht täglich wetteifern mit den Jüngeren im Konkurrenzdruck bei der Erfüllung von Arbeitsaufgaben in Produktions- und Montagesystemen.

Bei manuellen Tätigkeiten ist der Faktor Mensch qualitätsrelevant und muss daher unterstützt werden. Durch den Einsatz von Assistenzsystemen muss älteren Mitarbeitern ein Nutzen angeboten werden und der Mehrwert, der wiederum daraus für das Unternehmen entsteht, muss in Summe so groß sein, dass dies erkannt wird und beide Seiten davon profitieren. Da nicht nur ältere Mitarbeiter, sondern ein jeder Beschäftigte in diesem Arbeitssystem das Unterstützungssystem bedienen können muss gelten Alter, sowie Ausbildung als nicht wesentlich. Die Entscheidung über den Einsatz von digitalen Assistenzsystemen ist eine betriebsinterne technologische unter Berücksichtigung der Umweltbedingungen und nicht eine auf den Auswirkungen des demographischen Wandels basierende.

Die Gestaltungsanforderungen an ein Assistenzsystem werden nicht nur von der Technologie, sondern wesentlich von der Benutzerakzeptanz bestimmt. Bei dieser steht neben den nutzerseitigen Anforderungen vermehrt die Akzeptanz des Nutzers im Mittelpunkt der Betrachtung. Neben einer generationsübergreifenden fließt auch eine geographische multikulturelle Betrachtungsweise bei der Beurteilung der Mitarbeiterakzeptanz von Assistenzsystemen mit ein.

*„In den nächsten zwanzig Jahren wird die Situation am Arbeitsmarkt anders aussehen.“ [F2]*

Bei der Entwicklung von einzusetzenden industriellen Applikationen ist ein User Centered Design Ansatz von Vorteil, um eine gewünschte Nutzerakzeptanz zu erzielen. Nicht eine Managemententscheidung entscheidet über den Einsatz, sondern das Userverhalten steht als Basis für die Entwicklung eines Assistenzsystems im Vordergrund. Die betroffenen Mitarbeiter sind dabei in einem sehr frühen Stadium der Projektumsetzung miteinzubinden.

*„User Centered Design in der Praxis bedeutet mit denen zu sprechen, die mit dem Assistenzsystem arbeiten müssen, um auch eine notwendige Akzeptanz zu erhalten.“ [P5]*

Der Ausgangspunkt für die Konzeptfindung am Beispiel eines Assistenzsystems muss ein Meister der Fertigung oder Montage und die Arbeitvorbereitung sein. Eine Montageoptimierung kann nur in Zusammenarbeit mit dem Meister oder Vorarbeiter erfolgen, da auch der Werker von der Erneuerung überzeugt sein muss. In zukünftigen Montagesystemen muss am Arbeitsplatz eine digitale Form der Daten zur Verfü-

gung. Eine Anforderung an das Assistenzsystem ist die nutzergeführte richtige und einfache Datendarstellung aus dem ERP/SAP für notwendige Daten, die der Werker individuell benötigt.

Bei Überlegungen zur Entscheidungsfindung für eine Anwendung eines Assistenzsystems geht es um den Nutzen für den Benutzer und um den Mehrwert, der für das Unternehmen daraus entsteht.

*„Was ist der Mehrwert einer neuen Anwendung?“ [P1]*

Es entsteht ein grundsätzliches ethisches Problem, wenn kein Nutzen oder keine Akzeptanz des Werkers beim Systemeinsatz gegeben sind. Je nach Möglichkeit für eine Anwendung stellt sich auch die Frage, ob ein Assistenzsystem gebaut werden soll, da der Faktor Mensch schwer einschätzbar ist und diese Systeme möglicherweise nur einen Zwischenschritt zu einer Vollautomatisierung darstellen. Es ist eine sehr komplexe Aufgabe, Fertigungen nach einer Industrie 4.0 Produktion aufzubauen. Industrie 4.0 ist zurzeit ein Parallelsystem, da niemand die bestehende Produktion umstellen will.

Visionäre Unternehmen kaufen Schlüsseltechnologien auf und setzen diese in späteren Jahren als Bausteine der digitalen Welt zusammen. Hierfür sind heterogene Systeme für den Informationsfluss ohne Schnittstellenproblematik mit einer Systemdurchgängigkeit im Unternehmen gefordert. Zurzeit ist die reale Situation unbefriedigend, weil so viele Rahmenbedingungen noch nicht erfüllt sind und die Systeme noch nicht bereit sind. Ein Best Practice System muss erkennen, aufzeichnen, hochspielen, analysieren und verwerten. Es entsteht eine digitale virtuelle softwaretechnische intelligente kognitive Parallelwelt und dieses entscheidet selbständig strategische Überlegungen. Ein Benefit entsteht, wenn im Hintergrund Systeme denkfähig werden, wodurch die Potentiale dieser besser ausgeschöpft werden können.

*„Ein durchgängiges Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 werden wir nicht mehr erleben und läuft erst richtig in 100 Jahren.“ [F2]*

Beim Thema Industrie 4.0 gilt es ein perfektes Zusammenspiel von horizontaler sowie vertikaler Integration, von Vernetzung des Kunden mit dem Lieferanten und vom Shopfloor bis zum ERP/SAP zu bekommen, aber:

*„Welche Unternehmen suchen Informatiker oder Mathematiker für Datenanalysen?“ [F1]*

Horizontale Systeme haben Schwierigkeiten mit der Heterogenität und auch gilt es hierfür noch kein breites Rollout (Markteinführung) bei Systemanbietern. Die Prozesse sind nicht immer gleich und die notwendigen Infrastrukturen sind noch nicht auf-

gebaut. Auch entsteht die Frage wer die ERP Systeme bei spezifischen Auftragsdaten umkonfiguriert.

Die Anforderungen an User, Maschinen und Produktionsprozesse sind eigentlich ein Optimierungsproblem, bei dem es gilt, dass sowohl der Bereich des Mitarbeiters als auch der Produktion optimiert wird, damit beide über der Akzeptanzschwelle liegen. Im Grunde stellen die Anforderungen an User (Benutzer), Maschinen (Assistenzsysteme) und Produktionsprozesse (Fertigung, Montage) ein Optimierungsproblem dar, indem der Bereich des Mitarbeiters wie auch jener der Produktion optimiert wird, um beiderseits über einer zufrieden stellenden Akzeptanzschwelle zu liegen. Heute wird eine Qualitätsverbesserung durch gutes Komprimieren und Vernetzen bestehender Technologien erreicht. Dadurch entstehen auch neue Geschäftsmodelle. Für die Herstellung von digitalen Assistenzsystemen werden Hardwarekomponenten- und Softwarehersteller benötigt. Die Basistechnologien von physischen Komponenten haben oft Entwicklungszeiten von 10 bis 20 Jahren. Softwarehersteller, die auf dieser Technik aufsetzen, können ihre Produkte, sowie Programme schneller entwickeln und in der Nische ein geeignetes Gesamtsystem zusammenbauen. Hier bietet sich ein Markt an auf bestehende Hardware eine selbst konzipierte Software aufzusetzen.

Da bei derzeitigen Prototypen von Assistenzsystemen Software und Algorithmen individuell sind, gilt es für zukünftige Anwendungen Tools einzusetzen, die zusammengebaut werden können. Dabei ist ein Framework (Rahmenstruktur, Programmiergerüst) aufzusetzen, damit über Drag and Drop (Ziehen und Ablegen, eine Methode zur Bedienung grafischer Benutzeroberflächen von Rechnern) eine Anwendung zusammengeführt werden kann. Eine praktische Realisierung diesbezügliche ist in den nächsten fünf Jahren im Forschungsbereich möglich. Diese Zeitspanne hat aber keine Gültigkeit für industrielle Nutzung mit Realalgorithmen, da ein Hersteller und Anbieter haftet, sobald ein Produkt am Markt erscheint.

*„Wer haftet für das entwickelte System als Produkt?“ [F1]*

Aktuell entstehen viele Fragen zum Sicherheitsgedanken neuer Produktionskonzepte. Jedes Unternehmen hat eine IT Abteilung, die sich mit dem Schutz der Betriebsrechner beschäftigt, aber Mitarbeiter arbeitet über E-Mails, die am Handy gelesen werden.

*„Wie bleiben Produktionsdaten im geschlossnen Raum und wer kann darauf Einfluss nehmen?“ [F1]*

*„Welche Entscheidungen werden beim Aufzeigen von Fehlern im Condition Monitoring System (Zustandsüberwachungssystem) gemacht?“ [F1]*

*„Wie sieht der Sicherheitsgedanke im Unternehmen aus und wo ist der Sicherheitschranke im System?“ [F1]*

Neue Jobs entstehen für die Beantwortung der Fragen:

*„Wer plant die notwendigen Algorithmen, wer erstellt die Konzepte für CPS, wenn frühestens in 50 Jahren voll automatisierte Fertigungen entstehen können?“ [F1]*

*„Wie wird erwartet, wer administriert, was passiert bei Weiterentwicklung des Systems bei alten Maschinen?“ [F1]*

Firmen beschäftigen sich nicht nur mit Produkten und dem Kunden, sondern vermehrt betriebsintern, nachdem Detailwissen Standard ist, mit der Frage:

*„Wie bekommen wir das Erfahrungswissen in Assistenzsysteme und Datenbanken für eine nächste Generation von Mitarbeitern?“ [F1]*

In Unternehmen gibt es sehr viel gebündeltes Know-how bei älteren Mitarbeitern und es ist wichtig, dieses zu erfassen damit bei Firmenaustritt dieses nicht verloren geht. Oft gibt es auch durch jahrelange Erfahrungen ein verstecktes Wissen, worüber Beschäftigte nicht direkt Bescheid wissen, dass sie dieses besitzen. Für den Aufbau einer funktionierenden Wissensdatenbank, über die auch Wissen in ein Assistenzsystem einfließen kann, ist es notwendig die Akzeptanz und Bereitschaft dafür auf allen Unternehmensebenen zu erhalten. Durch das Speichern von Wissen im Assistenzsystem steigt die Produktivität im Arbeitssystem. Für ein nachhaltiges System ist die Kompetenz eines Mathematikers erforderlich. Dabei gilt es vorab abzuschätzen, wie viel dieser Aufwand kosten wird und ob es das wert ist.

Auch gilt es das gesammelte Wissen und Informationen innerhalb gleicher Industriezweige zu vereinen um daraus zu lernen. Zurzeit gibt es aber keine Bibliotheken, die Datenplattformen mit Produktions- und Industriedaten bieten, damit Wissen extrahiert und darauf zugegriffen werden kann.

*„Wie bewegt sich der Mensch und Roboter in 99% der Fälle damit sich ein Verhalten ableiten kann, wie ich meinen Roboter konstruiere, mein Assistenzsystem baue, die Zusammenarbeit einzuschätzen habe, um den Großteil meiner Fälle abzudecken?“ [F1]*

Neueste Tendenzen aus der Automobilindustrie zeigen interessante Bewegung bei dieser Thematik.

## **5.2 Validierung**

Digitale Assistenzsysteme in Fertigung und Montage bezeichnen prototypische Anwendungen und innovative Technologien, die den Beschäftigten im Unternehmen bei der Ausführung seiner Tätigkeiten kognitiv unterstützen. Es gibt keine standardisierten digitalen Assistenzsysteme in der Industrie 4.0, sondern vielmehr individuelle Lösungen. Diese Lösungen, meist auf Basis von stationären Ausgabekomponenten,

mobilen Endgeräten und Wearables, müssen beim Endanwender auf größtmögliche Akzeptanz stoßen und dabei gleichzeitig Vorteile für den Betrieb (z.B. Prozessoptimierung) bringen.

Die geführten Gespräche mit den Experten der Forschung, Fertigung und Montage in den Unternehmen bestätigen, dass die eruierten Anforderungen an digitale Assistenzsysteme und die daraus resultierenden Gestaltungsrichtlinien dieser wissenschaftlichen Arbeit den Praxisanforderungen genügen.

In einer Gegenüberstellung der erhaltenen Antworten aus dem Leitfaden der Gesprächspartner mit den eruierten funktionalen/nicht funktionalen Anforderungen an das gesamte Unterstützungssystem, die Benutzerschnittstelle und die Ein-/Ausgabekomponenten und wurden diese mehrheitlich bestätigt. Dabei wurden die technologischen Aspekte interdisziplinär thematisiert und die ermittelten Anforderungen an die Verarbeitungskomponenten, die Sensortechnologie und Datenaufnahme positiv bewertet. Darüber hinaus ist offen über technologische Grenzen, Schwierigkeiten in Unternehmen bei Einsatz der digitalen Assistenz und zukünftige Perspektiven gesprochen worden. Diese Erkenntnisse sind aus der Zusammenfassung der Experteninterviews (vgl. Abschnitt 5.1) in den wichtigsten Bereichen ersichtlich. Dabei wurden auch Anforderungen als Fragen formuliert, deren Beantwortung in Vorgaben für die Gestaltung von digitalen Assistenzsystemen resultieren.

Als wesentliche Gestaltungsanforderungen gelten jene an die Informationsaufnahme, die Interaktionsfähigkeit bei einer benutzerfreundlichen Bedienbarkeit und einer individuell dem Nutzer angepassten Informationsdarstellung. Dies beinhaltet die zentralen Forderungen einer alternsgerechten Wahrnehmung, die Berücksichtigung der kognitiven Fähigkeiten, Lern- und Wissensbereitstellung und ergonomische Gestaltungsrichtlinien. Eine einfach und intuitiv zu bedienende Benutzerschnittstelle, Sicherheitsaspekte (z.B. Betriebssicherheit, Zugriffsrechte) und ergonomische Gestaltungsrichtlinien entscheiden über Nutzerakzeptanz der digitalen Assistenz.

Durch eine steigende Komplexität in Arbeitssystemen und die ständig wachsenden Datenmengen gilt es den Mitarbeitern über digitale Assistenzsysteme, für eine effiziente und sinnvolle Nutzung der Informationen, einen Mehrwert durch übersichtlich gestalteten Benutzeroberflächen zu generieren. Mit dem Einsatz von intuitiven und menschenzentrierten Systemen, in denen Mitarbeiter von Beginn an in die Entwicklung mit einbezogenen und die nach User Centered Design Methoden konzipiert werden, können die Benutzer aktiv bei der Ausübung ihrer Tätigkeiten unterstützt werden. Mittels Kameras und Sensoren identifiziert das Assistenzsystem Situationen, die durch eine situative und kontextgerechte Informationsbereitstellung den Mitarbeitern in modernen Arbeitsplätzen zur Verfügung gestellt werden. So wird die Flexibilität in Fertigungs- und Montagesystemen bedeutend gesteigert. Bei alternden Belegschaftsstrukturen in Unternehmen sind eine effiziente und ergonomisch sinnvolle

Werkführung optimal zu gestalten, um einen entsprechenden Nutzen aus der digitalen Assistenz zu erhalten. Der hohen Bedeutung einer altersadäquaten Gestaltung einer Mensch-Maschinen-Schnittstelle werden bisherige Systeme meist nicht gerecht. Eine weitere Herausforderung liegt in der Transformation der Daten in relevante Informationen, diese zeitlich und räumlich korrekt zur Verfügung zu stellen, um eine sinnvolle Entscheidungsgrundlage für Benutzer des Assistenzsystems zu ermöglichen.

Zukünftige kognitiv intelligente Assistenzsysteme, die Fähigkeiten wie Wahrnehmung, Überlegung, Lernen und Planen zeigen, nehmen ihr Umfeld wahr und eröffnen durch deren Reaktion der Industrie zusätzliche Flexibilität. Die Systeme, die intelligent mit Menschen zusammenarbeiten, haben flexibel Problemen zu bewältigen und Ersatzlösungen zu generieren, um Beschäftigte im Betrieb bei ihren Tätigkeiten zu unterstützen. Dabei dürfen diese nicht speziell auf die konkret zu meisternden Umstände vorbereitet und mit einer festen Wissensgrundlage versehen werden, damit das technische System Umweltbedingungen selbständig einordnen kann und laufend dazulernt. Die Wahrnehmung des Assistenzsystems hängt von den verschiedenen eingesetzten Sensoren ab. Dabei gilt es den Lernprozess unmittelbar auf Signalebene mathematisch durchgängig zu modellieren und hinsichtlich der Rechenleistung im System, die Komplexität der nötigen Berechnungen auf ein Minimum zu reduzieren.

Rechenmodelle mit komplexen Algorithmen zeigen neben Infrarot-Tiefenbildkamera, Videokamera und Laserscanner der elektronischen Steuerung, wo sich der Mensch im Arbeitssystem aufhält, was er mit seinen Händen macht und wo die Werkstücke im Arbeitsbereich liegen. Mit Hilfe einer individuellen situationsbedingten geeigneten Auswahl der Systemkomponenten ermöglicht das digitale Assistenzsystem dem Benutzer eine optimale Zusammenarbeit. Hinter einer einfachen anmutenden Interaktion steckt ein enormer technischer Aufwand. Allein Software und Computertechnik reizen die Grenzen des heute Machbaren aus, da alle Berechnungen, Abschätzungen und Steuerungen in Echtzeit stattfinden müssen.

Durch Digitalisierung und zukünftige vertikale, sowie horizontale Vernetzung haben Unternehmen in Fertigung und Montage eine Möglichkeit, intelligenter und vorausschauender zu agieren, flexibler und effizienter zu produzieren, um international wettbewerbsfähig zu sein.

Die wissenschaftliche Arbeit setzt sich mit unterschiedlichen Aspekten der Anforderungen an digitale Assistenzsysteme auseinander und diesbezügliche Richtlinien und Normen können entsprechend den Anwendungen in den soziotechnischen Arbeitssystemen interpretiert werden. Die Darstellung der Gestaltungsmaßnahmen und Richtlinien an die digitalen Assistenzsysteme gilt als verifiziert, nachdem diese praxisseitig bestätigt werden.

## 6 Resümee

Aus einer ursprünglich sehr umfassenden Idee nach dem Aussehen industrieller Arbeitsplätze, damit Beschäftigte dort über lange Zeit arbeiten können, ist nach dem Betrachten des arbeitswissenschaftlichen Bedarfs im Arbeitssystem das Thema des produktiven Assistenzeinsatzes nahe gelegen. Der demographische Wandel geht einher mit der Forderung nach alternsgerechter Systemgestaltung. Dies bedeutet Assistenzsysteme nicht nur den Bedürfnissen älterer Mitarbeiter anzupassen, dass diese geeignet unterstützt werden, sondern auch die Gestaltung von Arbeitssystemen auf lange Erwerbsbiographien und Benutzer unterschiedlichster Altersgruppen auszulegen.

Im konkreten Bezug zur Produktion und Montage sind Maßnahmen zu setzen, dass die ältere Belegschaft ihrer Beschäftigung auch im Alter noch nachkommen kann. Dazu gilt es die Mitarbeiter in der Produktion so einzubinden, dass sie sich möglichst optimal mit ihren Fertigkeiten und Fähigkeiten einbringen können. Mit dem Einsatz von Hilfssystemen wird der Mitarbeiter bei seinen Tätigkeiten unterstützt, sodass er den Arbeitsanforderungen bis ins hohe Erwerbsalter mit möglichst wenig Belastung gerecht werden kann.

Korrekterweise muss hier angeführt werden, dass unter alternsgerechte Gestaltung eines Arbeitssystems nicht nur technische und ergonomische Gesichtspunkte verstanden werden, sondern auch die Betrachtung der Arbeitsorganisation, Personaleinsatz, Qualifizierung und Arbeitszeitregelungen, Unternehmenskultur, Arbeitsklima, sowie auch die Arbeitseinstellungen der Beschäftigten.

Die Ausarbeitung der wissenschaftlichen Arbeit wurde in technischen Bereichen allgemeiner aufgesetzt, um aus einem sozialpolitisch brisanten Aspekt einer Evaluierung besonderer Ausführungen, einer altersgerechten Gestaltung der Assistenzsysteme nur für ältere Mitarbeiter, herauszukommen. Diese Untersuchung dient nicht dem Aufzeigen eines Generationskonflikts, aber auch die Interviews bestätigten eine reservierte Haltung gegenüber älteren Beschäftigten, welche aber nicht offen in dieser Weise kommuniziert wurde. Mehr denn je entsteht der Eindruck, dass ältere Mitarbeiter trotz unumstritten wertvoller Beiträge zur Erfüllung ihrer Arbeitsaufgaben in den Betrieben, sowie im Produktions- und Montagebereich zu einer Randgruppe gehören. Persönlich stellt sich mehr denn je die Frage, wie die Erwerbsbiographie der Generation +50 im letzten Viertel ihrer gesetzlichen Beschäftigung und ihr ethisch gesellschaftlicher Stellenwert aussehen soll.

Untersuchungen liefern speziell bezüglich alter(n)sgerecht unbefriedigende Ergebnisse, da jeder Beschäftigte neben seinem biologischen ein individuelles Alter besitzt und es keine wissenschaftlichen Langzeitstudien mit Praxiseinsatz gibt, die Auf-

schluss über altersgerecht in Produktion geben. Viele Altersdefizite können durch Kompensationsstrategien älterer Beschäftigter ausgeglichen werden. In Summe gibt es von Unternehmen diverse Programme für die Erhaltung der Arbeitsleistung der älteren Mitarbeiter. Durch häufiges altersgerechtes Job Rotation resultiert ein Bedarf nach intelligenten Schulungs- und Assistenzsystemen.

Um einer geeigneten funktionalen/nicht funktionalen Gestaltung des Arbeitssystems bei Einsatz einer digitalen Assistenz gerecht zu werden, zeigen sich in vielen Bereichen altersunabhängige Anforderungen. Oftmals ist dies ein Thema der grundsätzlichen Nutzerakzeptanz der Mitarbeiter. Diese werden durch Nutzerwert, Bedienkomfort, Tragbarkeit, Informationsgehalt und ähnlichen altersunabhängigen Bedingungen bestimmt. Bei betrieblichem Einsatz eines neuen digitalen Assistenzsystems muss sich ein Mehrwert für das Unternehmen und ein Nutzen beim Benutzer einstellen. Um eine breite Zustimmung für eine Assistenz zu erhalten, sollten die Systeme nicht nur schnell, genau und hoch auflösend, sondern je nach Anwendung auch leicht, robust und relativ preiswert sein. Hohe Qualitätsanforderungen beeinflussen dabei aber direkt die Herstellungskosten einer Anwendung.

Neue Technologien eröffnen Bereiche der digitalen Informations- und Kommunikationsinteraktion und führen zu Anwendungen kognitiver intelligenter Assistenzsysteme in Produktion und Montage. Durch einen gezielten Einsatz von Assistenzsystemen werden Beschäftigte nicht nur physisch entlastet, sondern können kognitiv unterstützt werden.

Das Thema der wissenschaftlichen Arbeit ist:

*„Anforderungen an digitale Assistenzsysteme in der Fertigung und Montage und die alter(n)sgerechte Gestaltung von entsprechenden Arbeitssystemen“*

Zur Erörterung jener Gestaltungsanforderungen, welche an digitale Assistenzsysteme unter dem Gesichtspunkt des demographischen Wandels gestellt werden, standen im Experteninterview auch Fragen um zukünftige HMI Interaktion, multimodale Sensorik und menschliche Wahrnehmung in einer Industrie 4.0 Produktion. Der Anforderungskatalog an digitale Assistenzsysteme erscheint umfangreich, weil jeder Einsatz im Unternehmen einen Prototyp für eine spezifische Anwendung darstellt. Um eine Basis für die Gestaltung dieser neuen Systeme zu erhalten ist eine Betrachtung und Unterteilung in funktionale/nicht funktionale Anforderungen aus benutzerorientierter/technologischer Sicht sinnvoll. Bei Anwendungen von digitalen Assistenzsystemen, sowie virtueller Informationsausgabe gilt es, die Benutzerwünsche für den Anwendungsbereich (User Advice), die Beschaffenheit der Komponenten in Anbetracht der Umgebungsbedingungen in Fertigung und Montage (Physis des Device) und den virtuellen Aufbau (virtuelles Setup) aufeinander abzustimmen und genau zu spezifizieren. Von den anfänglichen Kundenbedürfnissen und Richtlinien an die Ges-

taltung der Assistenzsysteme bis zur praktischen Ausführung und Anwendung ändert sich meist die Spezifikation der Systemausführung. Viele digitale/virtuelle Anwendungen sind schwer umsetzbar, weil Anforderungen umzusetzen sind, die technisch schwer lösbar sind.

Die in Industrie 4.0 tätigen Unternehmen haben technische Assistenz punktuell in Abteilungen, aber nicht über den ganzen Betrieb eingesetzt. Digitale Assistenzsysteme gelten als Bestandteile dieser neuen Form der Industrialisierung, mit einer genauen Referenzierung realer zu erfassender Objekte und digitale Bilder insbesondere bei Bewegungen im Raum als größtes Problem. Für die industrielle Nutzung in Unternehmen braucht es kompetente Automatisierungsanbieter, da die Sensorik digitaler Assistenzsysteme nicht ausgereift genug ist. Dabei herrscht am Markt eine Verunsicherung über Zugriffsrechte und Normen, weil es keine einheitlichen Standards für einzelne Komponenten gibt. In diesem zukunftssträchtigen Bereich kommen Politik und TÜV nicht so schnell den Regulierungen der Thematik nach. Eine weitere Herausforderung liegt in einer echtzeitfähigen Software für eine Überwachung mit niedrigen Reaktionszeiten, die Prozesse erkennen und rechtzeitig Kommandos setzen kann. Eine technische Lösung muss die geforderte Performance bringen und darf nicht zu langsam, aufgrund zu vieler Anforderungen und Funktionen werden. Dies führt zu einer Systemkonfiguration, deren Gestaltungsrichtlinien auf Mindestanforderungen basieren. Bei Ausführung eines Assistenzsystems zeigt sich ein Gestaltungsdreieck mit den Eckpfeilern „Qualität – Kosten – Zeit“. Die Ableitung an die Qualität bedeutet Zeit zu sparen und die geforderte Qualität zu bringen, um eine höhere Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens zu erzielen. Neben den technischen Herausforderungen zählen die Software und die Schnittstellenproblematik zu den Kostentreibern bei neuen Anwendungen digitaler Assistenzsysteme.

Ein ungelöstes Problem stellen auch noch die Verantwortungen von Systemanbieter und –betreiber in Administration und Systemwartung dar. Assistenzsysteme haben zurzeit keine einheitlichen Standards und ein Plugin (Softwareerweiterung) als optionales Softwaremodul, das die bestehende Software erweitert bzw. verändert soll adaptiv wieder verwertbar sein. Es muss zukünftig eine geeignete Infrastruktur in Unternehmen geschaffen werden, die fähig ist diese Herausforderung anzunehmen. Eine Akzeptanz für solche Systementscheidungen im Unternehmen beginnt beim Management und erst in weiterer Folge an der Basis.

Oft ist am Markt noch ein altes sequentielles Denken, zuerst der Maschinenbau, dann die Elektrotechnik und anschließend kommt die Inbetriebnahme mit einem Softwaretechniker, vorherrschend. Früher hat es im Maschinenbau metallische Komponenten mit elektronischer Steuerung gegeben und die Entwicklung galt der Maschine. Heutige Anwendungen unterliegen einer interdisziplinären Betrachtungswei-

se mit den wesentlichen Informatikthemen der Software- und Algorithmengestaltung und haben diesbezüglich einen sehr hohen Entwicklungsanteil.

So gesehen erscheint es nicht verwunderlich, dass es älteren Arbeitnehmern nicht immer leicht fällt die Nutzung neuer Technologien bedingungslos aufzugreifen oder als Hilfe anzunehmen. Beim Einsatz neuester Informations- und Kommunikationstechnologien, wie dies digitale Assistenzsysteme darstellen, sind Unternehmen daher gefordert. Es gilt Konzepte zu erarbeiten, die es ermöglichen die interne Qualifizierung auszubauen, sowie die Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft der Beschäftigten länger aufrechtzuerhalten. Die Implementierung neuer Technologien alleine schafft noch keine lern- und kompetenzförderlichen Arbeitssysteme für die Bewältigung der mit der Industrie 4.0 einhergehenden Herausforderungen. Ein dringendes Problem stellen auch der Erhalt von bereits erlernten Bedienungen, sowie die Entwicklung diesbezüglich weiterer Fähigkeiten in Arbeitsumgebungen, die durch autonome technische Systeme geprägt sind, dar. Ohne praxisbezogene Lernkonzepte wird auch das Potentiale der neuesten technologischen Entwicklungen ungenutzt bleiben. Die entstehenden Akzeptanzprobleme können durch gezielte Lernförderung und Wissensvermittlung besser gelöst werden. Altersgerechte Didaktik und Methodik beim Aneignen von neuem Wissen und Einbindung in neue Technologien stellt einen wesentlichen Lösungsansatz für den schwierigeren Zugang Älterer in zukünftige technologische Entwicklungen dar. Die Forderung nach einer lernförderlichen Gestaltung von Arbeitssystemen für die Persönlichkeitsentwicklung erhält hier eine praktische Relevanz. In Anbetracht dieser Situation kann von einer zwangsweisen Unterstützung durch den Einsatz digitaler Assistenzsysteme in Fertigung und Montage aus dem Aspekt der demographischen Entwicklung gesprochen werden.

Während ohne Zweifel die Entwicklung neu eingesetzter Technologien unumstritten einen wesentlichen Bestandteil einer Wissens- und Informationsgesellschaft ausmacht, sind dort aber noch nicht alle Menschen angekommen. Trotz intensiver Auseinandersetzung mit zukünftigen Produktionskonzepten, von Produktionen nach Industrie 4.0 Richtlinien bis zu cyberphysikalische Systemen, scheint in Unternehmen noch viel Aufklärungsarbeit und Auseinandersetzen mit der technologischen Seite der Thematik notwendig zu sein.

Da digitale Assistenzsysteme nicht als Produkt, sondern jede Anwendung aus dem Zusammenstellen von Komponenten einen Prototyp darstellt und unsere Industrie in vielen Fällen die notwendige Infrastruktur nicht zur Verfügung hat, wurde in den Experteninterviews meist nur sehr theoretisch gesprochen. Nicht alle Unternehmen, vorrangig jene mit Produktion zeigen sich bei diesem Zukunftsthema digitaler Assistenzsysteme aus unterschiedlichsten Gründen gesprächsbereit. Dabei wurde der Eindruck gewonnen, dass neben terminlichen Gründen einige ungern ihren Wissensstand preisgeben wollen. Die Thematik wurde von allen Gesprächsseiten durchge-

hend positiv bewertet, aber auch aufgezeigt, dass die Technologie in bestimmten Bereichen noch nicht soweit ist. Hier scheint gerade in der Produktion, dass diese Systeme den technologischen Anforderungen (z.B. Referenzierung) nur ansatzweise gerecht zu werden.

Die Vorzüge einer zukunftsorientierten Augmented Reality Technologie liegen in einer kontextsensitiven Darstellung. Die Zielsetzung gilt einer Unterstützung des Mitarbeiters im Arbeitsprozess durch Visualisierung von Zuständen und Informationen, um durch eine gezielte Reduktion dieser, eine Erhöhung der menschlichen Zuverlässigkeit und einer Mensch Maschine Zusammenarbeit zu erhalten. Bei einem Einsatz eines AR Systems muss ein Mehrwert am Produkt, für den Benutzer oder für das Unternehmen generiert werden (z.B. Navigation durch Head Up Display, Produktvisualisierung zu Demonstrationszwecken für Kundenvorfürungen, ...), da Applikationen ohne Mehrwert nicht sinnvoll sind. Die vom Computer generierten Informationen können unter der Nutzung geeigneter Technik, sowie einer realen Perspektive abgeglichen werden. Durch die Koppelung der Computergrafik an eine reale Umgebung oder Objekt entsteht eine hohe situationsbedingte Verständlichkeit und eine Digitalisierung ist nicht immer in hohem Maß notwendig.

Die künftige Fertigung ist flexibel für individuelle Produkte und die Fertigungssysteme sowie Fertigungsketten, zwischen Zulieferern, Herstellern und Benutzern sollen zukünftig stärker und durchgängiger vernetzt werden. Intelligente Assistenzsysteme mit Mixed Reality als Hilfestellung finden Verwendung bei komplexen Aufgaben bei der Konstruktion, in der Fertigung, beim Zusammenbau, bei der Wartung und letztendlich auch wieder bei der Demontage und beim Recycling. Die Assistenzsysteme in Produktion und Montage machen dann Sinn, wenn eine unterstützende Anleitung und Kontrolle der Arbeitsabläufe und Lernphasen, sowie Umstellungsphasen bei Variabilität in kleineren flexibleren Serienfertigungen schneller erfolgt. Im Zuge des demografischen Wandels gestalten sich Erwerbsbiografien deutlich länger. Zugleich beschleunigt sich die technologische Entwicklung weiterhin. Es wird also tendenziell für Beschäftigte aller Qualifikationsstufen zunehmend wichtig sein, über ihre gesamten Erwerbsbiografien hinweg hinzuzulernen und zugleich auch diese Lernfähigkeit zu erhalten. Ist der Berufsverlauf durch Lern- und Entwicklungsprozesse, vielseitige Arbeitsanforderungen und Anerkennung geprägt, dann tritt an die Stelle des gesundheitlichen Verschleißrisikos die Chance wachsender Kompetenz mit dem Alter.

Es steht fest, dass bei Einführung alter(n)sgerechte Arbeitssysteme die längere Nutzung mitarbeiterseitiger Produktionskapazität garantiert erscheint. Mit zusätzlichen Hilfssystemen zur Unterstützung in Form von Assistenzsystemen in Fertigung und Montage kann der Mitarbeiter länger arbeitsfähig bleiben und somit sein Erwerbsprozess verlängert werden. Digitale Assistenzsysteme im Speziellen können in vielen Einsatzbereichen zukünftig sinnvoll unterstützen, aber es kann nicht abgeschätzt

werden, ob diese ein adäquates Mittel darstellen zukünftigen altersgerechten Herausforderungen prospektiv und präventiv zu begegnen. Auch gilt es die rechtlich ethischen Rahmenbedingungen in Unternehmen zu schaffen, um einen Paradigmenwechsel im Sinne älterer Erwerbstätiger zu erlangen. Eine verstärkte interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedenster Entwicklungen scheint aber ein Garant für die technische Weiterentwicklung und letztendlich dem Wirtschaftsstandort zu sein.

## 7 Literaturverzeichnis

### 7.1 Verwendete Literatur

Bachl N., Schwarz W., Zeibig J.: Fit ins Alter, Mit richtiger Bewegung jung bleiben, Springer Science & Business Media, 2005, ISBN 321123523X

Badke-Schaub P., Hofinger G., Lauche K.: Human Factors, Psychologie sicheren Handelns, Heidelberg, Springer, 2008, ISBN 9783540723202

Barfield W.: Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, Second Edition, CRC Press, 2015, ISBN 1482243512

Bauer W.: Entwicklung eines Systems zur virtuellen ergonomischen Arbeitsgestaltung, Springer-Verlag, 2013, ISBN 3642479103

Boll S., Maaß S., Malaka R.: Mensch & Computer 2013 – Tagungsband: 13. fachübergreifende Konferenz für interaktive und kooperative Medien, Walter de Gruyter, 2013, ISBN 3486781227

Bommer C., Spindler M., Barr V.: Softwarewartung - Grundlagen, Management und Wartungstechniken, dpunkt.verlag, Heidelberg, 2008, ISBN 3898644820

Brauer K., Clemens W.: Zu alt?, „Ageism“ und Altersdiskriminierung auf Arbeitsmärkten, *Was Hänschen nicht lernt...? Von (falschen) Altersstereotypen zum (echten) Lernkompetenzmangel*, p.187-204, Springer Verlag, 2010, ISBN 9783531170466

Brecher C.: Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, Springer Verlag, 2011, ISBN 364220693X

Diel C.: Risikofaktor demografischer Wandel: Generationenvielfalt als Unternehmensstrategie, Symposion Publishing GmbH, 2009, ISBN 3939707120

Dörner R., Broll W., Grimm P., Jung B.: Virtual und Augmented Reality (VR / AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität, Springer Verlag, 2014, ISBN 3642289037

Eversheim W.: Organisation in der Produktionstechnik Band 4: Fertigung und Montage, Springer Verlag, 2013, ISBN 3642613446

Feldes W., Gerntke A., Jentgens B.: Alters- und altersgerechtes Arbeiten, Bund Verlag GmbH, 2013, ISBN 9783766362302

Gerke W.: Technische Assistenzsysteme: vom Industrieroboter zum Roboterassistenten, Walter de Gruyter, 2014, ISBN 3110343711

Grap R.: Neue Formen der Arbeitsorganisation für die Stahlindustrie, Augustinus, Aachen, 1992, ISBN 9783860730102

Hacker W., Skell W.: Lernen in der Arbeit, Hrsg.: Bundesinstitut für Berufsbildung, W. Bertelsmann Verlag, Berlin, Bonn, 1993, ISBN 3885555255

Hamelmann St.: Anwendungsspezifische Gestaltung von Augmented Reality-Illustrationsobjekten für eine Wearable Computing-Plattform, diplom.de, 2006, ISBN 3832492836

Heinecke A.M.: Mensch Computer Interaktion, Basiswissen für Entwickler und Gestalter, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2011, ISBN 9783642135064

Hentschel H.J.: Licht und Beleuchtung, Theorie und Praxis der Lichttechnik, 4. Ausgabe, Hüthig, 1994, ISBN 3778521845

Johannsen G.: Mensch-Maschine-Systeme, Springer Verlag, 2013, ISBN 3642467857

Lange W., Windel A.: Kleine ergonomische Datensammlung, Hrsg. von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz (BAuA), 15. überarbeitete Auflage, 2013, ISBN 9783824916597

Langhoff T.: Den demographischen Wandel im Unternehmen erfolgreich gestalten, Eine Zwischenbilanz aus arbeitswissenschaftlicher Sicht, Springer Verlag, 2009, ISBN 3642012418

Ma D., Gausemeier J., Fan X., Grafe M.: Virtual Reality & Augmented Reality in Industry, Springer Science & Business Media, 2012, ISBN 3642173764

Martin M., Kliegel M.: Psychologische Grundlagen der Gerontologie, Grundriss Gerontologie, Bd. 3, 2. Auflage, Kohlhammer, Stuttgart, 2005, ISBN 9783170206021

Morschhäuser M.: Grundzüge altersgerechter Arbeitsgestaltung, in: Gussone, M. / Huber, A. / Morschhäuser, M. / Petrenz, J. (Hg.): Ältere Arbeitnehmer. Altern und Erwerbsarbeit in rechtlicher, arbeits- und sozialwissenschaftlicher Sicht (Handbücher für die Unternehmenspraxis), Frankfurt/Main, 1999

Morschhäuser M.: Demographischer Wandel: Herausforderung an die betriebliche Gesundheits- und Personalpolitik, in: Bernhard Badura, Martin Litsch, Christian Vetter (Hg.): Fehlzeiten-Report 2000, Springer Verlag, Berlin u.a., 2000, ISBN 9783540675709

Morschhäuser M.: Gesund bis zur Rente, Konzepte gesundheits- und altersgerechter Arbeits- und Personalpolitik (Broschürenreihe Demographie und Erwerbsarbeit), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2002, ISBN 3816760988

Oehme O.: Ergonomische Untersuchung von kopfbasierten Displays für Anwendungen der erweiterten Realität in Produktion und Service, Shaker Verlag, 2004, ISBN 3832226338

Preißing D.: Erfolgreiches Personalmanagement im demografischen Wandel, Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2014, ISBN 3110353962

REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): Methodenlehre des Arbeitsstudiums, Teil 1 – Grundlagen, 7. Auflage, Hanser, München, 1984, ISBN 3446142347

REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): Grundlagen der Arbeitsgestaltung (Methodenlehre der Betriebsorganisation), Hanser, München, 1991

REFA (Hrsg.): Ausgewählte Methoden zur Prozessorientierten Arbeitsorganisation, REFA, Darmstadt, 2002, (REFA-Bestell-Nr. 198213)

Roßnagel A., Wedde P., Hammer V., Pordesch U.: Die Verletzlichkeit der Informationsgesellschaft, Westdeutscher Verlag, 1990, ISBN 35311211375

Saup W.: Alter und Umwelt, eine Einführung in die ökologische Gerontologie, W. Kohlhammer, 1993, ISBN 3170123270

Schlick C. M., Bruder R., Luczak H.: Arbeitswissenschaft, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2010, ISBN 3540783334

Ulich E.: Arbeitspsychologie, vdf Hochschulverlag AG, 2011, ISBN 3728133701

Wandmacher J.: Software-Ergonomie, Band 2 von Grundwissen, Mensch-Computer-Kommunikation, Walter de Gruyter, 1993, ISBN 311012971X

Weineck J.: Sportbiologie, Spitta Verlag GmbH & Co. KG, 2004, ISBN 3934211836

Weineck J.: Optimales Training, leistungsphysiologische Trainingslehre, Spitta Verlag GmbH & Co.KG, 2004, ISBN 3934211755

Zühlke D.: Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen: Useware-Engineering für technische Systeme, Springer Verlag, 2011, ISBN 3642220746

## **7.2 Studien / Publikationen**

Adler M., Herrmann H.J., Koldehoff M., Meuser V., Scheuer S., Müller-Arnecke H., Windel A., Bleyer T.: Ergonomiekompodium, Anwendung ergonomischer Regeln und Prüfung der Gebrauchstauglichkeit von Produkten, 1. Auflage, Dortmund, 2010, ISBN 9783882611182

Agenda Austria: Jung, älter, arbeitslos?, 2015

AMS: Alter hat Zukunft, 2015, ISBN 9783854956223

Azuma R.T.: Augmented Reality: Approaches and Technical Challenges, Book chapter in Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, Woodrow Barfield and Thomas Caudell, editors, Lawrence Erlbaum Associates, Chapter 2, pp. 27-63, 2001, ISBN 0805829016

Azuma R.T.: "A survey of augmented reality" Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385, August 1997

BAuA: Datenbrillen – Aktueller Stand von Forschung und Umsetzung sowie zukünftiger Entwicklungsrichtungen (Workshop vom 20. Juni 2011 in Dortmund), BAuA, 2012, ISBN 9783882611465

BAuA: Technische Regel für Betriebssicherheit 1151, Gefährdungen an der Schnittstelle Mensch - Arbeitsmittel – Ergonomische und menschliche Faktoren, Arbeitssystem – (TRBS 1151), 2015, in: BMI (Bundesministerium des Inneren): GMBI (Gemeinsames Ministerialblatt) 2015, Nr. 17/18, S. 340-362, Carl Heymanns Verlag, Berlin, 2015, ISSN 0939-4729

BMFSFJ: Dritter Bericht zur Lage der älteren Generation in der Bundesrepublik Deutschland, 2001

BMWi: Mensch-Technik-Interaktion, Leitfaden für Hersteller und Anwender (Band 3), Berlin, 2013

BMWi: Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand, agiplan GmbH, 2015

Buxbaum A., Reifinger I.: Ältere Arbeitnehmer, Das verborgene Gold im Unternehmen, 3. Auflage, ÖGB, 2012

Arbeit altersgerecht gestalten, ÖGB, 2010

Chossat J.B., Tao Y., Duchaine V., Park Y.L.: Wearable Soft Artificial Skin for Hand Motion Detection with Embedded Microfluidic Strain Sensing, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Washington, 2015

Datenschutzgesetz 2000 (DSG 2000): BGBl. I Nr. 165/1999 idF. BGBl. I Nr. 83/2013, 2000

DGUV: DGUV Information 215-410 (bisher BGI/GUV-I 650), Bildschirm- und Büroarbeitsplätze, Leitfaden für die Gestaltung, 2015

DIN EN 1005- 4: 2005, Bewertung der Körperhaltung bei Arbeit an Maschinen

DIN EN 1005: 2002-2007, Körperhaltung und Bewegung

DIN EN ISO 9241-12: 2000, Prinzipien der Darstellung von Informationen

DIN EN ISO 9241-154:2013-05, Sprachdialogsysteme

DIN EN ISO 9241 (Teil 300 ff.), Ergonomie der Mensch System Interaktion

DIN EN ISO 9241-303: Entwurf 2006

DIN EN ISO 9241-307: 2008, Anforderungen an Flachbildschirme

DIN EN ISO 9241-410, Gestaltungskriterien für physikalische Eingabegeräte

DIN EN ISO 9241-410 Anhang B

DIN EN ISO 9241-410 Anhang C, Ergonomie von Mäusen

DIN EN ISO 9241-410 Anhang J, Ergonomie von Berührungsbildschirmen

Enzenhofer E., Muralter D., Rapa S., Simbürger E., Steiner K.: Erwerbsrealität von älteren ArbeitnehmerInnen: Chancen und Barrieren, AMS, 2004

Freiberger E.: Handlungsfelder für Unternehmen in Bezug auf ältere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, 2011

Geißler-Gruber B., Geißler H., Frevel A.: Alternsgerechte Arbeitskarrieren, AUVA, 2005

Günthner W. A., Blomeyer N., Reif R., Schedlbauer M.: Pick-by-Vision®: Augmented Reality unterstützte Kommissionierung, Abschlussbericht, Forschungsvorhaben (AiF-FV-Nr. 14756 N) ist aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert worden, Februar 2009

Günthner W. A., Rammelmeier T.: Auf dem Weg zur Null-Fehler-Kommissionierung, f+h Projektguide Intralogistik 2012, Sonderausgabe S. 16-18, 2012, ISSN 9783783003895

Mieg H. A., Näf M.: Experteninterviews, Institut für Mensch-Umwelt Systeme (HES), ETH Zürich, 2. Auflage, 2005

Haydn F., Natter E., Tauber M.: Altersspezifische Personalpolitik. Und der Beitrag des AMS, AMS/ÖSB Consulting GmbH, 2015

IHS Studie, a: Arbeitslosigkeitsbetroffenheit und Wiederbeschäftigung Älterer im Vergleich zu Jüngeren am österreichischen Arbeitsmarkt, 2015

IHS Studie, b: Relevanz und Auswirkungen des Senioritätsprinzips am österreichischen Arbeitsmarkt, 2015

Ilmarinen J., Tempel J.: Arbeitsfähigkeit 2010: Was können wir tun, damit Sie gesund bleiben?, Hrsg.: Marianne Giesert, DGB Bildungswerk e.V. Düsseldorf, VSA-Verlag, Hamburg

Kronberger R.: Der demographische Wandel und das Wirtschaftssystem, AWS Nr. 46 / 2004

Land OÖ, Abt. Statistik: Bevölkerungsveränderung, 2015

Land OÖ, Abt. Statistik: Bevölkerung – Durchschnittsalter, 2015

Land OÖ, Abt. Statistik: Bevölkerungsvorausschätzung für OÖ bis 2060, 2015

Land OÖ, Abt. Statistik: F&E Ausgaben im Unternehmenssektor, 2015

Meuser M., Nagel U.: ExpertInneninterviews - vielfach erprobt, wenig bedacht; ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion, In: Garz D., Kraimer K.: Qualitativ-empirische Sozialforschung; Konzepte, Methoden, Analysen; pp. 441-471, Westdt. Verlag, Opladen, 1991, ISBN 3531122894

Milgram P., Takemura H., Utsumi A., Kishino F.: Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum, SPIE Vol. 2351-34, Telemanipulator and Telepresence Technologies, 1994

Morschhäuser M.: Gesund bis zur Rente, Stuttgart, 2002, ISBN 3 8167 6098 8

Ramscar M., Peter Hendrix P., Cyrus Shaoul C., Petar Milin P., Baayen H.: Cognitive Science: „The Myth of Cognitive Decline: Non-Linear Dynamics of Lifelong Learning“, Volume 6, Issue 1, pp. 5–42, 2014

Penner M.: Arbeitslosigkeit und Gesundheitszustand unter spezieller Berücksichtigung älterer Arbeitsloser, OÖGKK, 2009

Pryor H.L., Furness T.A., Viirre E.: The Virtual Retinal Display, A New Display Technology Using Scanned Laser Light, In Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society, 42nd Annual Meeting, pp. 1570-1574, 1998

Rolland J.P., Fuchs H.: Optical versus Video See-Through Head-Mounted Displays Fundamentals of wearable Computers and Augmented Reality, Woodrow Barfield and Thomas Caudell, editors, Lawrence Erlbaum Associates, Chapter 4, pp. 113-156, 2001

Sauer A. L., Parks A., Heyn, P. C.: Assistive technology effects on the employment outcomes for people with cognitive disabilities: a systematic review, *Disability & Rehabilitation: Assistive Technology*, Volume 5, Issue 6, p. 377-391, 2010

Schipfer R.: *Der Wandel der Bevölkerungsstruktur in Österreich*, ÖIF, 2005

Schwerdtfeger B., Reif R., Günthner W. A.: Pick-by-vision: there is something to pick at the end of the augmented tunnel, *Virtual Reality* 15, p. 2-3, p. 213-223, 2011

Statistik Austria (Hrsg.): *Demographisches Jahrbuch 2003*. Wien 2005

Statistik Austria (Hrsg.): *Demographisches Jahrbuch 2015*, Wien 2015

Statistik Austria: *Erhebungen über Forschung und experimentelle Entwicklung (F&E) in Österreich*, 2015

Vallino J. R.: *Interactive Augmented Reality*, University of Rochester Rochester, New York, 1998

WKO: WKO Studie „Best Ager – Der Silberne Markt“

WKO: WKO Studie „Zukunftsmarkt Best Ager“

WKO, AK, ÖGB, LK: *Auswirkungen der demographischen Entwicklung auf Arbeitsmarkt und soziale Systeme*, 2011

### **7.3 Blätter / Weiterführende Literatur**

AMS: AMS Info 313, April 2015

AUVA: M 021 Ergonomie, Sicherheitsinformationen der AUVA, Wien, 2015

Berndt D. Sauer S.: Visuelle Assistenz - Unterstützung bei der Durchführung komplexer Montageaufgaben, *wt Werkstattstechnik online* 102, No.3, pp.162-163, 2012, ISSN 1436-4980, ISSN 1436-5006

Berndt D.: Assistenzsysteme federn demographischen Wandel ab (vom 5.9.2014) [http://www.mav-online.de/trend\\_demografischer\\_wandel\\_0914/-/article/32571331/39773697/Assistenzsysteme-federn-demografischen-Wandel-ab/art\\_co\\_INSTANCE\\_0000/maximized/](http://www.mav-online.de/trend_demografischer_wandel_0914/-/article/32571331/39773697/Assistenzsysteme-federn-demografischen-Wandel-ab/art_co_INSTANCE_0000/maximized/)

Beste D.: Promimo, Universität Bielefeld, (vom: 2.5.2014), <http://www.springerprofessional.de/assistenzsystem-unterstuetzt-bei-montagearbeiten/5092480.html>, aufgerufen: 17.8.2015

Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V.: BVA-Pressemitteilungen 16.1.2014, Wenn gefährliche Strahlen ins Auge gehen, Laserpointer sind kein Spielzeug

Cockton G.: Revisiting Usability's Three Key Principles, 2008, in: [http://www.chi2008.org/altchisystem/submissions/submission\\_gilbert\\_0.pdf](http://www.chi2008.org/altchisystem/submissions/submission_gilbert_0.pdf), aufgerufen am: 30.8.2015

derStandard: Kognitive Fähigkeiten im Alter: Langsamer, aber leistungsfähiger (vom 1. Februar 2014, 17:58), in: <http://derstandard.at/1389857859230/Kognitive-Faehigkeiten-im-Alter-Langsamer-aber-leistungsfahiger>, aufgerufen am: 30.8.2015

Grass K.: Zukunft der Arbeit, Hilfskraft + Datenbrille = Facharbeiter, (vom: 29.9.2014), <http://www.spiegel.de/karriere/berufsleben/datenbrillen-bei-der-arbeit-ersatz-fuer-facharbeiter-a-993221.html>, aufgerufen: 10.10.2015

Grieger N.: Ältere am Arbeitsmarkt, Bedeutung der Generation 50+ steigt, AMS, 2015

Hartbrich I.: Datenbrille, Das Handbuch auf der Nase, Wenn teure Maschinen kaputt sind, sollen Datenbrillen beim Reparieren helfen, DIE ZEIT Nr. 36/2014, (vom: 28. August 2014), <http://www.zeit.de/2014/36/datenbrille-service-reparatur>, aufgerufen: 10.10.2015

Sauer S.: Optische Technologien entlarven kleinste Fehler, Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg, in: IFFOCUS 2014/1: Der Mensch in der Produktion, Fraunhofer IFF, Magdeburg, S. 24-27, 2014

Staudinger U. M., Baltes P. B.: Weisheit als Gegenstand psychologischer Forschung, Psychologische Rundschau, 47, S. 57-77, 1996

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Österreichische Bevölkerungspyramide 1910 .....	9
Abb. 2: Bevölkerungspyramide 2011 im Jahresdurchschnitt .....	10
Abb. 3: Österreichische Bevölkerungspyramide 2012, 2030 und 2060 .....	14
Abb. 4: Wanderungsstatistik 2013 .....	16
Abb. 5: Altersschere .....	18
Abb. 6: Ältere Arbeitnehmer, ÖGB 2010 .....	19
Abb. 7: Bevölkerungsentwicklung Österreich .....	19
Abb. 8: Bevölkerungsentwicklung Deutschland .....	20
Abb. 9: Alterspyramiden der OÖ Bevölkerung .....	21
Abb. 10: OÖ Bevölkerungsdurchschnittsalter .....	22
Abb. 11: OÖ Bevölkerung nach Altersgruppen .....	23
Abb. 12: OÖ Bevölkerungswachstum .....	24
Abb. 13: OÖ Bevölkerungsvorausschätzung bis 2060 .....	24
Abb. 14: F&E Ausgaben .....	25
Abb. 15: Interneteinkauf in Österreich .....	26
Abb. 16: Lebenslanges Lernen .....	27
Abb. 17: Hörfläche der menschlichen akustischen Wahrnehmung .....	39
Abb. 18: Muskelkraft in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht .....	42
Abb. 19: Prinzipskizze, Entwicklung der Bandbreite der Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Lebensalter.....	43
Abb. 20: „Baldes-Kurve“: Zunahme der Leistungsvariabilität im Alter.....	44
Abb. 21: Konstrukt der fluiden und kristallinen Intelligenz zur Entwicklung der Intelligenz im Altersverlauf .....	44
Abb. 22: Veränderung der Akkommodationsbreite mit dem Alter.....	47
Abb. 23: Obere Hörgrenze in Abhängigkeit des Alters .....	48
Abb. 24: Maximale Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit von Lebensalter und Geschlecht .....	51
Abb. 25: Arbeitssystem .....	67
Abb. 26: Gestaltungsmöglichkeiten bei der Arbeitszeit .....	73
Abb. 27: Das gesamte Realitäts Virtualitäts Kontinuum .....	90
Abb. 28: Modell der Interaktion der Menschen mit einem Assistenzsystem .....	96
Abb. 29: Komponenten eines Virtual Reality Systems .....	102
Abb. 30: Augmented Reality Darstellung am Bildschirm .....	117
Abb. 31: Video See Through AR Display .....	117
Abb. 32: Optical See Through AR Display .....	118
Abb. 33: Virtual Retinal Display (VRD) .....	120
Abb. 34: Prinzipskizze einer CAVE Umgebung .....	122
Abb. 35: Ergonomischer Steharbeitsplatz .....	135
Abb. 36: Gesichtsfeld der Arbeitsperson .....	136

---

Abb. 37: Ergonomische Greifräume .....	137
Abb. 38: Tastenfunktion von Tastaturen .....	145
Abb. 39: Augmented Reality fähige HMDs .....	151
Abb. 40: HMDs mit Smartphone Halterung .....	152
Abb. 41: Datenbrillen mit Trackingsystemen .....	152
Abb. 42: Microsoft HoloLens .....	153

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bevölkerungsprognose 2003 (Quelle: Statistik Austria, mittlere Variante) .....	12
Tabelle 2: Bevölkerungsprognose 2015 (Quelle: Statistik Austria, erstellt am 18.11.2015).....	13
Tabelle 3: Arbeitsmarktstatistik 2015, Bevölkerung und Arbeitsmarkt im EU Vergleich (Quelle: Statistik Austria).....	18
Tabelle 4: Altenquote (Quelle: Eurostat, EU Kommission, Ageing Report 2009).....	21
Tabelle 5: Gegenüberstellung Vorurteile und Gegenargumente (Quelle: AMS, 2015).....	34
Tabelle 6: Die Stärken älterer Arbeitskräfte (Quelle: AMS, 2015).....	37
Tabelle 7: Abnahme der Wahrnehmung im Altersgang (Quelle: Saup, 1993) .....	46
Tabelle 8: Organ/System – altersbedingte Veränderungen(Quelle: BMFSFJ, 2001).....	53
Tabelle 9: Gestaltungstipps „Alternsgerechtes Arbeiten“, (Quelle: ÖGB und AK).....	67
Tabelle 10: Beeinflussende Faktoren, Gestaltungsbereiche und Beurteilungsgrößen der ergonomischen Arbeitsgestaltung .....	70
Tabelle 11: Maßnahmenkatalog nach Spirduso (1995) für altersentsprechende Gestaltung von Arbeitsplätzen .....	79
Tabelle 12: Robotersensoren (Quelle: Gerke, 2014) .....	95
Tabelle 13: Kriterien der DIN EN ISO 9241-110 „Grundsätze der Dialoggestaltung“ (Quelle: BMWi, 2013).....	98
Tabelle 14: Tracking Komponententechnologie.....	115
Tabelle 15: Prinzipien eines Spieledesigns (Gamification) .....	134
Tabelle 16: Eigenschaften des Auges und abgeleitete Anforderung an die Gestaltung von Bediensystemen .....	142
Tabelle 17: Eigenschaften des Ohres und abgeleitete Anforderung an die Gestaltung von Bediensystemen .....	142
Tabelle 18: Eigenschaften der Informationsdarstellung.....	148
Tabelle 19: LED/Laser Projektion .....	150
Tabelle 20: Gestaltungsanforderungen an die Verarbeitungskomponenten .....	155
Tabelle 21: Nichtfunktionale Gestaltungsanforderungen .....	157
Tabelle 22: Richtwerte für Sehabstände Auge Bildschirm (Quelle: BGI 650, DGUV-I215-410) .....	160
Tabelle 23: Auflistung der Experteninterviews.....	166
Tabelle 24: Anforderungen an Bedienkomponenten .....	173
Tabelle 25: Die unterschiedlichen Möglichkeiten des Positionstracking .....	175

## 10 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ADC	Analog to Digital Converter
AAL	Ambient Assisted Living
AFO	Arbeitsfolge
AGV	Automatic Guided Vehicles
AK	Arbeiterkammer
AMS	Arbeitsmarktservice
AR	Augmented Reality
AV	Augmented Virtuality
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
B2B	Business to Business
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BGI	Berufsgenossenschaftsinformation
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Frauen
BMFSJ	Bundesministerium für Frauen, Senioren und Jugend
BMWI	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAD	Computer Aided Design
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CPS	Cyber Physical System
CPU	Central Processing Unit
CT	Computer Tomographie
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrienorm
DSG	Datenschutzgesetz
EID	Elektronisches Informationsdisplay
EN	Europäische Norm
ERP	Enterprise Resource Planning System
EU	Europäische Union
F&E	Forschung und Entwicklung
ff.	folgende
FTF	Fahrerloses Transportfahrzeug

GPS	Global Positioning System
GPU	Graphics Processing Unit
HCCPPS	Human Centered Cyber Physical Production Systems
HD	High Definition
HIT	Human Interface Technology
HHD	Hand Held Display
HMD	Head Mounted Display
HMI	Human Machine Interface
MTRS	Mean Time to Restore Service
IAB	Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung
idF.	in der Fassung
IHS	Institut für Höhere Studien
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
KED	Kleine ergonomische Datensammlung
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
lt.	laut
LWS	Lendenwirbelsäule
MMI	Man Machine Interface
MPE	Maximum Permissible Exposure
MR	Mixed Reality
MRT	Magnetresonanz Tomographie
MS	Microsoft
MVA	Multi Domain Vertical Allgnment
NASA	National Aeronautice and Space Administration
OÖ	Oberösterreich
ÖGB	Österreichischer Gewerkschaftsbund
PC	Personal Computer
PVA	Patterned Vertical Allgnment
RFID	Radio Frequency Identification
RGB	Rot, Grün und Blau
RTD	Resistance Temperature Detector
SAR	Spatial Augmented Reality
SLAM	Simultaneous Lokalization and Mapping
SOK	Selektive Optimierung mit Kompensation

TFT	Thin Film Transistor
TRBS	Technische Regeln für Betriebssicherheit
TQM	Total Quality Management
u.a.	unter anderem
UCD	User Centered Design
UFOV	Useful Field of View
usw.	und so weiter
VGA	Video Graphics Array
vgl.	Vergleiche
VR	Virtual Reality
VRD	Virtual Retinal Display
WKO	Wirtschaftskammer Österreich
z.B.	zum Beispiel
ZMR	Zentrales Melderegister
ZSB	Zusammenbau