

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/318350939>

# Chancen und Risiken von Augmented Reality als Assistenzsystem im industriellen Montageprozess

Thesis · June 2017

DOI: 10.13140/RG.2.2.28631.98720

CITATIONS

0

READS

1,304

1 author:



[Philipp Spitzer](#)

Fachhochschule Oberösterreich

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Chancen und Risiken von Augmented Reality als Assistenzsystem im industriellen Montageprozess [View project](#)



Prozess zur Ermittlung der Vorgabezeiten in der Kundeneinzelfertigung durch den Einsatz von Data Mining mit dem Ziel der Qualitätsverbesserung [View project](#)

# Chancen und Risiken von Augmented Reality als Assistenzsystem im industriellen Montageprozess

erstellt am  
Fachhochschul-Studiengang  
Produktion und Management (PMT)  
FH OÖ, Standort Steyr



**Bachelor-Arbeit II**  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Science in Engineering (BSc)  
für technisch-wissenschaftliche Berufe

Eingereicht von  
Spitzer Philipp

Eingereicht bei: Dr. DI Mag. Josef Wolfartsberger

Steyr, am **01. Juni 2017**

## Danksagung

Das Interesse, den Themenbereich Augmented Reality zu untersuchen, wurde verstärkt durch die Mitarbeit am Forschungsprojekt „Smart Factory Lab“ an der FH OÖ, Campus Steyr im Sommer 2016. Dabei wurde das Fundament für diese Arbeit gelegt. Für die Mitwirkung an dem Projekt und die umfassende Betreuung meiner Bachelor Arbeit, die aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und des Landes Oberösterreich kofinanziert wird, möchte ich mich in erster Linie sehr herzlich bei Herrn Dr. DI Mag. Josef Wolfartsberger bedanken. Für die gute Zusammenarbeit und die Unterstützung bei der Literaturrecherche während und nach dem Forschungsprojekt möchte ich Frau Sabrina Egger BSc danken.

Philipp Schübl BSc als Praktikumsbereuter im Frühjahr 2017 unterstützte mich, den strategischen Blick auf IT-Systeme eines Unternehmens zu festigen. Dabei entstanden, für die Umsetzung von AR-Assistenzsysteme, wichtigen Ansätze für die Aufbereitung der Fertigungsinformationen.

Meiner Familie, Spitzer-Schaden, und meiner nächsten Verwandtschaft, Familie Landlinger, möchte ich mich auf diesem Weg sehr herzlich danken. Danke für die umfangreiche Unterstützung, Motivation, Stärkung und für das Korrekturlesen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>DANKSAGUNG.....</b>	<b>II</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>III</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>V</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>VI</b>
<b>FORMELVERZEICHNIS .....</b>	<b>VI</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS / GLOSSAR.....</b>	<b>VII</b>
<b>KURZFASSUNG .....</b>	<b>VIII</b>
<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>IX</b>
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2 AUGMENTED REALITY.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Augmented Reality Systemaufbau .....</b>	<b>7</b>
2.1.1 Bilderfassung.....	8
2.1.2 Bildanalyse und Bildverarbeitung .....	8
2.1.3 Tracking (Nachverfolgen) von Objekten .....	9
2.1.4 Interaktion von Handlungen .....	10
2.1.5 Fertigungsinformationsmanagement .....	11
2.1.6 Wiedergabe/Ausgabe .....	11
<b>2.2 Augmented Reality Assistenzsysteme .....</b>	<b>14</b>
<b>3 MONTAGE.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Bedeutung des Montageprozesses .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Montageprozess.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 Eigenschaften .....</b>	<b>18</b>
3.3.1 Produktionssystem .....	19
3.3.2 Montageablaufprinzip .....	20
3.3.3 Montagesystem .....	20
<b>3.4 Herausforderungen .....</b>	<b>21</b>
3.4.1 Variantenvielfalt.....	22
3.4.2 Flexibilität.....	22
<b>4 EINSATZ VON AR-ASSISTENZSYSTEMEN.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Anwendungsbereiche .....</b>	<b>23</b>
4.1.1 Montageanleitung .....	24
4.1.2 Kommissionieren .....	26

---

4.1.3	Qualitätsprüfung .....	28
4.1.4	Training .....	30
<b>4.2</b>	<b>Arten.....</b>	<b>32</b>
4.2.1	Datenbrille .....	33
4.2.2	In-situ Projektion.....	35
4.2.3	Monitor .....	36
4.2.4	Smartphone / Tablet.....	37
<b>4.3</b>	<b>Chancen .....</b>	<b>38</b>
4.3.1	Prozesszeit .....	38
4.3.2	Montagefehler .....	42
4.3.3	Sicherheit am Arbeitsplatz.....	44
<b>4.4</b>	<b>Risiken .....</b>	<b>45</b>
4.4.1	Akzeptanz der Technologie.....	46
4.4.2	Kognitive Belastung .....	47
4.4.3	Überwachung der Mitarbeiter .....	48
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>FAZIT UND AUSBLICK .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>55</b>
7.1	Literaturquellen und die Verwendung in den Kapiteln .....	55
7.2	Ausgabegeräte in verwendeten Publikationen .....	58
7.3	Deutsche Ausführung – NASA TLX .....	59
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>61</b>
8.1	Monographien, Bücher und Sammelbände.....	61
8.2	Fachartikel und Journale .....	62
8.3	Artikel aus dem Web .....	65
	<b>LEBENS LAUF .....</b>	<b>66</b>
	<b>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG .....</b>	<b>68</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einblendung eines digitalen Autos mit einer AR-Anwendung, bereitgestellt von Kudan Limited.....	6
Abbildung 2: Virtuality Continuum nach (Milgram & Kishino, 1994).....	6
Abbildung 3: Module eines Augmented Reality Systems nach (Wang et al., 2016).....	7
Abbildung 4: Verwendung eines markerbasierten Tracking in einer AR-Anwendung; das Foto am Tisch dient als visueller Marker.....	10
Abbildung 5: Übersicht von AR Ausgabegeräten nach (Syberfeldt et al., 2016).....	12
Abbildung 6: schematische Darstellung eines Optical See-Through HMD nach (Azuma, 1997) .....	13
Abbildung 7: schematische Darstellung eines Video See-Through HMD nach (Azuma, 1997) .....	13
Abbildung 8: Funktionen der Montage nach VDI 2860.....	18
Abbildung 9: Ausschnitt eines Montagearbeitsplatzes eines Nutzfahrzeugherstellers in Niederösterreich .....	27
Abbildung 10: Anzahl der verwendeten Ausgabegeräte in untersuchten Publikationen.....	32
Abbildung 11: schematische Darstellung einer Optical See-Through HMD nach (Rauschnabel et al., 2015) .....	33
Abbildung 12: Untersuchung verschiedener Positionen eines Optical See-Through HMD in (Chua et al., 2016).....	34
Abbildung 13: Gliederung der Ablaufarten; Zeitbausteine für die Tätigkeit des Menschen nach (REFA, 2001) .....	39

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Suchbegriffe für die Literaturrecherche .....	3
Tabelle 2: Mehrfach genannte Publikationen .....	4
Tabelle 3: manuellen Operationen der Montagetätigkeit .....	17
Tabelle 4: Ergebnisse für GATM in (Funk et al., 2016) .....	51
Tabelle 5: Übersicht der Zitate und deren Verwendung in der Arbeit .....	57
Tabelle 6: Verwendete Ausgabegeräte in Publikationen .....	58

## Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der Prozesszeit nach (Funk et al., 2015) .....	39
Formel 2: Formel für die Summe von Mittelwerten .....	50
Formel 3: Formel für die Summe von Standardabweichungen .....	50

## Abkürzungsverzeichnis / Glossar

AAR	Abstract Augmented Reality
AR	Augmented Reality
CAD	Computer-Aided Design
CAR	Concrete Augmented Reality
HMD	Head-Mounted Display
PLM	Product Lifecycle Management
REFA	Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung
SDK	Software Developer Kit
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping



## Kurzfassung

Neben der Aufarbeitung und Entwicklung von AR-Assistenzsystemen in der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur wurden erste Systeme im betrieblichen Umfeld umgesetzt. Der aktuelle Entwicklungsstand bietet erste Anzeichen an Chancen für die Unterstützung der Mitarbeiter. Gleichzeitig wurden Risiken bei der Implementierung und Nutzung der neuen Technologie sichtbar. Dieses Spannungsfeld wird in dieser Arbeit mittels einer Literaturrecherche erarbeitet. Augmented Reality wird an Hand des Systemaufbaus nach Wang et al. (2016) beschrieben, um die grundlegende Definition nach Ronald T. Azuma (1997) technologisch zu verstehen. Als visuelles Assistenzsystem wird es speziell im Bereich der industriellen Montage betrachtet. Die Einordnung der Montage als Fertigungsbereich eines Unternehmens wird an Hand von Eigenschaften und Herausforderungen beschrieben. Dies bietet die Grundlage für die Aufarbeitung und Diskussion der in der wissenschaftlichen Literatur genannten Resultate. Als Basis dienen Anwendungsbereiche im Umfeld der Montage. Diese werden einerseits methodisch, andererseits in Verbindung mit den verschiedenen Ausgabegeräten technisch erläutert. Dieser umfassende Blick zeigt ein divergentes Bild für Verbesserungen im Bereich der Prozesszeit und Montagefehler. Ergebnisse aus Labor- und Industrieanwendungen zeigen, dass der gewinnbringende Einsatz eines solchen Systems zum aktuellen Zeitpunkt nicht eindeutig genannt werden kann. Faktoren wie Ausgabegerät für die Einblendung der digitalen Objekte, Algorithmen für die Umsetzung von AR, Gestaltung des Montagearbeitsplatzes und die Bereitstellung der benötigten Fertigungsinformationen begrenzen die Wirksamkeit eines AR-Assistenzsystems. Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung von Datenbrillen heute nicht sinnvoll ist. Kurze Akkulaufzeiten, schlechte ergonomische Parameter, unzureichende Umsetzung der Überlagerung digitaler Objekte und geringe Akzeptanz der Nutzer beschreiben Aspekte, für die weitere Forschungsarbeit sorgen. Im Zuge der Arbeit hat sich die Verwendung der In-situ Projektion als sinnvoller Ansatz für die Umsetzung es AR-Assistenzsystem gezeigt. Vergleiche mit anderen Ausgabegeräten zeigen einen klaren Vorteil. Abgerundet wird dies mit den positiven Ergebnissen der Nutzerbefragungen. Aber auch hier zeigen die Ergebnisse, dass die Weiterentwicklung notwendig ist.

## Executive Summary

In addition to the reconditioning and development of AR-assistance systems in the relevant scientific literature, first systems have been implemented in the business environment. The current level of development offers signs of opportunities to support employees. At the same time, risks in the implementation and use of new technology were visible. This field will be developed in this work based on a literature review. Augmented reality is based on system construction after Wang et al. (2016) described. Thus, the basic definition is understood technological after Ronald T. Azuma (1997). It is considered as visual assistance system specifically in the industrial assembly area. The classification of the assembly as a company manufacturing area is based on characteristics and challenges. This provides the groundwork for the reconditioning and discussion of the results referred to in the scientific literature. Application areas in the vicinity of the assembly serve as basis. These are on the one hand methodically, on the other hand technically explained in connection with the various output devices. This comprehensive view shows a divergent picture for improvements in the area of process time and assembly defects. Results of laboratory and industrial applications show that the profitable use of such a system can be called inconclusive at the moment. Factors such as output devices for the overlay of digital objects, algorithms for the implementation of AR, design of the assembly work stations and the provision of necessary production information limit the effectiveness of AR-assistance system. Results show that the use of smart glasses is not beneficial today. Short battery life, poor ergonomic parameters, insufficient implementation of the overlay of digital assets and low acceptance of the user describe aspects for which further research is necessary. The use of the in-situ projection as a useful approach for the implementation of AR assistance system has been shown in context of this bachelor thesis. Comparisons with other output devices show a clear benefit. This is rounded off with the positive results of user surveys. Nevertheless, findings show that further development is necessary.

## 1 Einleitung

Das Spannungsfeld zwischen einem AR-Assistenzsystem und dem Einsatzbereich in der industriellen Montage wird an Hand einer Literaturrecherche aufgearbeitet. Die Beschreibung der strukturellen Herangehensweise bildet den Inhalt dieses Kapitels.

### Problemstellung

Die Erweiterte Realität (engl. *augmented reality* - AR) ist eine Technologie, die es dem Nutzer ermöglicht, im Sichtfeld digitale Objekte einzublenden, um dadurch die reale Umwelt mit zusätzlichen Informationen anzureichern. Ausgestattet als Assistenzsystem im industriellen Umfeld, erlaubt es dem Arbeiter auf Daten zuzugreifen, die für die Durchführung des Fertigungsprozesses nötig sind. Unterstützt wird der Arbeiter dabei bspw. mit Montageanweisungen, Prüfprotokollen oder Wartungsanweisungen. AR-Assistenzsysteme finden mehr und mehr Einzug in unterschiedlichen Bereichen eines Unternehmens (Logistik, Marketing, ...). Gerade im industriellen Montageprozess birgt die Technologie Chancen der Verbesserung und Unterstützung. In diesem Unternehmensbereich stellt neben einer steigenden Variantenvielfalt, die erhöhte Komplexität der Produkte eine Herausforderung des Montageprozesses dar. Gleichzeitig ist es das Ziel, die Prozesszeit weiter zu kürzen und eine geringe Fehlerquote zu realisieren. Wissenschaftliche Publikationen bieten Ansätze für die Einführung dieser Anwendungen und zeigen Verbesserungen in den genannten Ausprägungen. Erste entwickelte Systeme wurden im industriellen Umfeld getestet und evaluiert. Resultate zeigen, dass eingeschulten Mitarbeitern geholfen werden kann, weniger Fehler zu machen. Neuen Mitarbeitern kann durch eine digitale Arbeitsanweisung geholfen werden, die geforderten IST-Zeiten schneller zu erreichen. Eine Prozessdokumentation während der Montage unterstützt die Mitarbeiter bei der nachgelagerten Qualitätsprüfung. Für Unternehmen bietet es die Möglichkeit, das Prozess-Knowhow intern zu halten. Die langfristigen Möglichkeiten und der sinnvolle und gewinnbringende Einsatz eines AR-Assistenzsystems, wird mit fortschreitender Entwicklung dieser greifbarer. Der aktuelle Entwicklungsstand soll zeigen, welche Chancen und Risiken diese Systeme vorweisen.

### Zielsetzung

Augmented Reality wird aktuell schon als Assistenzsystem im Produktionsumfeld eingesetzt. Um zu verstehen, welche Auswirkungen dieser Einsatz hat beziehungsweise haben wird, ist es im Kapitel 2 das Ziel, grundsätzlich Augmented Reality als Assistenzsystem kennen zu lernen. Dies führt zur Forschungsfrage:

1. *Welche Arten der Assistenz in Bezug auf Augmented Reality existieren und in welcher Ausprägung können diese eingesetzt werden?*

Der Fokus im Anwendungsbereich liegt in dieser Arbeit auf dem Fertigungsbereich der industriellen Montage. Dieser wird im Kapitel 3 erklärt, um die Ausprägungen des Assistenzsystems verstehen zu können. Die Forschungsfrage dazu lautet:

2. *Welche Eigenschaften beschreiben den industriellen Montageprozess und in welcher Weise kann Augmented Reality als Assistenzsystem hier unterstützend eingesetzt werden?*

Neben den Chancen, die Augmented Reality als Assistenzsystem im Montageprozess bietet oder verspricht, birgt die Technologie auch Risiken. Das Ziel ist, einerseits im Abschnitt 4.3 herauszufinden, welche Chancen sich durch Augmented Reality ergeben und in welchem Ausmaß diese genutzt werden können. Andererseits sollen im Abschnitt 4.4 bekannte und mögliche Risiken durch den Einsatz der Technologie aufgezeigt und dargestellt werden. Die zu beantwortenden Forschungsfragen lauten:

3. *Welche Chancen bietet Augmented Reality als Assistenzsystem im industriellen Montageprozess?*
4. *Welche Risiken birgt Augmented Reality als Assistenzsystem im industriellen Montageprozess?*

Im kritischen Diskurs werden die Erkenntnisse aus den Bereichen Chancen und Risiken herangezogen und mit einer Gegenüberstellung der technologischen Anwendungen vermengt. Mit dem aktuellen Stand der Technik soll herausgefunden werden, welche Art der visuellen Darstellung den höchsten Mehrwert im Einsatz bietet.

## **Aufbau und Struktur**

Um den Begriff „Augmented Reality als Assistenzsysteme“ verstehen zu können, wird dieser Begriff eingangs beschrieben und definiert. Abgeleitet davon ist es für die weitere Arbeit wichtig, die Beziehung zwischen diesen Bereichen zu verstehen. Darauf aufbauend werden verschiedenste Arten der Assistenz zur Unterstützung des Arbeiters innerhalb des Fertigungsschrittes mit Augmented Reality präsentiert. Der Fokus des Anwendungsbereiches liegt auf dem Montageprozess innerhalb der industriellen Fertigung. Eine grundsätzliche Beschreibung und das Anführen von Herausforderungen der Montage dient dazu, die Beziehung zu einem Augmented Reality Assistenzsystem herzustellen.

Für die Umsetzung dieser werden ausgewählte Publikationen herangezogen. Diese zeigen den Einsatz verschiedener Arten der Assistenz im Umfeld der Montage. Im weiteren Schritt werden die verwendeten Ausgabegeräte in diesen Beispielen erörtert. Diese methodische als auch technische Beschreibung hilft, eine gesamtheitliche Darstellung zu ermöglichen. Augmented Reality als Assistenzsystem birgt im industriellen Montageprozess sowohl Chancen als auch Risiken. Diese werden aufgezeigt und dargelegt. Die bis dato bekannten, als auch möglichen Vorteile und Nachteile durch

den Einsatz von Augmented Reality werden anschließend diskutiert und sollen darlegen, in wie weit ein Arbeiter im industriellen Montageprozess unterstützt werden kann.

Die in der Bachelorarbeit verwendeten Publikationen sind im Text als Zitatstelle eingebunden und im Anschluss im Literaturverzeichnis angeführt. Eine Übersicht, welche Quellen in welchen Kapiteln verwendet werden, stellt die Tabelle 5 im Anhang 7.1 dar.

## Methodische Vorgehensweise

Diese Arbeit baut auf einer intensiven Literaturrecherche auf. Neben Google Scholar wurde in erster Linie in den wissenschaftlichen Datenbanken ACM, IEEE und Science Direkt gesucht. Erweitert wurde die Suche um die Bibliothek des Springer Verlages. Vereinzelt wurde auch die Datenbank von Taylor & Francis herangezogen. Bei der Suche wurden meistens Kombinationen von Suchbegriffen verwendet. Ein Auszug der Begriffe in Deutsch und Englisch, gegliedert nach den zwei Hauptbegriffen, wird in der Tabelle 1 gezeigt.

Englisch	Deutsch
Augmented Reality als Assistenzsystem	
assistance system	Assistenzsystem
augmented reality	Erweiterte Realität
skills	Fähigkeiten, Kompetenz
tracking	Nachverfolgung
work instruction	Arbeitsanweisung
industrielle Montage	
assembly	Montage, Zusammenbau
challenges	Herausforderungen
human error	Menschlicher Fehler
manufacturing	Herstellung, Fertigung
shop floor	Werkstatt, Fertigung
training	Training, Fortbildung

**Tabelle 1: Suchbegriffe für die Literaturrecherche**

Der zu behandelnde Themenkomplex eignet sich gut für die Aufarbeitung mit einer Literaturrecherche. Der Bereich der industriellen Montage ist in seinen Grundzügen wissenschaftlich sehr gut erforscht. Ursprüngliche Quellen wurden mit den Veränderungen in der Vergangenheit weiterentwickelt und bilden aktuell ein sehr zeitnahes Konstrukt. Seit der erstmaligen Erwähnung 1968 wurde Augmented Reality kontinuierlich weiter erforscht. Viele Quellen befassten sich mit dem ursprünglichen Anwendungsfall in der industriellen Montage. Der Nachteil der sehr üppigen Anzahl an Suchergebnissen ist, gute Qualität heraus zu filtern. Heraus zu heben sind die in der Tabelle 2 angeführten Publikationen, welche mehrmals in der Arbeit angeführt wurden.

Autor	Titel	Jahr	Quelle	Anzahl
(Lotter & Wiendahl, 2012)	Montage in der industriellen Produktion - Ein Handbuch für die Praxis	2012	Springer	7
(Radkowski et al., 2015)	Augmented Reality-Based Manual Assembly Support With Visual Features for Different Degrees of Difficulty	2015	Taylor & Francis	11
(Wang et al., 2016)	A comprehensive survey of augmented reality assembly research	2016	Springer	7

**Tabelle 2: Mehrfach genannte Publikationen**

## 2 Augmented Reality

Augmented Reality, zu Deutsch die Erweiterte Realität, wird in dieser Arbeit kurz als „AR“ bezeichnet. Die Technologie ermöglicht die Einblendung computergenerierter Informationen und ist eine Form der visuellen Darstellung. Über die natürliche, visuelle Wahrnehmung des Anwenders wird eine computergenerierte Ebene eingeblendet. Diese ist mit zusätzlichen Informationen wie 3D Modellen, Anmerkungen oder Text angereichert. Bietet das verwendete System darüber hinaus die Möglichkeit zur Interaktion (Sprache, Berührung, Geste) mit den digitalen Inhalten, ist es eine Form der Mensch-Computer-Interaktion (Radkowski et al., 2015). Erstmals vom Computerwissenschaftler Ivan E. Sutherland (1968) erwähnt, hat sich im Laufe der Jahre mehrheitlich die Definition von Ronald T. Azuma gefestigt. „AR allows the user to see the real world, with virtual objects superimposed upon or composited with the real world. Therefore, AR supplements reality, rather than completely replacing it. Ideally, it would appear to the user that the virtual and real objects coexisted in the same space“ (Azuma, 1997). Azuma beschreibt in seiner Definition AR als die Möglichkeit, dem Anwender die reale Umgebung mit virtuellen Objekten überlagert zu sehen. Dadurch ergänzt AR die Realität. Im besten Fall erscheinen dem Anwender die virtuellen Objekte im gleichen Raum wie die realen Objekte. Die dargestellten virtuellen Objekte werden in einem kontext-sensitiven Zusammenhang, speziell für eine Aufgabe, präsentiert. Üblicherweise wird diese auch in Abhängigkeit zur Position des Menschen dargestellt. Die grundsätzliche Herangehensweise um AR zu realisieren, verläuft in mehreren Schritten. Das Ziel ist die Verschmelzung der realen (physischen) mit der computergenerierten (virtuellen) Realität in Echtzeit (Radkowski et al., 2015). Umgesetzt wird das mit der Videoaufnahme und -verarbeitung, der Nachverfolgung von Objekten (engl. *tracking*), der Platzierung der virtuellen Objekte in der Realität (genannt Registrierung), der relativen Darstellung in Abhängigkeit der Kameraposition und der Ausgabe auf einem Gerät. Verwendbare Ausgabegeräte sind Smartphones, Tablets, Datenbrillen, Monitore aber auch Projektoren (Broll, 2013, pp. 30-39). Diese werden im Kapitel 4.2 eigenständig behandelt.

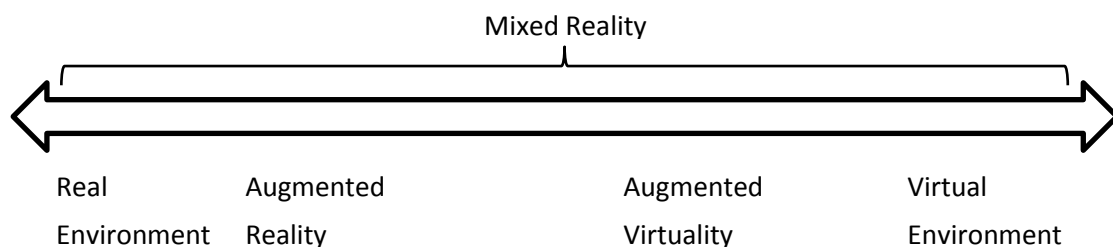
Die Nachverfolgung von Objekten und die relative Positionsbestimmung wird durch eine Kamera durchgeführt, welche auch typischerweise die reale Umwelt erfasst. In einem AR-System ist die Position der Kamera und die des Anwenders bekannt. Damit kann die verwendete Software unter Anwendung von Bildverarbeitungstechnologie eine oder mehrere Referenzen im Erfassungsfeld der Kamera (Abbildung 1) verarbeiten. Die Position und Orientierung der Referenzen wird durch die optischen Eigenschaften der Kamera berechnet. Nach der Registrierung wird dem Anwender ein vermischtes Videobild mit computergenerierten Bildern von virtuellen Objekten in Position relativ zur Referenz eingeblendet (Radkowski et al., 2015). Abbildung 1 zeigt die Überlagerung eines digitalen Objektes (rotes Auto) in einer realen Umgebung. Dabei referenziert sich das Objekt an den

extrahierten Merkmalspunkten, die in der Abbildung als weiße Kreuze dargestellt sind. Bereitgestellt wird diese Demo-Anwendung von der Firma Kudan Limited<sup>1</sup>. Die Ausgabe erfolgt dabei über das Display eines Tablets.



**Abbildung 1: Einblendung eines digitalen Autos mit einer AR-Anwendung, bereitgestellt von Kudan Limited**

Nach Ronald T. Azuma ist AR eine Variation der virtuellen Umgebung, welche auch Virtuelle Realität (eng. „Virtual Reality“) genannt wird. Im Gegensatz zu AR befindet sich der Anwender bei Virtual Reality komplett in einer virtuellen Umgebung (Azuma, 1997). Um die Einordnung der verwendeten Begriffe besser zu verstehen, hat Paul Milgram ein Klassifizierungsschema (Milgram & Kishino, 1994) definiert. Das Konzept verknüpft die unterschiedlichen Klassen der dargestellten Objekte in



**Abbildung 2: Virtuality Continuum nach (Milgram & Kishino, 1994)**

<sup>1</sup> [www.kudan.eu](http://www.kudan.eu)



jeder Art von Darstellung. Auf der einen Seite befindet sich die reale Umgebung, auf der anderen die virtuelle. Dazwischen ordnen sich AR und Augmented Virtuality ein. Eine Nachbildung dieser wird in Abbildung 2 gezeigt. Der Bereich zwischen der realen und der virtuellen Umgebung bezeichnet Paul Milgram als Mixed Reality. Je nach verwendetem System befindet man sich eher im linken oder rechten Extremum, jedoch ist es immer eine hybride Form aus realen und virtuellen Objekten, welche zeitgleich präsentiert und in einem einzelnen Ausgabegerät dargestellt werden (Milgram & Kishino, 1994).

## 2.1 Augmented Reality Systemaufbau

Das Ziel eines solchen Systems ist die Aufbereitung und Nutzung vorhandener dreidimensionaler CAD-Daten. Diese Daten werden mit zusätzlichen Informationen angereichert und als Gesamtes dem Anwender in einem geeigneten Ausgabegerät dargestellt. AR erlaubt somit die Interaktion zwischen dem Datensystem und dem Anwender. Um diese Interaktion realisieren zu können, benötigt es eine Reihe von funktionellen Modulen. Die sechs Kernfunktionen dieses Systems sind Bildfassung, Bildanalyse und -verarbeitung, Nachverfolgen von Objekten, die Interaktion von Handlungen, Fertigungsinformationsmanagement und die Wiedergabe (Wang et al., 2016). Die Aufgaben und die verwendeten Komponenten der genannten Module sind in Abbildung 3 schematisch dargestellt und werden nachstehend beschrieben.

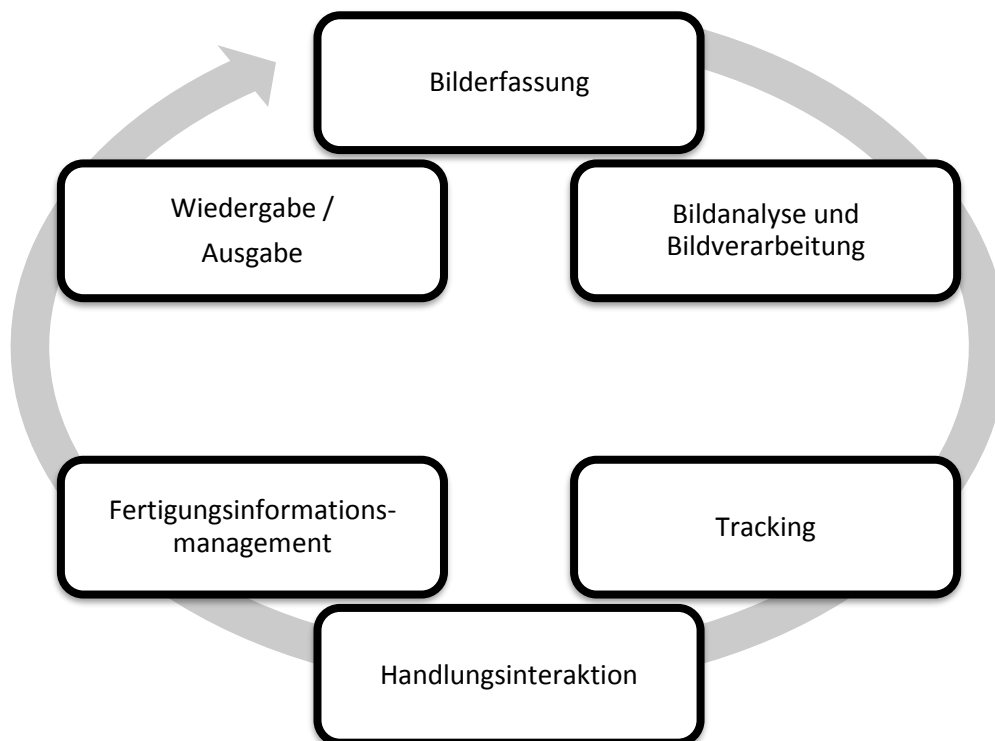


Abbildung 3: Module eines Augmented Reality Systems nach (Wang et al., 2016)

### 2.1.1 Bilderfassung

Hierbei werden unterschiedliche Typen von Kameras verwendet, welche die Realität erfassen. Konventionelle CMOS/CCD Kameras erfassen die Szene des Anwenders als Echtzeit Videostream. Diese unterstützen das videobasierte Tracking. Stereokameras haben im Gegensatz zu konventionellen zwei oder mehrere Linsen und bieten somit die Möglichkeit einer dreidimensionalen Rekonstruktion des Arbeitsbereiches. Kameras mit Tiefensensoren können zusätzlich zum Farbbild auch ein umfassendes Abbild der erfassten Szene mit Tiefeninformationen bereitstellen (Wang et al., 2016).

### 2.1.2 Bildanalyse und Bildverarbeitung

Die erfassten Bilder werden im weiteren Schritt analysiert und verarbeitet. Die Bildverarbeitung ist eine weitverbreitete Methode, welche in vielen Bereichen angewandt wird. Viele Operationen wie die Zustandsüberwachung, die Erkennung, das Tracking, die Analyse etc. verwenden die Bildverarbeitung. Neben der Anwendung dieser Technologie bei Geräten in der Industrie, wird diese beispielsweise auch in Bereichen wie im Gesundheitswesen, Landwirtschaft oder auch in der Erdkunde angewendet. In diesen und anderen Bereichen wurden Vorteile dieser Technologie beobachtet. Der Prozess der Bildverarbeitung beschreibt das Ordnen der Bilder in einer Computerumgebung entsprechend des Verwendungszweckes. Die Hauptaufgabe der Technologie ist das Verbessern der Schärfe des Bildes, die Extraktion der Merkmale und die Veränderung der Bildgröße (Yaman & Karakose, 2016). Für die Umsetzung der Bildverarbeitung werden spezielle Computeralgorithmen eingesetzt. Weiterführende Funktion wie das Tracking werden dadurch unterstützt (Wang et al., 2016).

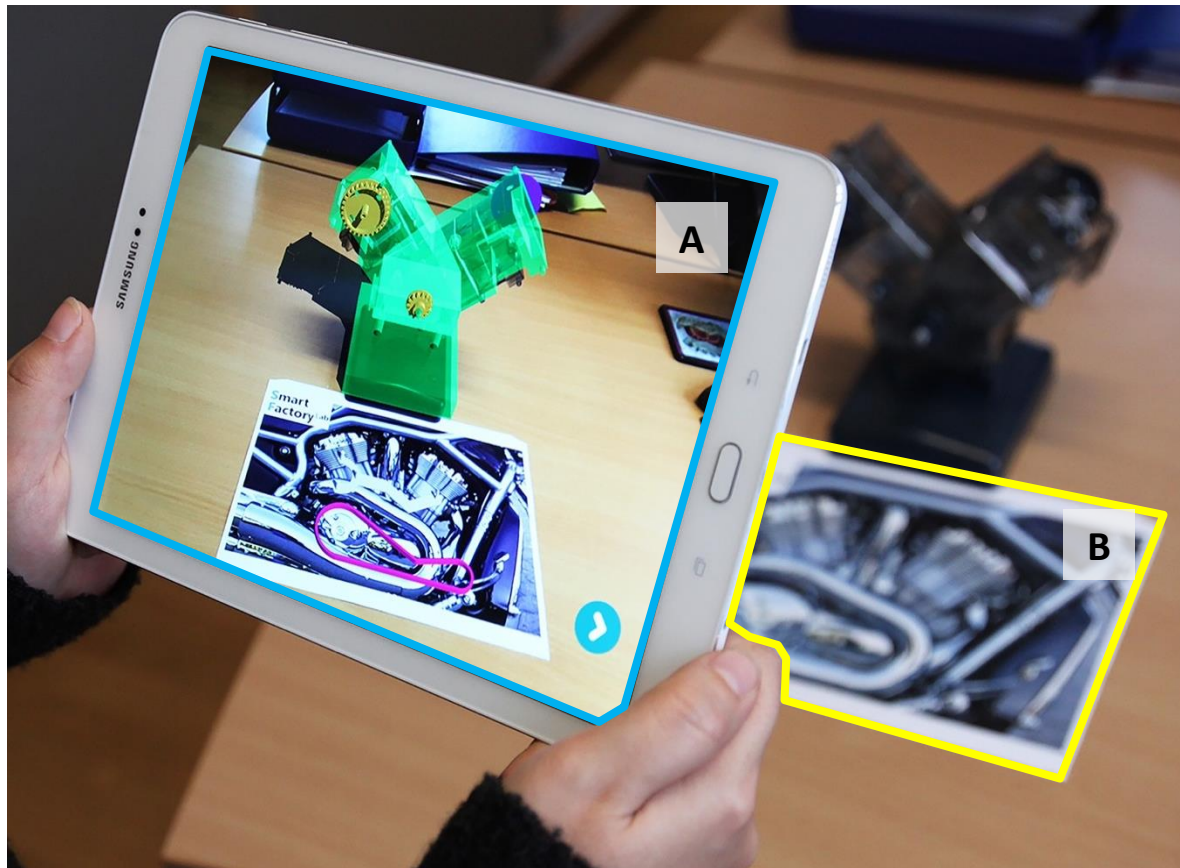
Um den Einsatz der Bildanalyse und Bildverarbeitung in mobile Endgeräten zu verbessern, wird in (Han & Zhao, 2016) eine Lösung für das Erkennen der relativen Haltung und Position der Gerätekamera zum räumlichen Koordinatensystem entwickelt. Dieser Prozess wird mit einer Registrierungstechnologie begangen. Das Ergebnis wird für das weitere Tracking verwendet. Die Überlagerung des digitalen Objektes mit dem realen Bauteil wird durch diese Technologie verbessert. Die Kernaufgabe dieser Lösung ist das Extrahieren des CAD-Drahtmodells eines Bauteils. Diese Extraktion von Linien erfolgt auch für das Kamerabild des physischen Zielobjektes. Diese beiden Drahtmodelle werden unter Verwendung mehrerer Bildverarbeitungsprozesse abgeglichen. Das Ergebnis ist eine genaue Überlagerung des virtuellen Bildes mit dem realen Bild. Das Drahtmodell und die Position und Ausrichtung dessen zu einem lokalen Koordinatensystem wird aus dem dreidimensionalen CAD-Modell entnommen. Die Position und Ausrichtung des physischen Objektes in Relation zur Kamera wird aus dem Kamerabild errechnet. Diese Informationen werden für die Abschätzung der Freiheitsgrade des Ausgabegerätes herangezogen. Neben dem Abgleich der Drahtmodelle werden für eine bessere Überlagerung die extrahierten Positionen und Ausrichtungen (Freiheitsgrade) abgeglichen und das CAD-Modell an die Parameter der realen Umgebung angepasst. Die erwähnte Methode ist vor allem in Umgebungen mit geraden Linien, wie beispielsweise in der Flugzeugmontage,

bevorzugt einsetzbar. Im Vergleich zu anderen Methoden, die lokale Merkmalspunkte extrahieren, ist diese Methode in einer solchen Umgebung vorteilhaft.

### **2.1.3 Tracking (Nachverfolgen) von Objekten**

Die Nachverfolgung von realen Objekten wird in AR-Systemen eingesetzt, um eine konstante Überlagerung der des virtuellen Bildes mit der realen Umgebung zu ermöglichen. In der industriellen Montage ist dies der Fall, wenn das Bauteil im Sichtfeld der Kamera ist und dieses, auch bei Bewegungen der Kamera, ständig getrackt wird. Unterschiedliche Blickwinkel und große Distanz der Kamera zum Bauteil sollen vom Trackingverfahren unterstützt werden. Der Arbeiter bekommt somit unabhängig von der Position der Kamera ein digital-überlagertes Bild des Bauteils eingeblendet.

Das Tracking von Objekten wird unterteilt in sensorbasiertes und videobasiertes Tracking. Das sensorbasierte Tracking hat eine hohe Genauigkeit, eine geringe Latenz (Wartezeit) und Instabilität. Alle verwendeten Sensoren, wie beispielsweise elektromagnetische oder optische, haben auch Einschränkungen. Das videobasierte Tracking unterteilt sich in das markerbasierte und markerlose Tracking. Beim markerbasierten Tracking werden visuelle Trigger, beispielsweise QR-Codes oder Bilder, als Referenz verwendet. Diese werden bei der Erstellung der Anwendung in die AR Software eingebettet und gespeichert. Erfasst die Kamera des AR-Systems den platzierten Marker (Abbildung 4, Bereich B), erkennt die Anwendung diesen als die gespeicherte Referenz und überlagert das Bild mit einem digitalen Objekt (Abbildung 4, Bereich A). Diese Verfahren sind stabil, genau und werden weitverbreitet genutzt. Der Nachteil hierbei ist das sich verändernde Umgebungslicht der Szene und das Verdecken des Markers (Wang et al., 2016). Beide Eigenschaften verhindern das Erfassen des Markers.



**Abbildung 4: Verwendung eines markerbasierten Tracking in einer AR-Anwendung; das Foto am Tisch dient als visueller Marker**

Beim markerlosen Tracking wird die Szene an sich erfasst und verarbeitet. Eine der verwendeten Technologien hierbei nennt man *Simultaneous Localization and Mapping* (kurz SLAM). Diese Technologie wurde aus der Robotik übernommen. Damit kann das System, ausgehend von einem unbekannten Ort in einer unbekannten Umgebung, sich schrittweise eine einheitliche Karte dieser Umgebung bauen. Gleichzeitig erkennt es, an welchem Punkt innerhalb dieser Umgebung es sich befindet (Durrant-Whyte & Bailey, 2006). Merkmalspunkte werden von einem Algorithmus aus dem erfassten Bild extrahiert und für die Lokalisierung verwendet (Abbildung 1). Der Vorteil hier ist, dass auf Marker und deren Beschränkungen verzichtet wird, der Nachteil ist, dass es (noch) nicht stabil und nicht adaptiv genug ist (Wang et al., 2016).

#### **2.1.4 Interaktion von Handlungen**

Dieses Modul beschreibt die Mensch-Computer Interaktion (engl. Human Computer Interaction HCI). Verschiedenste Formen von Eingabegeräten ermöglichen eine Interaktion mit dem AR-System. In einigen werden Handschuhe, in anderen kabellose Armbänder verwendet. Das verwendete Eingabegerät hängt davon ab, für welchen Typ von Applikation das System entwickelt wurde, beziehungsweise welches Display verwendet wird. Wenn beispielsweise eine Anwendung es erforder-

dert, dass der Anwender freihändig arbeiten muss, wird die Applikation es dem Anwender ermöglichen, mit den Händen eine Interaktion vorzunehmen. Dies kann einerseits damit umgesetzt werden, dass das System die Hände erkennt und bestimmte Bewegungen für eine Interaktion anwendet. Eine solche gestenbasierte Interaktion wird im Abschnitt 4.1.1 erläutert. Andererseits können die Hände mit dem erwähnten kabellosen Armband bestückt sein. Das System kann auch dahin ausgelegt sein, dass ein tragbarer Bildschirm in Form eines Smartphones verwendet wird. Hierbei kann der Touchscreen als Eingabegerät verwendet werden (Carmigniani & Furht, 2011).

### **2.1.5 Fertigungsinformationsmanagement**

Die aufbereiteten digitalen Informationen werden nach der Bildverarbeitung und unter Verwendung von Trackingmethoden dem Anwender im Sichtfeld eingeblendet. Im industriellen Umfeld werden hierfür unter anderem CAD-Modelle eingesetzt. Die Einbindung dieser und anderer Informationen muss vom Unternehmen bereitgestellt werden. Eine Einbindung des AR-Systems in das vorhandene Informationsmanagement wird in Makris et al. (2013) und Rentzos et al. (2013) beispielhaft dargestellt. Das beschriebene System ermöglicht dem Anwender eine kontextabhängige Darstellung von Montageanweisungen mit einem AR-System. Darin wird eingangs erwähnt, dass der Vorbereitungsaufwand für das Erstellen einer Arbeitsanweisung gesenkt werden kann, wenn die Montageinformationen aus CAD-Daten entnommen werden. Dafür ist eine Integration der AR-Anwendung in die Informationsstruktur des Unternehmens vorteilhaft. Dies garantiert den automatischen Aufruf und die Speicherung der Prozessdaten und Informationen der Anwendung. Für das Erstellen einer Arbeitsanweisung muss im Vorfeld der Montageprozess in einzelne Schritte gegliedert und klassifiziert werden. Die Schritte bilden eine logische Kombination aus Werkzeugen, Bauteilen und Tätigkeiten (bspw. mit einem Schraubenschlüssel eine Schraube anziehen). Solche Kombinationen werden als Vorlagen für eine spätere Verwendung abgespeichert. Das Erstellen einer virtuellen Arbeitsanwendung für die AR-Anwendung basiert auf einem Computeralgorithmus. Dieser nutzt die semantischen Daten der Komponenten, die für den Montageprozess benötigt werden und verknüpft diese mit den abgespeicherten Vorlagen für die Arbeitsanweisung. Mit den semantischen Daten kann der Algorithmus in der Software die Aufgabe und Funktionalität der Komponenten und Bauteile erkennen und beim Erstellen einer Arbeitsanweisung für eine spezifische Aufgabe einbinden. Dadurch können CAD-Daten aus einem Datenspeicherort des Unternehmens (bspw. PLM-System) in die Anwendung integriert und somit dem Anwender dargestellt werden.

### **2.1.6 Wiedergabe/Ausgabe**

Der letzte Schritt dieses iterativen Prozesses (Abbildung 3) ist die Wiedergabe der virtuellen Informationen in Abhängigkeit der erfassten Realität in einem Ausgabegerät. Zur darstellungsgerechten Aufbereitung der Daten wird eine Entwicklungsumgebung für 3D Anwendungen<sup>2</sup> in Kombination

---

<sup>2</sup> z.B.: Unity3D

mit einem AR SDK<sup>3</sup> verwendet. Ausgabegeräte können in Abhängigkeit der Distanz zum Anwender in Gruppen eingeteilt werden und sind als Übersicht in Abbildung 5 dargestellt.

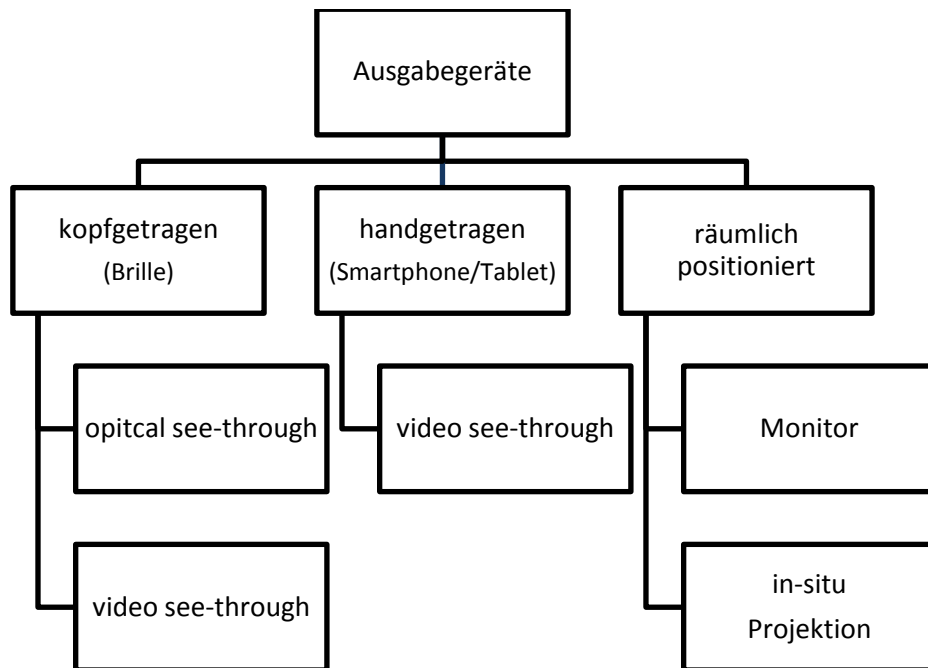


Abbildung 5: Übersicht von AR Ausgabegeräten nach (Syberfeldt et al., 2016)

Die **am Kopf getragenen Bildschirme** (eng. „Head-Mounted Display“, kurz HMD) ermöglichen dem Anwender eine natürliche Bewegung in seinem Umfeld, wobei er seine Hände frei für die Durchführung von Aufgaben hat. Die Unterkategorien sind das *Optical See-Through HMD* und das *Video See-Through HMD*. Optical See-Through HMD, schematisch in Abbildung 6 dargestellt, besitzen die Fähigkeit der Überlagerung von virtuellen Bildern auf das Bild der realen Szene und bieten dem Anwender die Möglichkeit, diese Kombination gleichzeitig in einer Brille zu sehen. Um diesen Effekt zu erzielen, werden halb-transparente Spiegel im Brillengestell verwendet. Der reale Teil der Darstellung wird nicht von einer Recheneinheit verarbeitet, die Konsequenz ist, dass keine Art von

---

<sup>3</sup> z.B.: Vuforia, Wikitude, Kudan

Problemen bei der Darstellung vorhanden ist. Im Gegensatz dazu ist die Abbildung der virtuellen Bilder problembehaftet, da diese durch den halbtransparenten Spiegel dargestellt werden.

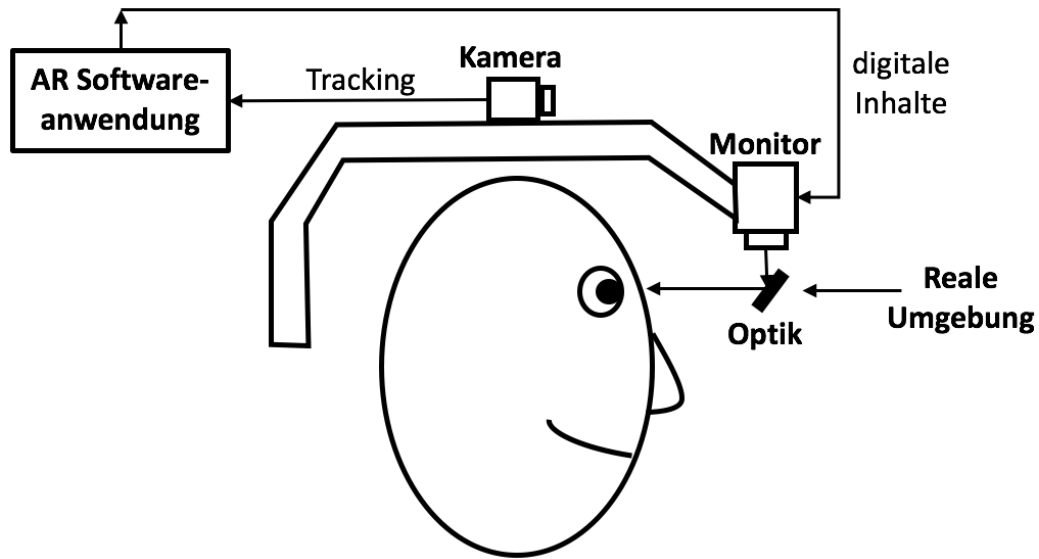


Abbildung 6: schematische Darstellung eines Optical See-Through HMD nach (Azuma, 1997)

Video See-Through HMD, schematisch in Abbildung 7 dargestellt, verwenden die Video-Mix Technologie, um die reale Welt mit den virtuellen Inhalten zu verschmelzen und darzustellen. Die an dem HMD befestigte Kamera erfasst die reale Umgebung, mischt diese mit den virtuellen Objekten und stellt beides vermengt in einem Display nahe dem Auge dar. Der Vorteil des Video See-Through HMD ist, dass beide Realitäten in einem System verarbeitet, berechnet, vermengt und dargestellt werden. Nachteilig ist, dass die gesamte Darstellung von der Auflösung des Displays eingeschränkt ist und das HMD unhandlich und schwer im Gegensatz zu einem Optical See-Through HMD ist.

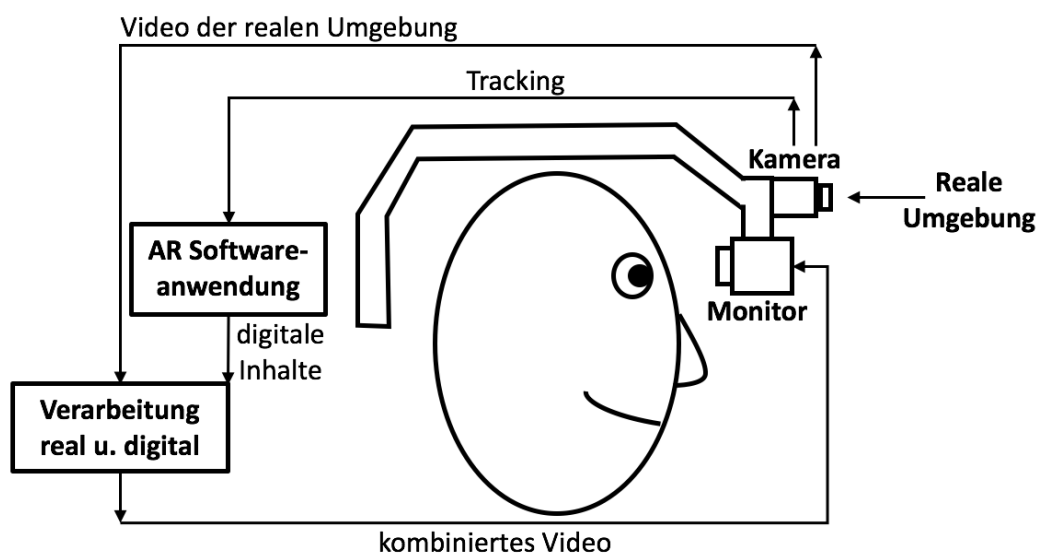


Abbildung 7: schematische Darstellung eines Video See-Through HMD nach (Azuma, 1997)

Das in der **Hand gehaltene Display** (engl. handheld display) wird bei Tablets und Smartphones verwendet. Diese Geräte sind die günstigste Lösung für mobile AR-Anwendungen, müssen aber vom Nutzer in der Hand gehalten werden. Diese Lösung wird als nicht praktikabel eingestuft. Smartphones und Tablets mit eingebauten Kameras können als Video See-Through HMD eingestuft werden. Fest im Raum positionierte Ausgabegeräte, welche nicht am Körper getragen werden, bilden eine weitere Möglichkeit, AR-Anwendungen darzustellen. **Bildschirme** (PC-Monitor) werden verwendet, wenn viele Personen angesprochen werden und eine begrenzte Interaktion notwendig ist. Diese werden auch als Optical oder Video See-Through Systeme betrieben und arbeiten nach dem selbigen Prinzip wie HMDs. Die Variante eines Video See-Through Bildschirms ist wirtschaftlich vorteilhaft. Für den Betrieb werden nur ein Bildschirm, eine Kamera und ein Computer verwendet. Der Computer erfasst die reale Welt mit der Kamera, verbindet diese mit den virtuellen Objekten und zeigt diese augmentierte Szene am Bildschirm an (Mansutti et al., 2017, pp. 102-105). In die Kategorie der räumlichen Ausgabegeräte fallen auch Laser und Projektoren. Diese projizieren eine zweidimensionale Schablone über den Arbeitsbereich und können dadurch Informationen einblenden. Als Beispiel werden Laser in der Bauteilkonstruktion von Flugzeugkomponenten verwendet. Diese unterstützen die Mitarbeiter bei der Ausrichtung von Verbundwerkstoffgewebe-Zuschnitten beim Erstellen von Bauteilen. Der Einsatz von Projektoren im Montageumfeld ist seit mehreren Jahren Thema von unterschiedlichen Forschungsprojekten. Projektoren werden über dem Arbeitsbereich montiert und blenden Arbeitsanweisungen zu Prozessschritten direkt in das Umfeld des Mitarbeiters ein. Eine nähere Betrachtung dieses Ausgabegerätes erfolgt im Abschnitt 4.2.2.

## 2.2 Augmented Reality Assistenzsysteme

Die Einbindung von AR in ein visuelles Assistenzsystem in der industriellen Montage unterstützt den Arbeiter mit Informationen zu Bauteilen, Prozessen und Hinweisen zur fehlerfreien Montage. Diese werden im Sichtfeld des Arbeiters eingeblendet und überlagert das Arbeitsumfeld mit kontextbezogenen Hilfestellungen. Die Wissenschaftler Caudell und Mizell haben als eine der ersten ein Assistenzsystem mit AR im industriellen Umfeld umgesetzt. Durchgeführt wurde dieses Projekt beim Flugzeughersteller Boeing. Die Aufgabe war, den Zugang zu digitalen Zeichnungen (CAD-Dateien) für die Arbeiter in der Fertigung zu ermöglichen und zu erleichtern. Prototypisch wurden vier Arbeitsaufgaben nachgestellt. Verlegung von Kabeln, Montage von Kabelsteckern, Auflegen von Verbundwerkstoffgewebe und die Darstellung eines digitalen Drahtmodells eines Bauteils. Die Arbeiter konnten die digitalen Objekte durch eine selbstgebaute Datenbrille (*Optical See-Through HMD*) sehen und den eingeblendeten Arbeitsanweisungen folgen. Durch diese erste Applikation konnte der Zugang zu digitalen CAD-Daten ermöglicht werden (Caudell & Mizell, 1992). Der Einsatz eines AR-Assistenzsystem in der industriellen Montage ist geprägt von unterschiedlichen Eigenschaften. Aktuelle Produktionssysteme sind charakterisiert durch einen großen Bedarf an Automation. Mit kürzer werdenden Produktlebenszyklen und einem steigenden Bedarf an Produktvariationen ist jedoch eine durchgängige Automatisierung aller Produktionsprozesse nicht durchführbar. Der Bedarf



an Produktvariationen und Produktionssysteme wie „build-to-order“ oder „design-to-order“, welche von vielen Unternehmen verwendet werden, haben sogar die Notwendigkeit von manuellen Operationen erhöht. In derselben Zeit wurden Technologien, wie AR, weiterentwickelt. Die Wahrnehmung der Umgebung des Arbeiters wurde durch die Weiterentwicklung verbessert, da ihm eine Oberfläche (engl. Interface) bereitgestellt wird, welche das Sichtfeld des Arbeiters mit digitalen Objekten anreichert.

Die Forschung hat bereits gezeigt, dass ein großes Potenzial an AR-Anwendungen im Produktionsumfeld herrscht (Caudell & Mizell, 1992). Solche Technologien können den Arbeiter im Produktionsumfeld bei der Durchführung seiner Arbeit assistieren. Adaptive und flexible Assistenzsysteme, welche den Produktionsmitarbeiter unterstützen, werden benötigt, um die steigende Nachfrage nach Individualisierung zu meistern. Diese Systeme ermöglichen die Unterstützung des Arbeiters durch eine Begleitung während des Fertigungsprozesses. Diese intelligenten und multimodalen Assistenzsysteme verwenden Sensoren, welche in der Produktionsanlage und in den Produkten integriert sind. Diese erfassen kontextbezogene Informationen in Echtzeit und stellen somit individuelle Prozessunterstützung zur Verfügung. Neben der Montage können solche intelligenten Anwendungen auch in den Fertigungsbereichen Kommissionierung, Qualitätsprüfung und Training angewendet werden (Xiaozhou & Plewe, 2016).

In der Konzeption von Unterstützungssystemen werden grundsätzlich zwei Arten der menschlichen Wahrnehmung in Erwägung gezogen: das Hören und Sehen. Der Stellenwert von visuellen Assistenzsystemen, welche durch AR umgesetzt werden, wird durch die Bedeutung der visuellen Wahrnehmung bei Lernprozessen und bei der Behebung von Fehlern unterstrichen. Dadurch soll bei der Gestaltung solcher auf die menschlichen Eigenschaften und Ausprägungen des visuellen Verständnisses Acht gegeben werden. Im Gegensatz zu rein textlichen Beschreibungen haben grafische den Vorteil, dass die Lage von Gegenständen besser beurteilt und nachvollzogen werden kann. Übersichtlichkeit, Einprägsamkeit und Attraktivität sind Vorteile gegenüber reinem Text. Bezogen auf den Montageprozess ist reiner Text nur bedingt einsetzbar, da spezifische Prozesse nur schwer textuell zu beschreiben sind. Komplexe Abfolgen von Handlungen benötigen eine umfangreiche Beschreibung, wobei wichtige Informationen in der Fülle untergehen. Grafische Darstellungen, welche sich auf wesentliche abstrakte Informationen beschränken, sind in der Lage, logische und zeitliche Abfolgen von Handlungen abzubilden. Durch zusätzliche Notizen kann auch leicht auf einzusetzende Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstände hingewiesen werden (Bernd, 2015, p. 2 ff).

Für die weitere Einordnung des Begriffes, wird ein AR-Assistenzsystem wie folgt bezeichnet. Abgeleitet aus den vorangegangenen Abschnitten dient es der visuellen Unterstützung eines Montagearbeiters. Dabei werden diesem kontextbezogene, digitale Echtzeitinformationen mit dem Bild der realen Umgebung vermengt, im Sichtfeld, eingeblendet.

### 3 Montage

Eine AR-Anwendung ist, wie eingangs erwähnt, immer auf das Umfeld des Anwenders abgestimmt. In dieser Arbeit wird dazu die industrielle Montage behandelt. Dieser komplexe Bereich eines Fertigungsunternehmens wird im Folgenden beschrieben. Am Anfang wird der Begriff grundsätzlich erläutert. Aktionen die einen Montageschritt ausmachen werden dafür angeführt. Die organisatorische Komponente beschreibt die Produktionssysteme, aus welchen unterschiedliche Formen der Gestaltung eines Montagearbeitsplatzes resultieren. Das Kapitel endet mit den aktuellen Herausforderungen. Vorweg wird auszugsweise der aktuelle Entwicklungsstand von AR in verschiedensten Ausprägungen dargestellt.

#### 3.1 Bedeutung des Montageprozesses

Von Unternehmen wird ein flexibles und reaktionsschnelles Agieren in der Produktion gefordert. In diesem Zusammenhang kommt der Montage als letzter Stufe im Fertigungsprozess eine wachsende Bedeutung zu. Das Ziel ist, die vom Kunden gewünschte Vielfalt an Produkten zu fertigen und seinen Bedarf schnellstmöglich zu decken. Bei der Gestaltung eines solchen Produktionssystems ist die Organisation der Produktion und der Mitarbeiter besonders wichtig. Der Grund dafür sind drei Trends in der industriellen Produktion (Wiendahl et al., 2004, p. 21):

- Die erhöhte Variantenvielfalt
- Die Kosten des Produktionsfaktors Mensch sind gestiegen
- Die Flexibilität und Leistungsfähigkeit von Technologien wie Laseranlagen sind gestiegen

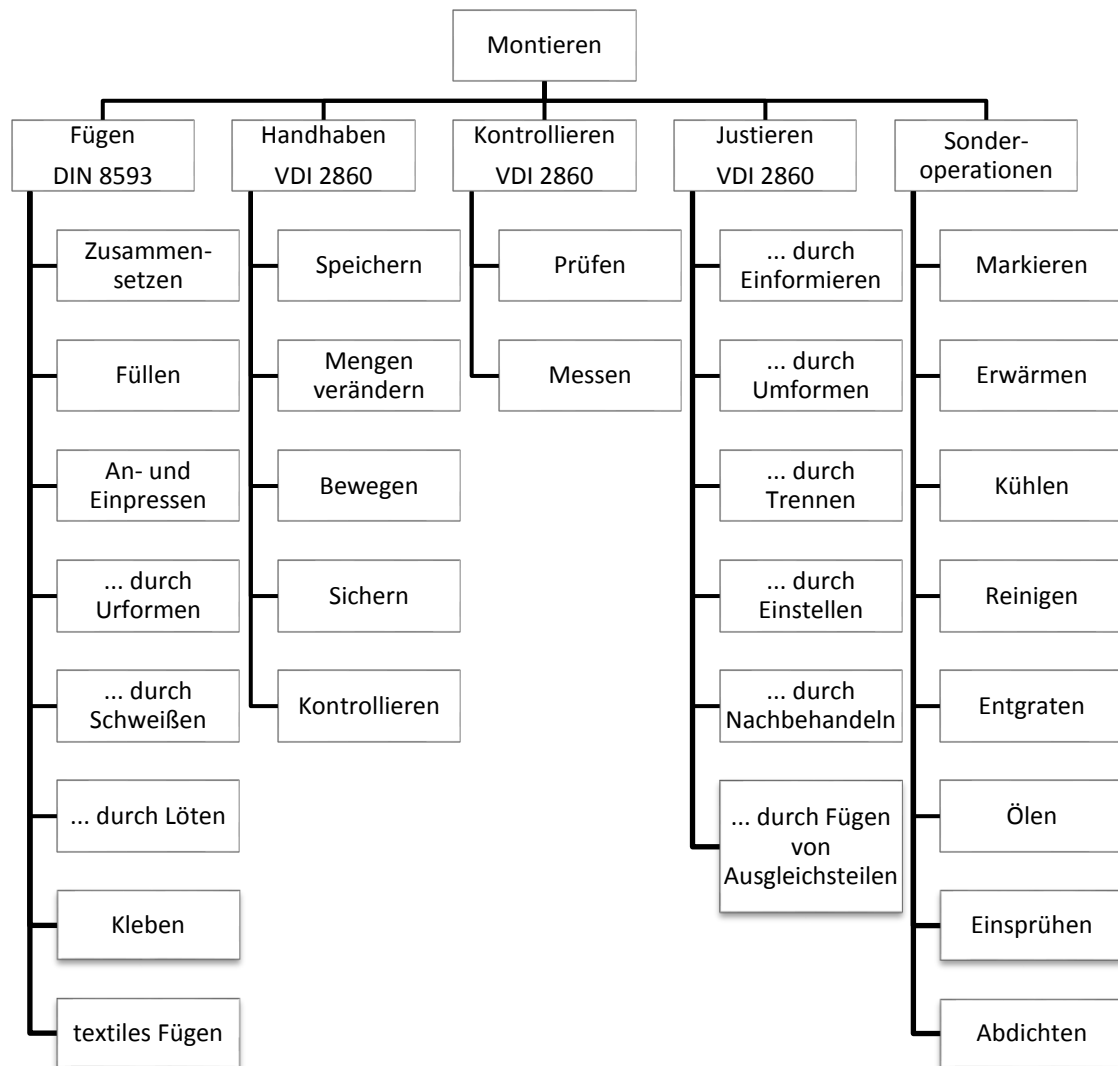
#### 3.2 Montageprozess

Der Begriff manuelle Montage bezieht sich auf den Fertigungsprozess, welcher die Verwendung von verschiedenen Ausrichtungs- und Befestigungsmethoden beschreibt. Das Ziel ist, zwei oder mehrere Einzelteile und / oder Baugruppen zusammenzufügen. Die Montagetätigkeiten beinhalten die manuellen Operationen Handhaben, Ausrichten, Fügen, Anpassen und Kontrollieren. Dazugehörige Unterstützungsoperationen sind beispielsweise Identifizieren und Transportieren. Diese Prozesse werden eingeteilt in dauerhafte und nichtdauerhafte Montage. Die einzelnen Tätigkeiten werden sequentiell, also Schritt für Schritt, ausgeführt. Das Ergebnis dieses Prozesses ist das fertige Produkt, welches ein Halb- oder Fertigfabrikat sein kann. Die manuellen Operationen, welcher der Arbeiter an seinem Arbeitsplatz ausführt, werden definiert als (Radkowski et al., 2015):

Operation	Beschreibung
Identifizieren:	Der Anwender muss die Teile und die Werkzeuge identifizieren, welche montiert werden müssen.
Handhaben:	Diese Aufgabe beinhaltet alle manuellen Materialbewegungen. Beispielsweise das Bewegen eines Bauteils aus einer Schachtel an den Arbeitstisch.
Ausrichten:	Der Arbeiter richtet den aktuellen Bauteil so aus, dass er diesen mit einem zweiten Bauteil verbinden kann. Dazu muss er feststellen, auf welcher Seite des Bauteils diese Funktion gegeben ist.
Zusammenfügen:	Der Arbeiter erstellt eine feste oder lösbare Verbindung zwischen den Bauteilen.
Anpassen:	Der Arbeiter passt bestimmte Eigenschaften oder Ausrichtungen einzelner Bauteile oder der Verbindung an. Beispielsweise wird hier eine Mutter auf einer Schraube festgezogen.
Prüfen:	Der Arbeiter prüft die Qualität der Verbindung, der Anpassung und Ausrichtung.

**Tabelle 3: manuellen Operationen der Montagetätigkeit**

Der Verein Deutscher Ingenieure (kurz VDI) hat mit der Richtlinie 2860 im Jahr 1990 eine standardisierte und allgemein gültige Vorlage zur Einordnung der verwendeten Begriffe geschaffen. Mit dem Titel „Montage- und Handhabungstechnik“ beschreibt die Richtlinie das Montieren im Kern aus Vorgängen des Fügens, wie in der Richtlinie DIN 8592 beschrieben, und der Werkstückhandhabung (Lotter & Wiendahl, 2012, p. 2). Diese und zusätzliche Tätigkeiten, die bei spezifischen Aufgaben benötigt werden, werden auszugsweise in Abbildung 8 dargestellt.



**Abbildung 8: Funktionen der Montage nach VDI 2860**

Als Teil des Fertigungsprozesses beansprucht die Montage je nach Produkt und Branche mehr oder weniger Anteil von der Gesamtzeit. Je nach Ausgestaltung und Komplexität beträgt der Anteil der Montage im Maschinenbau zwischen 20 und 45%. Abhängig von der Fertigungstiefe beträgt die Montage im Fahrzeugbau 30 – 50%. In der Elektro- und Feinwerktechnik findet sich mit 40 - 70% der höchste Anteil an Montagezeit (Lotter & Wiendahl, 2012, p. 3).

### 3.3 Eigenschaften

Die Beschreibung der Montage als wertschöpfender Bereich eines Unternehmens wird in diesem Kapitel angeführt. Dabei stützt sich diese auf ausgewählte Eigenschaften, die eine umfassende Darstellung der Montage ermöglichen. Die in Unternehmen vorzufindenden Produktionssysteme haben eine Auswirkung auf die Konzeption von Montagearbeitsplätzen. Diese werden beschrieben

mit den Montageablaufprinzipien und den Montagesystemen. Eine Einordnung dieser Begriffe führt zu den aktuellen Herausforderungen des Bereiches Montage.

### 3.3.1 Produktionssystem

Produktionssysteme lassen sich durch mehrere Unterscheidungsmerkmale klassifizieren. Mit Bezug auf die steigende Variantenvielfalt, welche als Trend sichtbar ist, wird in dieser Arbeit das Merkmal Ausbringungsmenge näher betrachtet. Die Ausbringungsmenge kann als Produkt von Losgröße und durchschnittlicher Wiederholhäufigkeit berechnet werden (Schuh & Schmidt, 2014, p. 29). Die Losgröße wiederum wird in Anlehnung an (Bannat, 2014, p. 6) beschrieben als die Anzahl an produzierten Produkte oder Baugruppen, die in Folge eines Fertigungsauftrages ohne Unterbrechung durch die Herstellung anderer Produkte hergestellt wird. Die Auswahl des Produktionssystems hängt in Folge dessen von der Anzahl herzustellender Produkte gleicher Art ab.

Unterschiedliche Granularitäten der Unterteilung weisen auf keine eindeutige Klassifizierung der Produktionssysteme in Abhängigkeit der Ausbringungsmenge hin. In dieser Arbeit werden die Produktionssysteme, wie in (Bannat, 2014, p. 6 ff) erwähnt, nach Ausbringungsmenge unterteilt in Einzelfertigung, Kleinserienfertigung, Mittelserienfertigung, Großserienfertigung und Massenfertigung.

In der **Einzelfertigung** werden spezielle, auf den Kunden zugeschnittene Produkte einzeln gefertigt. Die Losgröße ist somit 1. Solche Produkte sind neben den Kundenwünschen auf den Einzelfall zugeschnitten. (Kunden-)Auftragsfertigung ist eine gängige Alternative zur Bezeichnung dieses Produktionssystems. In diesem Fall sind Spezialisierung und Flexibilität Eigenschaften, die im hohen Maße von diesem System gefordert werden. Meist werden Sonderanfertigungen in der Einzelfertigung hergestellt, da diese Produkte nach den Wünschen und Spezifikationen des Kunden entwickelt und produziert werden. Eine Eigenschaft dieses Systems ist die hohe Variantenvielfalt. Für jede Ausführungsform wird nur ein Stück gefertigt.

Im Unterschied zur Einzelfertigung werden in der **Kleinserienfertigung** geringe Losgrößen hergestellt. Ähnlichkeiten existieren mit Bezug auf den Kunden. In diesem Produktionssystem werden die Produkte auch nach Kundenwünschen und Spezifikationen hergestellt, jedoch in geringen Mengen. Selbiges trifft auf die Variantenvielfalt zu, welche hoch ist. Diese ist begründet in der unterschiedlichen Aufführung der Produkte je Kundenbestellung. Die Losgröße in diesem System ist kleiner als 20 Stück.

Als Bindeglied zwischen Großserienfertigung und Kleinserienfertigung ist die **Mittelserienfertigung** anzusehen. In diesem System sind die Produkte ebenfalls auf die Kundenwünsche ausgerichtet, jedoch mit einem höheren Auftragsvolumen. Kundenbestellungen werden hier in Form von Rahmenverträgen abgerufen und haben eine Losgröße zwischen 20 und 1000 Stück.

In der **Großserienfertigung oder Massenfertigung** werden Produkte mit sehr großen Losgrößen hergestellt. Dazu ist die Variantenvielfalt sehr gering. In einem solchen Produktionssystem werden Produkte häufig als Lagerware produziert (Bannat, 2014, p. 8). Kennzeichnend für eine Massenfer-

tigung ist, dass große Mengen von einem oder ähnlichen Produkten mit unendlicher Losgröße gefertigt werden. Charakteristisch ist die geringe Flexibilität des Systems. Bei der Serienfertigung werden gleiche oder ähnliche Produkte gefertigt. Zwischen den Losen muss das Arbeitssystem adaptiert bzw. umgerüstet werden. In der Großserienfertigung sind die Losgrößen ähnlich hoch wie bei der Massenfertigung. Daher ist der Übergang von der Großserienfertigung zur Massenproduktion fließend (Jodlbauer, 2016, p. 12).

### 3.3.2 Montageablaufprinzip

Die Montage wird mit Bezug auf das Auflaufprinzip in zwei grundlegende Systeme unterteilt.

Die **stückweise Montage** ist dadurch gekennzeichnet, dass das erste Produkt vollständig abgearbeitet wird. Alle für diesen Arbeitsgang notwendigen Arbeitsinhalte werden schrittweise abgehandelt. Das nächste Stück wird erst nach Fertigstellung des vorangegangenen in Angriff genommen. Dieser iterative Prozess gilt für das gesamte Los des Fertigungsauftrages. Die stückweise Montage hat einen weit verbreiteten Anwendungsbereich bei industriellen Produkten. Besonders in der Endmontage von Produkten mit einer großen Grundfläche (z.B. Maschinen) ist dieses System wirtschaftlich konkurrenzlos. Bei der Montage von kleinen Produkten ist die stückweise Montage vorteilhaft, wenn der Arbeitsinhalt groß und die Stückzahl gering ist. Die **satzweise Montage** bildet das Gegenstück und beschreibt das Durchführen der Arbeitsinhalte je Arbeitsgang an allen am Arbeitsplatz vorhandenen Stücken. Erst wenn der einzelne Arbeitsinhalt eines Arbeitsganges an allen Produkten durchgeführt wurde wird der nächste Arbeitsgang gestartet. Auch hier gilt der iterative Prozess für das gesamte Los des Fertigungsauftrages. Vorteile dieses Systems gegenüber der stückweisen Montage ist der geringere Zeitaufwand. Dieser wird realisiert durch das geringere Wechseln von Werkzeugen, das handvolle Greifen von Kleinteilen wie Schrauben und der Möglichkeit zur beidhändigen Synchronarbeit. Diese Eigenschaften bewirken einen hohen Übungsgrad der in kürzeren Prozesszeiten sichtbar wird. Neben der verringerten Prozesszeit wird auch die Montagequalität positiv beeinflusst. Diese Auswirkung ist gekennzeichnet durch die Bewegungswiederholung bei gleichen Montageobjekten, welche eine Verbesserung von Mittelwert und Streuung bei relevanten Merkmalen aufweisen. Im Unterschied zur stückweisen Montage ist dieses System vorteilhaft bei Produkten mit kleinen bis mittleren Einzelteilen (zw. 10 bis 100 Stück) und geringer Grundfläche wie Uhren oder auch Moped-Motoren (Lotter & Wiendahl, 2012, pp. 113-117).

### 3.3.3 Montagesystem

In (Bannat, 2014, pp. 9-18) wird in Anlehnung an (Lotter & Wiendahl, 2012) beschrieben, dass abhängig von Komplexität des Produktes, der Losgröße und weiteren Faktoren Montagesysteme unterschiedliche Anforderungen erfüllt werden müssen. Die wichtigsten Strukturformen von Montagesystemen hierbei sind die Einzelplatzmontage, Linienmontage, Baustellenmontage, Montageinsel und hybride bzw. automatisierte Montagesysteme. Bei der **Einzelplatzmontage** werden alle Arbeitsinhalte der Vorgänge in einer Arbeitsstation durchgeführt. Alle benötigten Bauteile und Werkzeuge sind somit an diesem Arbeitsplatz bereit zu stellen. Vorteilhafte Eigenschaften dieser Form

sind die gute Flexibilität und der geringe Aufwand für Planung und Steuerung. Nachteilig sind jedoch die hohen Investitionskosten und die langen Einarbeitungszeiten der Mitarbeiter. Geeignet sind Produkte mit geringer Losgröße und geringer Komplexität der Montageaufgabe.

Bei der **Linienmontage** durchläuft das Produkt mehrere, aneinandergereihte Arbeitsplätze. Die Arbeitsaufgabe wird dabei in Vorgänge unterteilt und sequenziell ausgeführt bis das Produkt fertig ist. Die Vorteile liegen hier in der kurzen Durchlaufzeit, der kurzen Einarbeitungszeit der Mitarbeiter und der gleichbleibenden Qualität. Die geringe Flexibilität auf geänderte Losgröße oder Varianten ist neben dem hohen Planungs- und Steuerungsaufwand ein Nachteil.

Mehrere, an einem festgelegten Arbeitsplatz durchgeführten Arbeitsvorgänge, beschreiben die **Baustellenmontage**. Wie bei der Einzelplatzmontage sind alle benötigten Bauteile und Werkzeuge an einem Arbeitsplatz vorhanden. Vorteile dieses Systems sind neben der guten Flexibilität bezüglich des Personaleinsatzes, die Fähigkeit komplexe Montageaufgaben für großvolumige Produkte durchführen zu können. Nachteile sind der hohe Platzbedarf, die langen Durchlaufzeiten und der aufwendige Materialfluss.

Eine **Montageinsel** ist dadurch charakterisiert, dass mehrere Montagetätigkeiten an einer Station durchgeführt werden. Alle benötigten Werkzeuge und Bauteile sind an einer Station vorhanden. Im Gegenteil zu verwandten Systemen ist hier die Reihenfolge der Tätigkeiten nicht vorgegeben. Die Flexibilität des Systems und die gute Fähigkeit kleine bis mittlere Stückzahlen zu fertigen sind hier als Vorteil anzugeben. Eine lange Einarbeitungszeit der Mitarbeiter und das Risiko einer Produktivitätsschwankung sind Nachteile dieses Systems.

Ein **hybrides bzw. automatisiertes Montagesystem** grenzt sich durch den Einsatz von Montageassistenzsystemen wie Roboter oder Automatikstationen von den oben angeführten Systemen ab. Die beiden genannten unterscheiden sich in der Ausprägung der Unterstützung von Maschinen. Beim automatisierten Montagesystem wird die Montageaufgabe gänzlich von Maschinen durchgeführt, beim hybriden System ist eine Kombination aus automatisierten und manuellen Tätigkeiten vorhanden. Vorteile sind einerseits die hohe und gleichmäßige Ausbringungsmenge, andererseits das Potenzial, hohe Stückzahlschwankungen aufzunehmen. Als Nachteile wird die mangelhafte Mensch-Roboter-Kollaboration genannt.

### 3.4 Herausforderungen

Die steigende Anzahl an Produktvarianten und spezielle Produktionssysteme haben die Notwendigkeit von manuellen Operationen erhöht (Xiaozhou & Plewe, 2016). Diese manuelle Tätigkeit im Produktionsumfeld ist geprägt durch repetitive Handlungen und hohe Aktionskräfte. Erhöhte kognitive und physische Belastung der Mitarbeiter werden hervorgerufen durch kürzere Taktzeiten und die Vereinfachung der durchzuführenden Tätigkeiten. Heutige Produktionssysteme verfolgen den Trend der Automatisierung. Die von Kunden gewünschten Produkte erfordern jedoch eine Anpassung der Planung zukünftiger Systeme. Diese Ausrichtung erfordert eine erhöhte Flexibilität, um geringe Losgrößen herstellen zu können (Hölzel et al., 2015, p. 1). Flexibilität ist gegeben, wenn

kurzfristig und kostenneutral neue Produktvarianten gefertigt werden können. Solche Arbeitssysteme sind geprägt von qualifiziertem Personal, kurzen Entwicklungszeiten und neuen Fertigungspfaden (Jodlbauer, 2016, p. 46).

Der Mensch kann mit seinen flexiblen Eigenschaften und Fähigkeiten diese Forderungen erfüllen und weist dadurch in Zukunft eine entscheidendere Rolle auf. Um physisch und kognitiv belastete Tätigkeiten ausführen zu können und die Lücke zwischen automatisierten und rein manuellen Handlungen verkleinern zu können, werden Assistenzsysteme für den Arbeiter eingesetzt (Hölzel et al., 2015, p. 1).

### **3.4.1 Variantenvielfalt**

Neben inneren Ursachen wie die Organisation und Konstruktion können auch äußere Ursachen wie Kunden- und Marktkomplexität die Variantenvielfalt in einem Unternehmen erhöhen. Die Kundenkomplexität äußert sich in einer Erweiterung der Produktbreite und dem Angebot hoher Variantenvielfalt. Dies ist für Unternehmen die Reaktion auf steigende Kundenwünsche, die erfüllt werden wollen. Die erhöhte Marktkomplexität ist eine Folge von gesättigten Märkten. Unternehmen versuchen in diesem Fall Marktnischen mit einem breiteren Produktangebot zu erschließen.

Eine Art der inneren Ursache für die Variantenvielfalt ist die Organisation. Dies zeigt sich im Produktprogramm, welches durch neue Varianten und Produkte wächst, alte werden aber nicht im gleichen Ausmaß aus dem Programm gestrichen. Wenn es für einen Konstrukteur zeitsparender ist eine neue Variante zu erstellen, als einen funktionell gleichwertigen Teil zu adaptieren, führt dies auch zu einer erhöhten Variantenvielfalt.

Die Variantenvielfalt spiegelt sich in mehreren Facetten in der Produktion wider. Kosten und Stückzahl sind zwei Beispiele. Als Beispiel sind die Komplexitätskosten zu nennen, die durch die Vielfalt des Produktionsprozesses verursacht werden. Diese Vielfalt kann auch als Produktionskomplexität bezeichnet werden. Die Ausprägung dieser ist abhängig von der Variantenvielfalt. Die Wirkungen von Komplexitätskosten spürt ein Unternehmen mit Verzögerung. Bei einem Rückgang der Variantenvielfalt können nicht alle Kosten im selben Ausmaß abgebaut werden. Bei den bleibenden Kosten, verursacht durch angefallene Investitionen in Anlagen und Organisation, spricht man von Kostenremanenz. Neben den Kosten ist die Zunahme der Variantenvielfalt auch die Ursache für eine abnehmende Stückzahl. Dies bewirkt eine Produktion von geringeren Fertigungslosen (Wiendahl et al., 2004, pp. 9-10).

### **3.4.2 Flexibilität**

Nach Wiendahl et al. (2004) ist die Flexibilität das zentrale Anforderungskriterium der industriellen Produktion geworden. Die variantenreiche Herstellung von Produkten erfordert eine reaktions-schnelle und flexible Anpassung an externe und interne Gegebenheiten. Die gestiegenen Kundenforderungen und die Verstärkung des Wettbewerbs sind neben Variantenvielfalt Gründe für schwankende Mengenbedarfe. Dies bewirkt eine wachsende Komplexität, eine zunehmende Anforderung an die Flexibilität und einen stärkeren Rationalisierungsdruck. Gleichzeitig wird auch ein



abnehmender Mengeneffekt bemerkt. Aus diesen lässt sich unter anderem der Bezug des Kunden auf die Montage ableiten. Die Auswirkung dessen ist die zeitgerechte Befriedigung des Kundenbedarfes durch die Montage (Wiendahl et al., 2004, p. 15).

Ähnlich wie Jodlbauer (2016) beschreiben Schuh & Schmidt (2014, pp. 18-20) die Flexibilität. Darin wird die Flexibilität als Eigenschaft eines Systems bezeichnet, das sich innerhalb eines definierten und geplanten Horizontes kostengünstig und schnell anpassen kann. Ergänzend führen sie an, dass die Flexibilität den gestiegenen Anforderungen an ein Produktionssystem nicht mehr gerecht wird und verweisen auf die Wandlungsfähigkeit des Produktionssystems als notwendige Eigenschaft. Wenn unabdingbare Änderungen mehrdimensionale Anpassungen fordern, müssen strukturelle Erneuerungen des Systems von außen initiiert werden. Die Fähigkeit zur strukturellen Umgestaltung von innen heraus und die damit verbundene Überschreitung oder auch Verschiebung von definierten Handlungskorridoren charakterisieren die Eigenschaft der Wandlungsfähigkeit eines Systems. Diese Fähigkeit ermöglichen dem Produktionssystem eine gezielte Prozess-, Struktur- und Verhaltensvariabilität. Um mit externen, dynamischen Veränderungen umgehen zu können und dem dadurch entstehenden Wandlungsdruck zu begegnen, ist diese Fähigkeit relevant.

## **4 Einsatz von AR-Assistenzsystemen**

Das Wissen über die Bereiche Augmented Reality als Assistenzsystem und der industriellen Montage wird in diesem Kapitel zusammengeführt und umfassend, an Hand von vier Abschnitten, erläutert. Beginnend mit der Umsetzung entwickelter AR-Assistenzsysteme in verschiedenen Bereichen der industriellen Montage wird dies in zwei Schritten beschrieben. Die methodische Gestaltung beispielhafter Prozesse bildet den Inhalt des ersten Abschnittes. Mit welchen Ausgabegeräten diese Prozesse technisch umgesetzt werden, wird anschließend dargestellt. In Summe wird dadurch ein umfassendes Bild eines AR-Assistenzsystem herausgearbeitet, das in der zweiten Hälfte auf mögliche Chancen und Risiken untersucht wird. Abhängig von den darin betrachteten Eigenschaften werden die in der Literatur gewonnen Erkenntnisse in unterschiedlichen Aggregationen angeführt.

### **4.1 Anwendungsbereiche**

Im Umfeld der industriellen Montage werden in der einschlägigen Literatur vier Anwendungsbereiche eines AR-Assistenzsysteme intensiv diskutiert. Die methodische Gestaltung und Umsetzung, angereichert mit verschiedenen Ausprägungen und aktuellen Erkenntnissen, bilden den Inhalt der folgenden Seiten.

#### 4.1.1 Montageanleitung

Assistenzsysteme für die manuelle Montage waren, wie eingangs erwähnt, eine der ersten Anwendungen in Verbindung mit AR. Von 1992 an wurden viele wissenschaftliche Untersuchungen in diesem Bereich durchgeführt. Zusammenfassend beweisen diese die Effektivität von AR Applikationen in der Unterstützung der manuellen Montage. In diesen Untersuchungen wurden verschiedenste Methoden und Techniken verwendet die einerseits die Vergleichbarkeit, andererseits die Abstraktion auf die reale Montageumgebung erschweren. In manchen Fällen wurden LEGO oder Duplo Bausteine für die Simulation der Montage verwendet, in anderen wurden Bauteile aus der Industrie genutzt (Radkowski et al., 2015).

Viele dieser multimedialen Montageassistenten bieten eine schrittweise Anleitung für den Anwender mit Blick auf die zeitliche Begleitung durch den Montageprozess. Andere Assistenzsysteme bieten die Möglichkeit, den Fortschritt des Montageprozesses in Echtzeit zu erkennen und in Abhängigkeit dessen den Arbeiter mit kontextsensitiven Informationen zu unterstützen. Die Erstellung einer Arbeitsanweisung ist in beiden Fällen für Unternehmen mit einem hohen zeitlichen und monetären Aufwand verbunden (Wang et al., 2016).

Um diesen Prozess für die Erstellung einer schrittweisen Arbeitsanweisung zu beschleunigen, wird in Makris et al. (2013) und Rentzos et al. (2013) das automatische Erstellen von schrittweisen Montageanleitungen beschrieben. Das dreidimensionale CAD-Modell der zu montierenden Baugruppe wird durch einen entwickelten Algorithmus schrittweise demontiert. Der Algorithmus kreiert dabei die entsprechende Sequenz der Demontage der einzelnen Bauteile vom Rest der Baugruppe. Die einzelnen Schritte der Demontage werden solange durchgeführt, bis eine Demontage aller Bauteile ohne Problem und Hindernisse möglich ist. Die Informationen welches Bauteil, in welcher Reihenfolge und in welcher Weise demontiert werden kann, werden in einer eigenen Datei abgespeichert. Diese Sequenz der Demontage wird in ihrer Reihenfolge umgedreht. Das Ergebnis ist die Reihenfolge der Montage der Bauteile. Diese Informationen sind im weiteren Schritt die Basis für das Erstellen der Arbeitsanweisung. Zu jeder Sequenz werden in der Datei die CAD-Modelle der Bauteile und benötigter Werkzeuge verlinkt. In der finalen Anwendung bekommt der Arbeiter in seinem AR-fähigen Ausgabegerät die CAD-Modelle mit den passenden Werkzeugen abgestimmt auf die Reihenfolge der erstellten Montagesequenz präsentiert. Das Assistenzsystem begleitet den Arbeiter schrittweise durch die Montageaufgabe, basierend auf der berechneten Sequenz, den entsprechenden CAD-Modellen und den benötigten Werkzeugen.

AR-Systeme die ihre Umgebung, beispielsweise den Arbeitsbereich, mit Sensoren wahrnehmen und diese Informationen im System verarbeiten und entsprechend diesen die weiteren Daten aufbereiten, nennt man kontextsensitive AR-Systeme. Diese liefern geeignete Informationen, um den Arbeiter in Echtzeit mit digitalen Hilfestellungen zu unterstützen. Kontextsensitive AR-Systeme können im Bereich der Montageunterstützung den Status des Arbeiters und des Arbeitsfortschrittes in Echtzeit erfassen. Montagefehler und der Fertigstellungsgrad werden dadurch automatisch erkannt und der Arbeiter wird mit Hilfestellungen oder weiterführenden Informationen begleitet. Durch die

Implementierung einer Logik wie etwa eines semantischen Datenmodells werden diese Systeme realisiert. Ein solches Datenmodell hilft dem Montagemanagementsystem bei der Integration und Verarbeitung von unstrukturierten Montageinformationen, die über Sensoren erfasst werden. Wang et al. (2016) haben erkannt, dass mit den bekannten Datenmodellen die Wahrnehmung des Arbeiters nicht abgebildet werden kann. Dieser Aspekt wurde aufgegriffen und in ein von den Autoren erstelltes Datenmodell integriert. Dieses mehrschichtige Modell verknüpft dabei mehrere Aspekte, die während des Montageprozesses involviert sind: die Wahrnehmungsinformationen des Mitarbeiters, die Prozessinformationen und die beschreibenden Daten des Bauteils. Diese Aspekte sind untereinander durch starre oder dynamische Beziehungen verbunden. Eine starre Beziehung weist beispielsweise den Fortschritt der Montage mit dem Bauteil auf. Begründet ist dies durch eine definierte Beschreibung an einzelnen Montageschritten für einen Bauteil. Als Beispiel einer dynamischen Beziehung kann der Arbeiter und der Fortschritt der Montage genannt werden. Die definierten Montageschritte können durch mehrere Arbeiter durchgeführt werden. Neben den Beziehungen untereinander weisen die einzelnen Aspekte des Montageprozesses Eigenschaften auf. Starre Eigenschaften der Aspekte können durch den Produktentwicklungsprozess fix zugeordnet worden sein. Ein Beispiel sind Stücklisten oder benötigte Werkzeuge, die aus CAD-Daten oder PLM-System extrahiert werden können. Dynamische Eigenschaften sind definierte, aber nicht in ihrer Reihenfolge und Abfolge festgelegte Charakteristika. Die dem Anwender im Ausgabegerät eingeblendeten AR Informationen sind ein Beispiel. Es ist definiert, welche Informationen zu welchem Ereignis dargestellt werden, der Zeitpunkt der Ereignisse ist aber vom Handeln des Anwenders abhängig.

Neben der Sequenzierung und Modellierung der Montageanleitungen muss bei der Gestaltung auch auf die einzublendenden visuellen Merkmale geachtet werden. In der Untersuchung von Radkowski, et al. (2015) wird die Erstellung einer Montageanleitung in Bezug auf den Schwierigkeitsgrad der Montageaufgabe hinterfragt. Zwei AR-Systeme wurden entwickelt, die mit unterschiedlichen Ausprägungen von visuellen Merkmalen den Arbeiter je nach Schwierigkeitsgrad der Aufgabe begleiten. Im ersten System (*abstract augmented reality* - AAR) wird für leichte Aufgaben eine textuelle Beschreibung der Aufgabe und ein dreidimensionales Objekt (Pfeil) verwendet. Für schwere Aufgaben wird neben dem Text und dem Symbol auch eine zweidimensionale Zeichnung eingeblendet. Das zweite System (*concrete augmented reality* - CAR) blendet für leichte Aufgaben neben der textuellen Beschreibung ein dreidimensionales Modell des Bauteils ein. Eine textuelle Beschreibung und ein animiertes, dreidimensionales Modell des Bauteils werden für schwere Aufgaben verwendet. Die Gestaltungsparameter der beiden Systeme werden herangezogen, um für die Montageaufgabe Arbeitsanweisungen zu erstellen.

Für die Untersuchung der Eignung dieser Systeme wurden eingangs zwei Hypothesen beschrieben. Hypothese eins besagt, dass CAR den Anwender generell beim Ausrichten und Verbinden von Bauteilen besser unterstützt als AAR, ausgenommen bei schwierigen Aufgaben. Begründet wird dies damit, dass abstrakte Elemente wie Texte und Symbole exakte Informationen bereitstellen, die bei

schweren Aufgaben leichter verständlich sind. Hypothese zwei besagt, dass Elemente von AAR besser eingesetzt werden können, um Bauteile und Werkzeuge identifizieren zu können. Begründet wird dies damit, dass es keine Anstrengung für den visuellen Vergleich des physischen Teils mit einer zweidimensionalen Zeichnung dessen benötigt. Diese Variante ist im Gegensatz zu CAR schneller und zuverlässiger.

Mit der Durchführung einer Benutzerstudie und einer anschließenden statistischen Auswertung konnten die Autoren die Aussagefähigkeit der Hypothesen erheben. Die Annahme der ersten Hypothese, dass CAR beim Ausrichten und Verbinden von Bauteilen die Anwender besser unterstützt als AAR, wurde mit dem Ergebnis nicht belegt. Auch die zweite Annahme, dass AAR besser bei der Identifizierung von Bauteilen und Werkstücken hilft, konnte das Ergebnis nicht ausweisen. Obwohl keine signifikanten Ergebnisse erzielt wurden, die die Hypothesen belegen, zeigen die Daten, dass die Methode CAR besser ist als AAR (Radkowski et al., 2015). Da in dieser Studie nicht eindeutig dargelegt werden konnte, welche Form der Darstellung situationsabhängig besser ist, muss an dieser Stelle auf mögliche zukünftige Ergebnisse verwiesen werden.

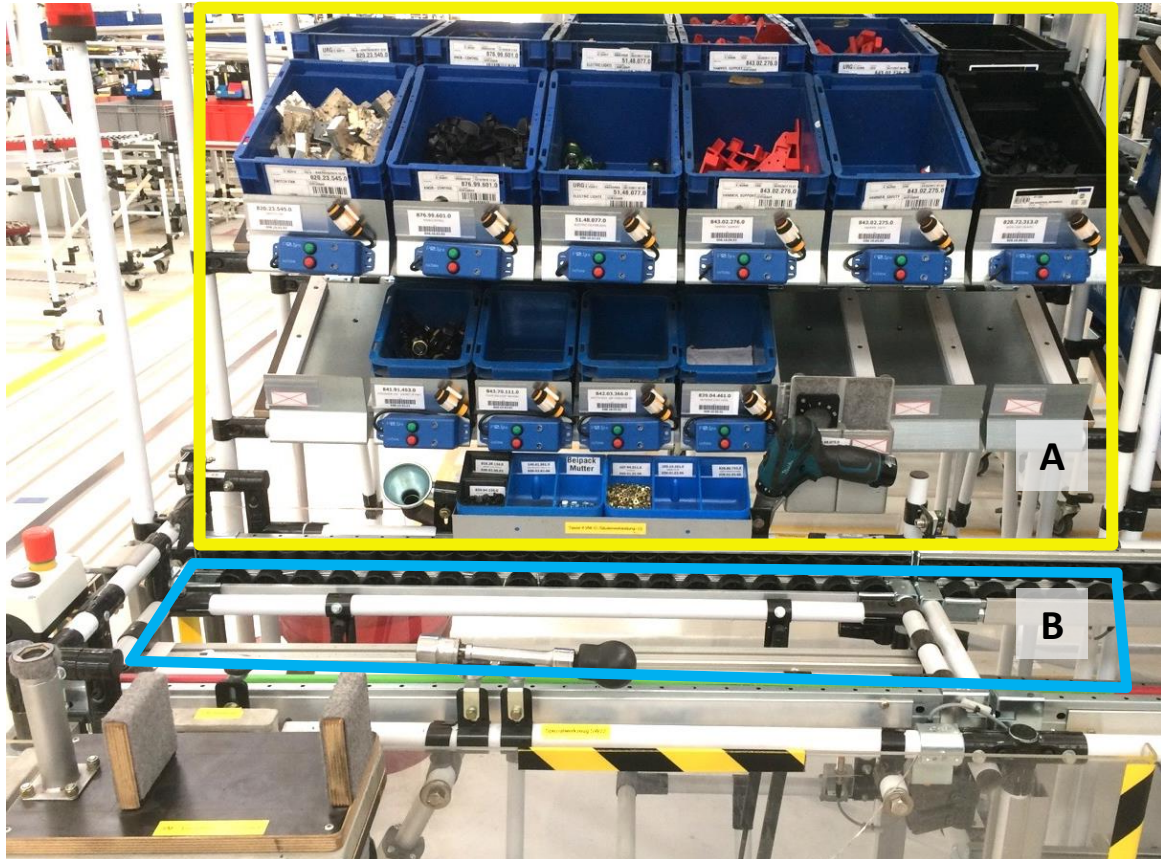
Verschiedene Formen der Interaktion bieten dem Arbeiter die Möglichkeit, während der Montageaufgabe mit dem AR-System zu interagieren. Ein gesten-basierende Interaktionssystem *Cognition-based interactive Augmented Reality Assembly Guidance System* (kurz CARAGS) wurde in Wang et al. (2016) entwickelt. Für die Interaktion mit dem System nutzt der Anwender seine Finger und Hände, welche die natürlichste Form der Mensch-Computer Interaktion bereitstellt. Durch den Einsatz der Computer-Vision Technologie wird dem System ermöglicht, die Gesten des Anwenders zu verstehen. Im CARGAS wurden zwei Typen von Gesten definiert. Statische Gesten, die das Menü der Anwendung steuern und Gesten für die räumliche Manipulation der dreidimensional dargestellten Bauteilmodelle. Ähnlich wie bei der Menüsteuerung eines Smartphones wird in diesem System für viele Operationen ein ausgestreckter (Zeige-)Finger verwendet. Mit dieser Geste kann der Nutzer im virtuellen Menü, Optionen auswählen und bestätigen. Das bereitgestellte System ist darauf ausgelegt, dass hauptsächlich mit dieser Geste die Anwendung bedient werden kann. Ein Button im virtuellen Menü kennzeichnet die Position der Option. Der Nutzer bestätigt diese, indem er seinen Finger für kurze Zeit in diesem Feld positioniert. Das System erkennt dies als Click-Funktion und führt die hinterlegte Ausführung aus. Für das räumliche Manipulieren sind Gesten bereitgestellt, die das Bewegen, Rotieren, Vergrößern und Verkleinern von dreidimensionalen Objekten möglich machen. Diese Bewegungen können auch für das Menü verwendet werden, um beispielsweise eingeblendete Objekte, welche sich im Sichtfeld des Nutzers befinden, wegzuschieben.

#### **4.1.2 Kommissionieren**

Neben Mitarbeitern im Bereich des Lagers sind auch Mitarbeiter in der Montage, je nach Gestaltung des Arbeitsplatzes, angehalten Kommissioniervorgänge durchführen zu müssen.

Laut Büttner et al. (2016) ist Kommissionieren ein Teil des industriellen Herstellungsprozesses. Beim Kommissionieren wird der Mitarbeiter informiert, welches Bauteil in welcher Stückzahl er als nächstes benötigt. Der Mitarbeiter sucht sich den Lagerort des Bauteils und entnimmt die benötigte

Stückzahl. Ab hier unterscheidet sich der Prozess von Lagermitarbeitern und Montagemitarbeitern. Lagermitarbeiter wiederholen diesen Prozess für alle Bauteile, die in der Kommissionierliste enthalten sind. Montagemitarbeiter montieren nach einem Kommissionierschritt das Bauteil am Arbeitsplatz.



**Abbildung 9: Ausschnitt eines Montagearbeitsplatzes eines Nutzfahrzeugherstellers in Niederösterreich**

Wie in Abbildung 9 dargestellt, ist eine Art der Gestaltung eines Montagearbeitsplatzes eine Kombination aus Anordnung von Kleinteilebehälter (zu sehen im Bereich A) und der Arbeitsbereich für die Montage (zu sehen im Bereich B). An diesem beispielhaften Arbeitsplatz wird das Bauteil auf einen Werkstückträger aufgebaut. Dieser Werkstückträger gleitet in der Rollbahn (Bereich B) und wird vom Mitarbeiter stationsweise durchgeschleust. Das Bauteil erhält durch diese stückweise Montage an der Endstation einen definierten Fertigstellungsgrad. In dieser Konstellation führt der Montagemitarbeiter neben den Montagehandlungen auch Kommissioniertätigkeiten durch. Ein mit AR unterstützter Montagearbeitsplatz ist, wie in Büttner et al. (2016) beschrieben, in der Lage, für beide Prozesse Informationen einzublenden. Für den Kommissioniervorgang wird der Behälter mit den benötigten Teilen visuell hervorgehoben. Animierte Rechtecke um das Typenschild des Behälters lenken die Aufmerksamkeit des Arbeiters auf die Position dessen. Der Hinweis für die Montageaufgabe ist ein zweidimensionales Abbild des 3D Konstruktionsbauteils. Für jeden Arbeitsschritt wird dabei der aktuelle Fertigstellungsgrad des Bauteils und das nächste zu montierende Teil in

einer Ansicht angezeigt. Das zu montierende Teil wird in dieser Darstellung grafisch hervorgehoben. Die Abfolge der Montageanleitungsschritte wird in dieser Ausführung manuell über einen Fußschalter bedient. Beide Hände des Arbeiters können so ständig für den Kommissionier- oder Montagevorgang benützt werden (Büttner et al., 2016).

Die Vorgehensweise zur Lenkung der Aufmerksamkeit und die Art der Darstellung des Hinweises, um den Mitarbeiter über den benötigten Bauteil zu informieren, wird auch in Paelke (2014) und Funk (2016) diskutiert. Virtuelle Objekte oder bekannte Symbole werden dem Anwender eingeblendet, um über den Lagerort des Behälters bzw. über den Bauteil selber zu informieren. Als Beispiel verwendet Paelke die Behälternummer und/oder einen Pfeil für die Lage des Behälters. Über das Erscheinungsbild des Bauteils wird der Anwender mit einem Bild dessen informiert.

Für den Kommissioniervorgang verwendet Funk (2016, pp. 92-93) neben dem farbigen Hervorheben des Behälters auch Piktogramme. Diese haben den Vorteil, ohne textuelle Beschreibung den Vorgang mit einfachen Symbolen zu beschreiben. Hintergrund für die Auswahl von Piktogrammen war für Funk die Einbindung von Personen mit eingeschränkten Fähigkeiten.

Die Einbindung des Kommissioniervorganges in den Montageprozess unterstützt den Arbeiter ganzheitlich, alle benötigten Arbeitsschritte durchführen zu können. Verschiedene Ausprägungen der Integration des AR-Systems bieten dem Arbeiter Hilfestellungen, um den Montageauftrag erfolgreich abarbeiten zu können.

#### **4.1.3 Qualitätsprüfung**

Je nach verwendetem Produktionssystem sieht die Organisation eines Unternehmens in vielen Fällen eine Endprüfung der gefertigten Produkte vor. Die Qualitätsprüfung ist in solchen Fällen nach der Montage der letzte Schritt vor dem Verpacken und Ausliefern der Ware. Die Inspektion von Bauteilen ist eine definierte Überprüfung von bestimmten Werkstücken. Diese beinhaltet ein Bündel an einzelnen Prüfschritten, welche in einem Prüfprotokoll zusammengefasst, einem bestimmten Werkstück zugewiesen sind. Das Ziel dieser Überprüfung ist zu verifizieren, welche und wie viele Abweichungen am Bauteil vorliegen (Perla et al., 2016). In Busch & Sterling (2000) wurde hierfür ein standardisierter Prozess zur Durchführung der Überprüfung festgelegt. Der in diesem Patent beschriebene Vorgang, der Inspektion von Fahrzeugen, wird in dieser Arbeit für die Inspektion von Montagebauteilen herangezogen. Für den ausführenden Mitarbeiter und dem Unternehmen wurden darin Voraussetzungen beschrieben, die den Prozess der Überprüfung einheitlich unterstützen. Der Mitarbeiter soll folgenden Eigenschaften vorfinden:

- Ein optimaler Rundgang um das Prüfobjekt soll vorhanden sein
- Eine präzises Prüfprotokoll für die einzelnen Bauteile soll vorhanden sein
- Die Priorität der Überprüfung soll bekannt sein
- Spezifikationen der zu prüfenden Bauteile sollen bei Bedarf vorhanden sein
- Eine akkurate Dokumentation der beobachteten Abweichungen soll möglich sein

Aus der Sicht des Unternehmens ergänzen folgende Eigenschaften des Prozesses der Bauteilüberprüfung:

- Die Überprüfung soll exakt und schnell durchgeführt werden
- In Abhängigkeit von externen Faktoren soll es möglich sein, die Priorisierung der Überprüfungen ändern zu können
- Alle ausgefüllten Prüfungsunterlagen sollen leicht erreichbar sein

Das in Perla et al. (2016) entwickelte System zur Bauteilüberprüfung wurde mit dem Ziel gestaltet, die eingangs angeführten Voraussetzungen zu erfüllen. Hierfür wurden folgende Schlüsselaufgaben des AR-System definiert:

- Anzeigen der relevanten Prüfschritte in Abhängigkeit der Priorisierung; Die Reihung der Prüfschritte ist dynamisch - abhängig davon, welches Objekt die Kamera als erstes erfasst
- Ein markerloses Tracking System wird für die Inspektion verwendet
- Durch die Erfassung von Bildern, Audio, Notizen und Videos wird der Status der Überprüfung dokumentiert

Im ersten Schritt wird ein am Prüfobjekt angebrachter QR-Code vom AR-System erfasst. Das System extrahiert die hinterlegte Bauteilnummer und gleicht es mit einer Datenbank auf einem Server ab. Als Ergebnis wird parallel zu alle relevanten Stammdaten auch das benötigte Prüfprotokoll des Bauteils in das System übermittelt. Sicherheitshinweise und Anweisungen für die Überprüfung werden dem Anwender im Display des mobilen Ausgabegerätes angezeigt. Vor Beginn der Überprüfung stellen diese Schritte sicher, dass der Mitarbeiter auf alle benötigten Informationen zugreifen kann. Nach der Initialisierung der Bauteilprüfung erfasst die Kamera des AR-Systems den Bauteil und sendet diese Daten als Livestream an einen Server. Dort werden die Bilddaten ausgewertet und mit wichtigen Informationen zum erfassten Bauteil und zum zugeordneten Prüfschritt angereichert. Diese Kombination wird im weiteren Schritt dem Mitarbeiter am Display angezeigt, wodurch er den Prüfschritt durchführen kann. Dieser Prozess wiederholt sich für alle Prüfmerkmale am Objekt. Mit Abschluss des letzten Prüfschrittes beendet das System die Bauteilüberprüfung und sendet die erfassten Daten an den Server.

Als hervorhebende Eigenschaften nennen die Autoren den verwendeten Algorithmus für das Detektieren und Tracking des Prüfobjektes und die dynamische Priorisierung der Prüfschritte. Der Algorithmus wurde dem menschlichen Gehirn nachempfunden und in Verbindung mit der visuellen Objekterkennung R-CNN (Ren et al., 2016) sorgt dieser für eine stabile Funktion auch bei geänderten Lichtverhältnissen. Abhängig davon, welches Bauteil des Prüfobjektes der Mitarbeiter als erstes mit der Kamera erfasst, werden die Prüfschritte entsprechend neu gereiht. Diese Priorisierung vermeidet unnötige Wege des Mitarbeiters und unterstützt so eine Forderung des Unternehmens für kurze Prozesszeiten.

Ein Beispiel für ein Prüfmerkmal der beschriebenen Bauteilüberprüfung ist das Spaltmaß. Dieses ist häufig in der (Nutz-) Fahrzeugindustrie als auch in der Flugzeugindustrie vorzufinden und beschreibt

den Abstand zwischen zwei Bauteilen. Dieses Prüfmerkmal ist je nach Branche und Produkt mit unterschiedlichen Nennmaßen ausgestattet. Um diese Genauigkeit mit einem bildverarbeitenden Prüfsystem zu erreichen wird, in Liu et al. (2015) die *Sub-Pixel Edge Detection* Technologie verwendet. Darin wird erwähnt, dass eine Kamera die Bauteile erfasst und dieses Bild danach auswertet. Im ersten Schritt erkennt das System die Lage des Spaltmaßes an Hand der Bauteilkanten. Danach wird mit erhöhtem Aufwand unter Verwendung der genannten Technologie das Maß zwischen den Kanten errechnet. Das Ergebnis ist das Spaltmaß zwischen den Bauteilen. Die Fähigkeit des Systems in der industriellen Bauteilüberprüfung ist gegeben, da Spaltmaße ab einem Maß von 0,8mm geprüft werden können.

#### 4.1.4 Training

Qualifizierung und Training im Umfeld eines Fertigungsunternehmens reicht von der Beschreibung der fachlichen Leistung bis hin zu einem breiteren Verständnis von Einstellungen, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse bezogen auf das Arbeitsvermögen der Mitarbeiter. Die Qualifizierung der Mitarbeiter mit Bezug auf die fachliche Leistung ist vielfach im Montagebereichen vorzufinden. Das Ziel dieser Qualifizierung ist die einfache Erweiterung der motorischen Kompetenz oder Detailwissen ohne einen Bezug auf Zusammenhänge oder Prozesse. Als natürliche Lernform der Arbeitstätigkeit wird das direkt praxisgebundene Aufgabenlernen angewendet. Durch praktische Übungen entwickelt sich so das Können der Mitarbeiter. Wissen entsteht in dieser Form des Lernens oftmals nebenbei und selektiv. Spezielle Unterweisungen, die Erklärungen des Kollegen und die Selbsterklärung während der Tätigkeit bilden dieses Wissen. In vielen Fällen wird das Qualifizieren, von in erster Linie neuen Mitarbeitern, durch gezieltes Anlernen durchgeführt. Die Werker werden von eingearbeiteten Mitarbeitern am Montagearbeitsplatz mit der Methode des Vormachens-Nachmachens angelernt. Der Vorteil dieser Methode ist, dass die anlernenden Mitarbeiter über das notwendige Wissen und Können verfügen. Die für die Qualifizierung notwendigen Kompetenzen liegen in vielen Fällen jedoch nicht vor. Diese Situation in der Kombination mit dem gleichzeitigen Produktionsdruck überfordern diese Mitarbeiter in vielen Fällen. Bedingt durch diese Parameter kann das Ergebnis des Lernprozesses der neuen Mitarbeiter sehr unterschiedlich ausfallen. Mehr oder weniger lange Anlernzeiten und die unterschiedliche Fähigkeit des selbstständigen Weiterlernens sind die Folgen (Lotter & Wiendahl, 2012, pp. 397-402).

Im Umfeld der industriellen Montage und Herstellung beschäftigen sich viele Menschen mit der Entwicklung von Mitarbeitertrainings und Fähigkeiten dieser. In diesem Kontext wird eine höhere Effektivität der Prozesse und eine Senkung des benötigten monetären Investments verfolgt (Gonzalez-Franco et al., 2016). Neben bekannten Methoden wie das Vormachen-Nachmachen, bietet AR eine neue Möglichkeit, das Wissen und die Fähigkeiten der Mitarbeiter zu schulen. AR verspricht ein intuitives Trainingsszenario, in dem eine Kombination von virtuellen Informationen und haptischer Interaktion mit Bauteilen bereitgestellt wird.



Der Vorteil von AR ist, dass der Auszubildende während der Prozessbegleitung mit virtuellen Informationen angeleitet wird und mit den realen Bauteilen interagieren kann. Die gleichzeitige Inanspruchnahme von digitalen Anleitungen und haptischer Rückmeldung des Bauteils hinterlassen einen großen Lerneffekt. Während der Ausübung der tatsächlichen Aufgabe werden dem Anwender Trainingsunterlagen bereitgestellt, die das Erlernen erleichtern. Ein AR-Trainingssystem muss nicht alle Prozesse detailliert abbilden. Ein solches Trainingssystem kann sich auf das Verhalten und die zu lernenden Bewegungen konzentrieren. Der Auszubildende kann grundsätzliche Aufgaben durch Beobachten der Instruktionen in einem AR-System erlernen und diese dann bei realen Tätigkeiten anwenden. Durch Ausführen der Aufgabe an realen Objekten, parallel begleitet durch das AR-System, bilden sich Bewegungs- und Verhaltensmuster, die in neuentwickelten Fähigkeiten des Anwenders resultieren. In diesem Szenario ist kein zusätzlicher Lernaufwand oder Ressource in Form von Handbüchern oder anderen Mitarbeitern notwendig. Die Entwicklung neuer Fähigkeiten beginnt mit der Ausführung der ersten Aufgabe. Mit zusätzlicher Technologie kann das AR-System die individuelle Leistung des Anwenders erkennen und so individuelle Information bereitstellen. Eine solche Technologie ermöglicht auch das Messen und Evaluieren des Trainingsvorschlages. Mit diesen Informationen kann einerseits mehr oder weniger Hilfestellung während des Trainings geboten werden, andererseits kann durch die Auswertung bestimmt werden, welcher Mitarbeiter zusätzliche Hilfe im Erlernen der Aufgabe benötigt (Webel et al., 2013).

Ein Trainingssystem basierend auf AR birgt auch das Risiko der Abhängigkeit von der Begleitung durch virtuelle Informationen. Eine mögliche Folge daraus ist, dass der Arbeiter die Aufgabe nicht mehr ohne die Unterstützung der Hilfestellung erledigen kann. Das System sollte daher Phasen beinhalten, wo dem Anwender weniger Informationen (bspw. nur Instruktionen zur Aufgabe, keine Hinweise zu benötigten Werkzeugen) bereitgestellt werden. Eine Abhängigkeit kann auch verhindert werden, wenn der Level der Informationsdarstellung gesenkt wird. Vollwertige Instruktionen mit graphischen und textuellen Bestandteilen können durch einfache Piktogramme ersetzt werden (Webel et al., 2013).

Eine Möglichkeit diese Risiken zu unterbinden ist ein auf den individuellen Lernprozess des Mitarbeiters abgestimmtes Trainingssystem (Syberfeldt et al., 2016). Die Annahme der Autoren ist, dass die Begleitung durch den Arbeitsprozess und die Darstellung der Informationen in einem AR-System auf dem Wissen der Anwender basieren soll. Das Erlernen und Ausführen der Handlungen soll dadurch in kürzester Zeit möglich sein. Mit individuellen Informationen kann ein solches AR-System effektiver sein und gleichzeitig die Effizienz des Anwenders steigern.

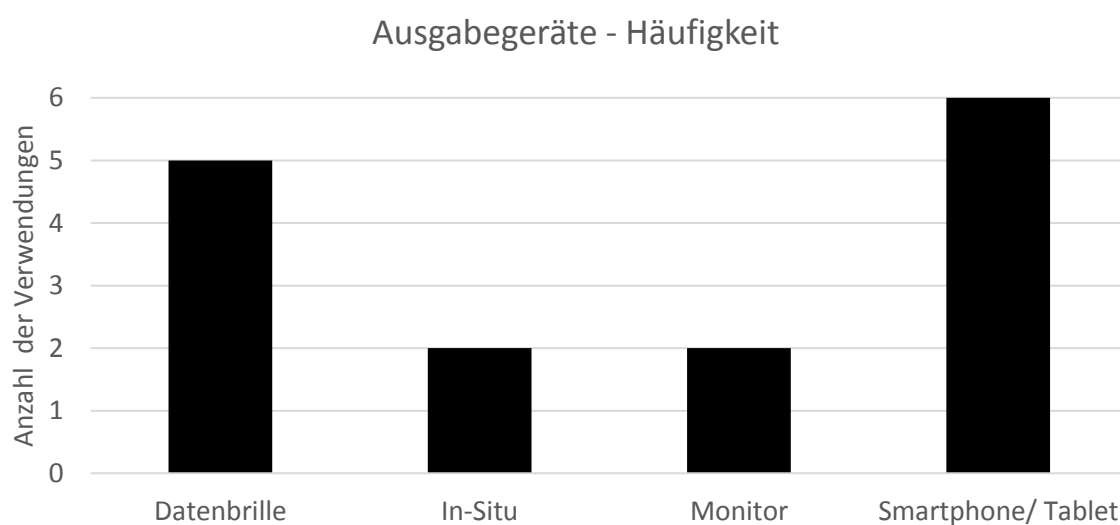
Basierend auf einem Computerprogramm wird dem Mitarbeiter in diesem AR-System der Prozess unter Verwendung von dynamischen Informationen dargestellt. Um die individuelle Hilfe dem Mitarbeiter zur Verfügung zu stellen, wird im *Augmented Reality Expert System* (kurz ARES) ein Expertensystem (engl. *expert system*) verwendet. Das *expert system* ist ein Forschungsbereich der künstlichen Intelligenz und hat den Zweck, die menschliche Entscheidungsfindung nachzuahmen. Beschrieben wird es mit einer Reihe von Computerprogrammen, welche die menschliche Expertise als

Wissen in einem Code abspeichern. Dieser Code wird als „Wenn-Dann Regeln“ hinterlegt und spiegelt das Wissen eines fachkundigen Mitarbeiters für einen speziellen Prozess wider. Ein Expertensystem wird verwendet, um komplexe Probleme zu lösen. Dafür werden die gespeicherten Regeln in einer spezifischen Weise manipuliert. Die Motivation für die Verwendung eines Expertensystems ist, die knappe Ressource an erfahrenen Arbeitern so gering wie möglich für das Anlernen neuer Mitarbeiter zu verwenden.

Mit einem Experiment, durchgeführt von vier Personen, konnten die Autoren zeigen, dass die Verbindung eines Expertensystems mit einem AR-System funktioniert. Alle Probanden konnten die Aufgabe unmittelbar und ohne Mängel durchführen. Die Funktionalität des Systems in einem industriellen Umfeld wurde zum Zeitpunkt der Publikation noch nicht geprüft.

## 4.2 Arten

Die von Wang, et al. (2016) durchgeführte Untersuchung zeigt neben den Einsatzbereichen von AR-Systemen rund um die Montage auch unterschiedliche Ausprägungen der Gestaltung und Interaktion dieser. Vielfach werden die eingesetzten Ausgabegeräte in den Projekten mitangeführt. Die Gestaltung eines AR-Systems hängt in vielerlei Hinsicht vom verwendeten Ausgabegerät und dessen Eigenschaften ab. Datenbrillen, Projektoren, Laser, Monitore oder *wearables* wie Smartphones oder Tablets werden hierfür eingesetzt. Diese Geräte bilden die technologische Komponente der im Absatz 4.1 erwähnten Prozessassistenz. In den folgenden Abschnitten wird beschrieben, wie ein AR-Assistenzsystem beispielsweise im Bereich der Montageanleitung oder der Qualitätsprüfung technisch umgesetzt wird. Der Einsatz dieser und aktuelle Erkenntnisse im Umgang damit werden anschließend angeführt. Die Häufigkeit der verwendeten Ausgabegeräte in den herangezogen wissenschaftlichen Publikationen zeigt die Abbildung 10. Die Quelle dieses Diagramms kann aus der Tabelle 6 im Anhang 7.2 entnommen werden.

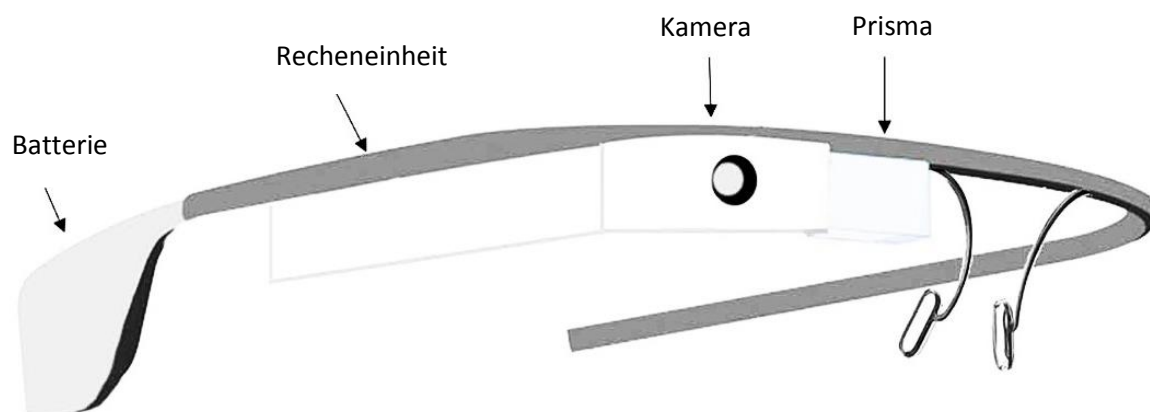


**Abbildung 10: Anzahl der verwendeten Ausgabegeräte in untersuchten Publikationen**

#### 4.2.1 Datenbrille

Datenbrillen sind computergestützte Brillen, die digitale Informationen und Objekte einblenden. In Gegensatz zur Verwendung von gedruckten oder digitalen (z.B. in Smartphone oder Tablet) Arbeitsanweisungen blenden Datenbrillen die Informationen im direkten Sichtfeld des Arbeiters ein. Dieser hat dadurch ungehinderten Zugriff auf bereitgestellte Daten, welche als Text, Grafik oder Video dargestellt werden. Der Einsatz von Datenbrillen in der Assistenz von Arbeitern im industriellen Umfeld wurde schon in Caudell & Mizell (1992) präsentiert. In diesem Umfeld sind Potenziale sichtbar, die die Effektivität und Effizienz der Arbeit verbessern. Die Unterstützung im freihändigen Arbeiten, der leichte Zugang zu Arbeitsanweisungen oder die Videokollaboration mit Kollegen wird durch den Einsatz von Datenbrillen ermöglicht (Sunwook et al., 2016).

In der Ausführung können diese nach den Prinzipien *Optical See-Through HMD* oder *Video See-Through HMD* gestaltet sein. Diese Ausprägungen wurden in 2.1.6 Wiedergabe/Ausgabe erklärt. Mit Datenbrillen (eng. *Smart Glasses*) werden in dieser Arbeit *Optical See-Through HMDs* bezeichnet und im folgendem Abschnitt als solches dargelegt.



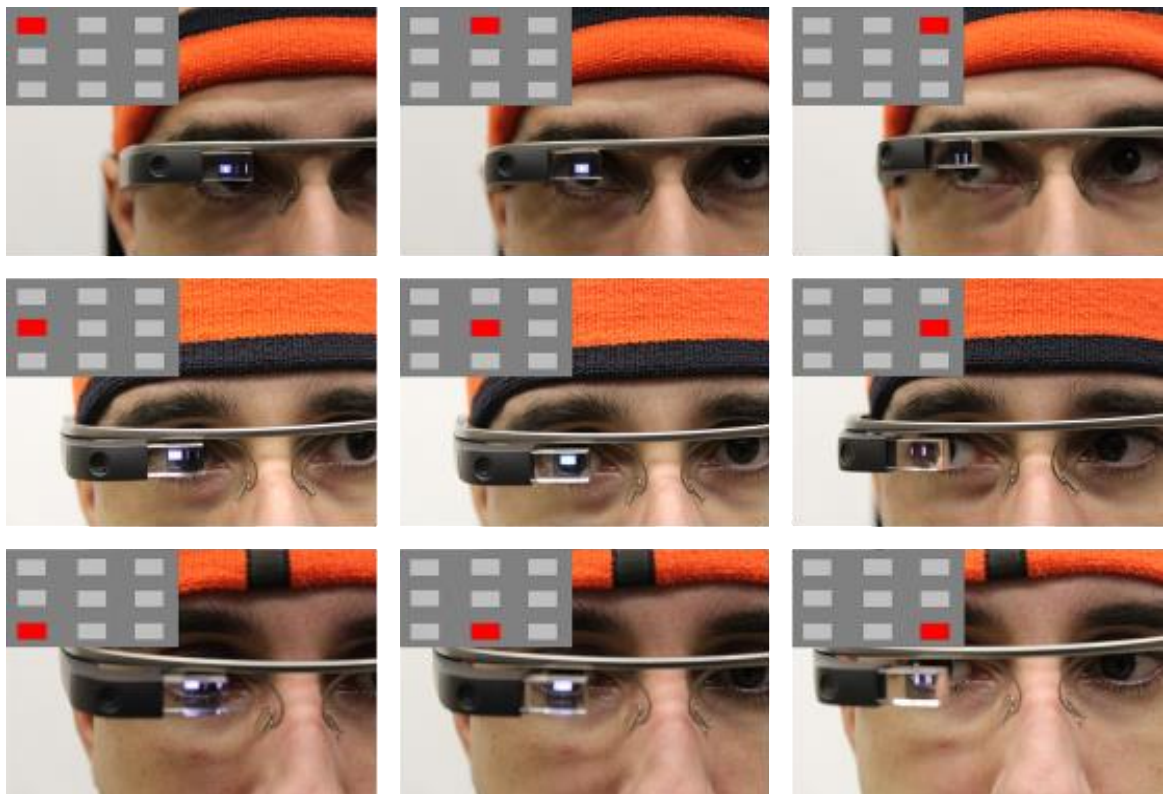
**Abbildung 11: schematische Darstellung einer Optical See-Through HMD nach (Rauschnabel et al., 2015)**

Datenbrillen sind, wie in Abbildung 11 dargestellt, eine Kombination aus Kamera, Recheneinheit, Batterie, spezieller Optik und einem Brillengestell.

Die Position der Optik ist abhängig vom verwendeten Gerät. Geräte wie in Abbildung 11 dargestellt verwenden ein semitransparentes Prisma, das außerhalb des zentralen Sichtfeldes positioniert ist. Eine andere Art ist die Positionierung der Optik im zentralen Sichtfeld des Anwenders. Dabei ist die Optik in einem Glas im Brillengestell eingebettet. In beiden Fällen wird bei der Verwendung einer Datenbrille dem Anwender die digitale Arbeitsanweisung in der Optik, nahe dem Auge, eingeblendet und ermöglicht so das gleichzeitige Sehen dieser und der realen Umwelt. Diese Position ermöglicht, dass die Informationen groß genug und dadurch lesbar sind, aber auch klein genug, um das Sichtfeld des Anwenders nicht gänzlich zu verdecken. Vorteil der dezentralen Positionierung der

Optik ist, dass die Arbeitsanweisung dem Anwender neben dem Bauteil angezeigt wird und dadurch eine freie Sicht darauf gewährleistet wird (Sam Zheng et al., 2015).

Untersuchungen stellten fest, dass möglicherweise Datenbrillen den Anwender während der Aufgabe ablenken und/oder die Wahrnehmung der eingeblendeten Informationen behindern. In Chua et al. (2016) wurde mit einer Studie untersucht, ob verschiedene Positionen einer Datenbrille mit dezentraler Optik diese negativen Effekte unterbinden können. Dabei wurde das Prisma der in Abbildung 12 gezeigten Datenbrille an neun Positionen fixiert, wobei die Probanden nach jeder Kalibrierung die zugewiesene Aufgabe durchführen mussten. Der Proband musste neben der Durchführung der Aufgabe auf die eingeblendeten Informationen schnellstmöglich reagieren. Die



**Abbildung 12: Untersuchung verschiedener Positionen eines Optical See-Through HMD in (Chua et al., 2016)**

Ergebnisse zeigen, dass bei Szenarien, bei denen die eingeblendete Information eine hohe Wahrnehmbarkeit verlangen, die Positionen „Mitte-Zentral“ und „Oben-Zentral“ zu bevorzugen sind. In einem Montageprozess wäre dies der Fall, wenn kritische Arbeitsschritte durchzuführen sind. Im Gegensatz dazu zeigen die Resultate, dass bei Aufgaben, die lange dauern, bei denen die zentrale Sicht wichtig ist und die eingeblendeten Informationen nicht primär relevant sind, die Positionen „Mitte-Rechts“, „Oben-Mitte“ und „Oben-Rechts“ zu bevorzugen sind. Umgelegt auf den Montageprozess wären diese Positionen für die generellen Arbeitsschritte heranzuziehen.

#### 4.2.2 In-situ Projektion

Projektionen von Arbeitsanweisungen bieten dem Arbeiter, wie auch Datenbrillen, eine freihändige Durchführung der Arbeitsaufgabe. Der lateinische Begriff „in situ“ beschreibt, dass etwas in natürlicher, richtiger, originaler Lage vorhanden ist (Dudenredaktion, 2017). Mit einem über dem Arbeitsbereich montierten Projektor<sup>4</sup> oder Laser<sup>5</sup> wird in diesem AR-System der natürliche Montagebereich des Arbeiters mit grafischen Hilfestellungen visuell ergänzt. In wissenschaftlichen Projekten (z.B.: motionEAP, smARtAssembly) wurde dieser Ansatz aufgegriffen und in mehreren Ausprägungen umgesetzt. Die in Büttner et al. (2016) und Funk (2016, pp. 51-52) dargestellten Systeme verwenden einen Projektor und eine Kamera, die den Montage- und Kommissionierbereich des Arbeitsplatzes erfassen. Die Kamera überträgt das Bild der realen Umgebung an einen Rechner und der Projektor blendet die verarbeiteten Informationen direkt in den Handhabungsbereich des Arbeiters ein. Büttner et al. (2016) verwenden für die Projektionsfläche Schilder an den Kleinteilebehältern, die vom Projektor mit einem Rechteck angeleuchtet werden. Die Visualisierung der Montageinformationen wird an einer seitlich des Kommissionierregals montierten Projektionsfläche dargestellt. In beiden Systemen wird eine Kamera mit Tiefensensoren verwendet.

Diese Daten bieten, wie in Funk (2016, pp. 57-60) angeführt, Aufschlüsse über die Positionen der Hände des Arbeiters. Im System von Funk sind für den Kommissionier- und Montagebereich Referenzdaten hinterlegt, die als Basis für die Tiefeninformationen dienen. Entnimmt der Arbeiter für einen Arbeitsschritt den benötigten Bauteil aus dem entsprechend visuell markierten Behälter, erkennt das System die Bewegung und speichert diesen Prozess als erfolgt ab. Im Montagebereich dient als Referenz der Arbeitsbereich des Montagetisches. In diesem Bereich verändert sich die Distanz zur Kamera mit jedem Montageschritt. Komponenten werden an das Bauteil montiert und verändern so die Abmessungen und die Struktur des Bauteils. Die Tiefensensoren erfassen kontinuierlich den Montageprozess und gleichen die Informationen mit den Abmessungen des CAD-Modells des Bauteils ab. Wird nun in einem Montageschritt ein falsches Bauteil oder ein richtiges, aber nicht an der exakten Position montiert, erkennt das System den Unterschied zum CAD-Modell und projiziert an diesem Bereich des Bauteils ein färbiges Feld. Dieser Hinweis dient dem Arbeiter zur Fehlererkennung. Neben den Tiefensensoren verfügt die Kamera über einen gewöhnlichen Bildsensor. Dieser hilft bei der Unterstützung in der Verwendung von Werkzeugen, die während des Montageprozesses benötigt werden. Am Arbeitstisch sind in einem definierten Bereich alle Werkzeuge hinterlegt. Am Beginn des Montagevorgangs speichert das AR-System ein Bild dieses Bereiches und definiert es als Referenz. Benötigt der Arbeiter im Lauf des Montageprozesses ein Werkzeug, projiziert das System ein färbiges Feld auf den entsprechenden Bereich. Wird hingegen ein falsches Werkzeug entnommen, wird der Arbeiter ebenfalls visuell darauf aufmerksam gemacht.

---

<sup>4</sup> <http://www.lightguidesys.com/>

<sup>5</sup> <http://www.extend3d.de/>

Um dem Arbeiter eine stabile Assistenz zur Verfügung zu stellen, muss in der ersten Phase das System eingerichtet werden. Geschulte Mitarbeiter übersetzten den Arbeitsinhalt des Montageprozesses in einen Arbeitsablauf (eng. workflow) und passen die Parameter des Systems (z.B. Referenzlagen zur Tiefenerkennung) an den Arbeitsauftrag an. Für die Erstellung des Arbeitsablaufes kann der Mitarbeiter einerseits mit einer bereitgestellten Software diesen manuell erstellen. Andererseits bietet das System die Möglichkeit den Arbeitsablauf, durchgeführt von einem Experten, zu erfassen, aufzuzeichnen und für die spätere Assistenz zur Verfügung zu stellen (Funk, 2016, p. 67).

#### 4.2.3 Monitor

In der einschlägigen Literatur wird in vielen Fällen als Ausgabegerät eine Form eines HMDs verwendet. HMDs sind in einem AR-System die natürlichste Form der Nutzung von digital überlagerten Einblendungen. Für den Einsatz in einem industriellen Umfeld weisen diese Geräte zum aktuellen Zeitpunkt aber noch Einschränkungen auf. Viele am Markt verfügbare HMDs sind noch zu sperrig in der Ausführung, zu teuer in der Anschaffung und in Bezug auf die Akkuleistung nicht für einen Langzeiteinsatz am einem Arbeitsplatz geeignet. Als Alternativen zu HMDs werden neben Projektoren Smartphones oder Tablets auch Computermonitore verwendet. In Anlehnung an Radkowski et al. (2015) wird ein solches System in Re et al. (2016) dargestellt. Zur Umsetzung dieses System wird, wie auch bei der In-situ Projektion, eine Kamera über dem Arbeitsplatz installiert, die diesen erfasst. Die Bilddaten werden an einem Computer gesendet. Der Rechner verarbeitet diese Daten, registriert und trackt das erfasste Bauteil, überlagert dieses mit Arbeitsanweisungen und sendet das augmentierte Bild an den Monitor. Die verwendete Software für die Erstellung von Arbeitsanweisungen (*computer-assisted instruction* – CAI) wird um die erwähnten AR-typischen Funktionen erweitert. CAI Anwendungen sind bekannte, ausgereifte Technologien, die schon länger in der Industrie angewendet werden. In der Anwendung dieses Systems platziert der Arbeiter das Bauteil am Arbeitsplatz. Das System begleitet mit einer schrittweisen Arbeitsanweisung, ähnlich wie im Kapitel 4.1.1 Montageanleitung dargestellt, den Arbeiter durch den Prozess. Die Bildausgabe erfolgt über den Monitor, der seitlich am Arbeitsplatz montiert ist. Die Verwendung und Position des Monitors bietet freihändiges Arbeiten, für die Informationsaufnahme muss der Arbeiter seine Aufmerksamkeit aber von der Montagetätigkeit zum Monitor lenken. Im beschriebenen System wird für die Navigation des Menüs ein Sprachassistent verwendet. Ohne haptische Interaktion wird durch definierte Sprachbefehle beispielsweise der nächste oder vorherige Arbeitsschritt eingeblendet. Die Stabilität des Systems führen die Autoren einerseits auf die ausgereifte Software und Hardware, andererseits auf die Verwendungen des stabilen Trackingalgorithmus zurück. Im Unterschied zur Bildregistrierungstechnologie, die in Han & Zhao (2016) erwähnt wird, extrahiert diese natürliche Merkmalspunkte, die für das weitere Tracking verwendet werden. Die Arbeitsaufgabe der für die Evaluierung des Systems verwendeten Benutzerstudie war das Montieren von elektronischen Komponenten (Leuchtdioden, Kondensatoren, ...) auf einer Platine. Es konnte gezeigt werden, dass eine partielle Verdeckung des Bauteils (Platine) die Erkennung der restlichen Merkmale am Bauteile nicht einschränkt und die Stabilität des Systems nicht beeinflusst.

#### 4.2.4 Smartphone / Tablet

Die fortschreitende Weiterentwicklung von Smartphones und Tablets (sog. *wearables*) für den Endverbraucher machte die Verwendung dieser mobilen Endgeräte in Verbindung mit AR möglich. Die Art der Darstellung durch Video See-Through, in der die reale und die digitale Welt in einem Gerät verarbeitet wird, stellen diese Geräte zur Verfügung (Sanna et al., 2015).

Die für die adäquate Nutzung von AR notwendigen (Sensor-)Daten werden durch serienmäßige Verarbeitung von Kameras, mobilem Internet, Gyroskopen, Beschleunigungssensoren oder anderen bereitgestellt. Die verbesserte Bildverarbeitung und gestiegene Rechenleistung dieser Geräte machen mobile Anwendungen wie AR möglich. Wie auch bei anderen Ausgabegeräten muss die Oberfläche der Benutzerschnittstelle an das Gerät angepasst werden. Das von Nguyen et al. (2016) entwickelte AR-System MARIM (*Mobile Augmented Reality for Interactive Manuals*) setzt Layouts, Funktion und Symbole von bekannten mobilen Betriebssystemen ein.

Die eingebaute Kamera in einem mobilen Gerät wird für die Erfassung der realen Umwelt benutzt. Das Display wird verwendet, um die mit digitalen Informationen und Objekten angereicherte Darstellung zu visualisieren. Das augmentierte Bild wird in Abhängigkeit der räumlichen Distanz der Kamera des Mobilgerätes angezeigt, nicht aus der Perspektive des Anwenders. In Mohr et al. (2017) wurden verschiedene Systeme diskutiert, welche die Darstellung des Bildes am Display ermöglichen. Basierend auf optischen Bewegungsverfolgungen des Kopfes und Einschätzung der Bewegung des Benutzers wurde ein neues System, ausgelegt auf die geringe Rechenleistung von mobilen Endgeräten, entwickelt. Ausgangspunkt war die natürliche Wiedergabe des Gerätekamerabildes (eng. *device perspective rendering* – DPR). Die Position und das Sichtfeld der Kamera, die auf der Rückseite des Gerätes untergebracht ist, sind nicht dieselben wie die des Nutzers, wodurch eine für den Nutzer verzerrte Darstellung angezeigt wird. Diese Eigenschaft wird auch als „Problem der dualen Sicht“ bezeichnet und zeigt sich vor allem bei AR-Anwendungen, wo digitale Inhalte reale Objekte überlagern. Ein Ansatz, diese ungewollte Eigenschaft zu umgehen, ist es, dem Gerät die Position und Ausrichtung des Kopfes des Anwenders mittels einer eingebauten Frontkamera zu übermitteln. Dabei wird die Darstellung im Display auf diese Position hin ausgerichtet. Die nach dem Nutzer ausgerichtete Wiedergabe (eng. *user perspective rendering* – UPR) ist nur theoretisch in mobilen Endgeräten anwendbar, da das permanente Tracking des Kopfes eine hohe Rechenleistung benötigt. Das entwickelte System mit einer adaptierten, nutzerorientierten Wiedergabe (eng. *adaptive user perspective rendering* – AAUPR) basiert auf dem UPR System und ist in der Lage, auf mobilen Endgeräten mit geringer Rechenleistung zu operieren. Mit dem Einsatz von AAUPR konnten die Autoren zeigen, dass mobile Endgeräte in der Lage sind, AR-Anwendungen im Display ausgerichtet nach dem Kopf des Anwenders anzuzeigen.

### 4.3 Chancen

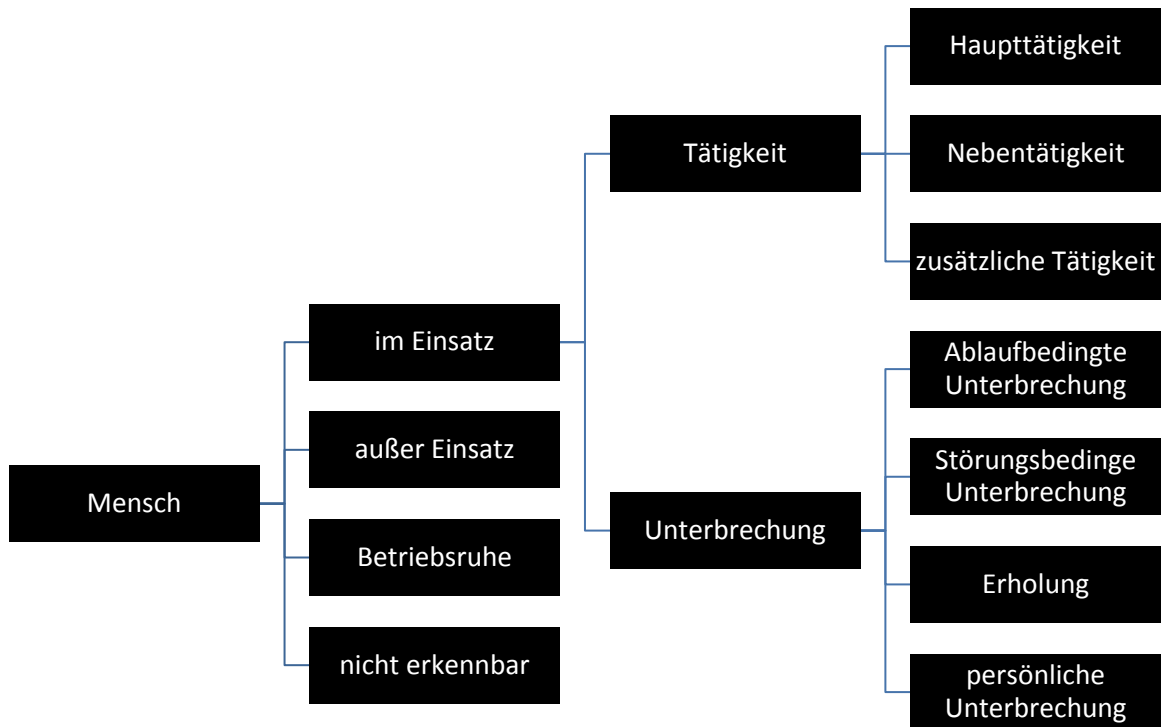
Die vorgefertigte Informationsbereitstellung von Arbeitsanweisungen oder Hinweisen kann den Mitarbeiter in seiner Umwelt unterstützen. Wie in den beispielhaften Prozessen, die im Abschnitt 4.1 beschrieben wurden, ermöglichen AR-Assistenzsysteme den Mitarbeiter sich auf seine wertschöpfenden Tätigkeiten zu fokussieren. Unproduktive Informationssuche und langes Überlegen entfallen. Gleichzeitig bietet AR die Chance, das richtige Ausführen der Tätigkeit bereits beim ersten Mal zu ermöglichen, was zu einer Verkürzung der Anlernzeit führt. Dieser Zugewinn an Produktivität resultiert auch aus der abgeleiteten Verkürzung der Prozesszeit. Verbesserte Einarbeitung durch die Bereitstellung von standardisierten, auf den Prozess abgestimmte Arbeitsanweisungen ermöglichen die Fehlervermeidung, die in einer gesteigerten Prozess- und Produktqualität enden. In Prozessanweisungen integrierte Sicherheitshinweise warnen den Arbeiter vor schädlichen Situationen und steigern so die Sicherheit am Arbeitsplatz (Jost et al., 2017, pp. 9-10).

Die möglichen Chancen durch AR-Systeme in der Senkung der Prozesszeit und Montagefehler oder der Beibehaltung bzw. Steigerung der Sicherheit am Arbeitsplatz werden nachfolgend dargelegt. In den Diskussionen werden die Ergebnisse der AR-Systeme immer mit einer Arbeitsanweisung auf Papier verglichen. Die einzelnen Resultate werden in diesem Teil der Arbeit nicht kommentiert, fließen aber in das Kapitel 5 Diskussion ein.

#### 4.3.1 Prozesszeit

Der Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung (kurz REFA) bietet Methoden und Werkzeuge für die Erfassung und Aufbereitung von Arbeitszeiten. Für die grobe Einteilung dieser Zeitarten wurden die Begriffe *Istzeit* und *Sollzeit* definiert. Die Istzeit ist demnach die vom Menschen benötigte Zeit für die Ausführung von Arbeitsschritten. Diese Zeiten werden durch Zeitmessung am Arbeitsplatz oder durch eine Selbstaufschreibung des Mitarbeiters erhoben. Sollzeiten werden von Istzeiten abgeleitet und um Einflussfaktoren, die zum Zeitpunkt der Erhebung gegolten haben, ergänzt. Verwendet werde diese als Vorgabezeiten für zukünftige Arbeitsaufgaben. Für eine detailliertere Darstellung der Zeitbausteine mit Bezug auf den Arbeiter hat der Verband REFA eine Gliederung (Abbildung 13) entworfen. Die in Zuge einer Zeiterhebung gewonnen Zeitdaten können nach diesem Schema eingeteilt werden, um eine genauere Betrachtung der wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten zu erlangen (Lotter & Wiendahl, 2012, pp. 82-85).





**Abbildung 13: Gliederung der Ablaufarten; Zeitbausteine für die Tätigkeit des Menschen nach (REFA, 2001)**

Die Summe der Zeitbausteine Haupttätigkeit und Nebentätigkeit wird in der folgenden Betrachtung Prozesszeit genannt. Untersucht werden mehrere wissenschaftliche Publikationen, in denen Ergebnisse über die Prozesszeit der entwickelten AR-Assistenzsysteme angeführt sind. Eine Aussage über die durchschnittliche Senkung der Prozesszeit kann nicht getroffen werden. Die Hauptargumente dafür sind die unterschiedlichen Arbeitsaufgaben (Funk et al., 2015) und die verwendeten Ausgabegeräte. Einige Publikationen verwenden ein Arbeitsumfeld mit industriellen Bauteilen, andere abstrahieren die Montageaufgabe durch LEGO oder DUPLO Bausteine (Radkowski et al., 2015). Ausgabegeräte können, bedingt durch Eigenschaften wie Positionierung oder Einblendung der Information inner- oder außerhalb des Sichtfeldes nur schwer verglichen werden.

Einen Ansatz für die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Montageaufgaben führt Funk et al. (2015) an. Das *General Assembly Task Model* (kurz GATM) beschreibt, in Anlehnung an die von Radkowski genannten manuellen Operationen (3.2 Montageprozess), die Haupt- und Nebentätigkeiten des Montageprozesses. Die gesamte Montagezeit  $t_{total}$  ist demnach die Summe aus Bauteil lokalisieren  $t_{locate\_part}$ , Bauteil greifen  $t_{pick}$ , Bauteil hinführen  $t_{locate\_pos}$ , Bauteil montieren  $t_{assemble}$  mal der Anzahl an Bauteilen. Zusammengefasst ergibt das die Formel:

$$t_{total} = n * (t_{locate\_part} + t_{pick} + t_{locate\_pos} + t_{assemble})$$

**Formel 1: Berechnung der Prozesszeit nach (Funk et al., 2015)**

In diesem Abschnitt wird an Hand von 6 Beispielen die grundsätzliche Auswirkung von AR-Assistenzsystemen auf die Prozesszeit betrachtet. Verwendete Ausgabegeräte, Arbeitsumfeld und Arbeitsaufgabe werden angeführt. Angaben über die Auswirkung auf die Prozesszeit basieren in den Publikationen auf der Verwendung einer Arbeitsanweisung in Papierform. Diese Art der Instruktionen ist in der industriellen Montage am häufigsten vorzufinden. Eine Publikation wird angeführt, in der kein Vergleich mit anderen Arten thematisiert wurde, der Lerneffekt durch das AR-System, der in einer möglichen Reduktion der Prozesszeit resultiert, wird darin behandelt.

Anhand der verwendeten Bauteile werden die Publikationen getrennt angeführt. 4 Publikationen mit industriellen Bauteilen, 2 Publikationen mit nicht-industriellen Bauteilen. Sinnbildlich kann die Montage von LEGO Bausteinen nicht mit der von Motorkomponenten verglichen werden. LEGO Bausteine haben den Vorteil, dass der Umgang damit vertraut ist, bei industriellen Bauteilen ist das von vornherein nicht der Fall (Radkowski et al., 2015). Mit diesem Hintergrund hilft die kategorisierte Darstellung, die Auswirkung auf die Prozesszeit besser zu beschreiben.

### **Industriell:**

Der Arbeitsauftrag der Benutzerstudie in Re et al. (2016) beinhaltet die Bestückung einer elektronischen Platine mit Bauteilen. Verglichen wurde ein AR-System mit einem Monitor mit Arbeitsanweisungen auf Papier. Die Probanden mussten Platinen aus Behältern entnehmen und laut Instruktion mit elektronischen Komponenten bestücken. Dieser Prozess wurde fünfmal wiederholt. In Summe musste jeder Proband 34 Arbeitsschritte durchführen. Die Kommissioniertätigkeit für das Entnehmen einer Platine aus einem Behälter wurde in dieser Studie eigens erfasst. Diese Tätigkeit repräsentiert die Zeitkomponente Nebentätigkeit, die Bestückung der Platine die Haupttätigkeit. Die Ergebnisse für die Nebentätigkeit zeigen, dass die Probanden mit dem AR-System signifikant schneller waren als mit der Papieranweisung. Auch in der Montagetätigkeit, welche die Bestückung der Platine bezeichnet, waren die Probanden mit dem AR-System signifikant schneller als mit der Alternative. In Summe wiesen die Probanden mit der Unterstützung des AR-Systems eine kürzere Prozesszeit auf als mit den Arbeitsanweisungen auf Papier.

Inhalt der Benutzerstudie in Sam Zheng et al. (2015) waren verschiedenste Montage- und Wartungsarbeiten an einem Auto. Die verwendeten Ausgabegeräte des AR-Systems waren eine Datenbrille und ein Tablet, welche mit Anweisungen auf Papier verglichen wurden. Obwohl die Autoren im Vorfeld dachten, dass durch das freihändige Arbeiten und der schnelleren Informationsaufnahme die Datenbrille im Vorteil sein wird, konnte diese Annahme nicht bestätigt werden. Vielmehr zeigte sich, dass die Probanden die Informationen der Montageanweisungen am Tablet und Papier sehr gut in das Arbeitsszenario übertragen konnten. Bei bestimmten Aufgaben wurde die Position des Tablets oder des Papiers geändert, was für die Durchführung der Aufgabe von Vorteil war. Schnelle Informationsaufnahme war dadurch möglich, da der Kopf nur für einen Moment auf die Seite gedreht wurde.

In der von Radkowski et al. (2015) durchgeführten Benutzerstudie, wurde die Montage eines Kolbenmotors, wobei 30 einzelne Bauteile montiert werden mussten, durchgeführt. Verglichen wurden zwei AR-Assistenzsysteme mit Anweisungen auf Papier. Die beiden AR-Systeme (CAR und AAR) unterschieden sich in der Art der Darstellung der Informationen und wurden im Kapitel 4.1.1 Montageanleitung beschrieben. Die Autoren konnten eine kürzere Prozesszeit unter Verwendung von CAR, gefolgt von der Papieranweisung und AAR feststellen. Signifikante Unterschiede wurden in keinem der paarweisen Vergleiche festgestellt. Die Auswertung der Fragebögen zeigte, dass bei den Probanden ein hoher Lerneffekt durch die Verwendung der AR-Systeme erzielt wurde. Weiterführend könnte dies in einer Reduktion der Prozesszeit enden.

In der über mehrere Tage angesetzten Benutzerstudie von Funk et al. (2017) mussten Arbeiter eines Automobilherstellers an einer nachgebildeten Montagelinie einen Bauteil für einen Automotor (Starter) montieren. In dieser Studie wurden entgegen anderen, keine unterschiedlichen Systeme von Arbeitsanweisungen verglichen. Die Auswirkung des eingesetzten AR-Systems in Verbindung mit einer In-situ Projektion wurde erhoben. Dabei wurden die Probanden (Fachkräfte und angelernte Arbeiter) im ersten Abschnitt mit der In-situ Projektion durch den Prozess begleitet, im zweiten Abschnitt wurde ohne Unterstützung und Anweisungen weitergearbeitet. Ein Lerneffekt, der sich in einer kürzeren Prozesszeit abbildet, konnte bei den Fachkräften nicht erhoben werden. Vielmehr zeigten die Messungen, dass während des ersten Abschnittes die Facharbeiter signifikant langsamer waren als im zweiten Abschnitt. Nach Aussagen der Arbeiter wurden diese von dem Assistenzsystem vielfach abgelenkt und konnten so den bekannten Prozess nicht wie gewohnt ausüben. Ähnliche Ergebnisse in Bezug auf die Prozesszeit fanden die Autoren bei den angelernten Arbeitern, die den Prozess der Montage des Bauteils nicht kannten. Im ersten Abschnitt wurden diese Probandengruppe ebenfalls durch die In-situ Projektion begleitet. Dabei stellte sich eine ähnliche Prozesszeit wie bei den Fachkräften ein. Im zweiten Abschnitt konnte eine signifikant kürzere Prozesszeit gemessen werden, welche durch den positiven Lerneffekt begründet wird. Dies wurde auch von den Probanden im Nachhinein angegeben. Die Begleitung durch die Assistenz empfanden diese als hilfreich, wodurch sie nach der Lernphase auf das Facharbeiterlevel der Prozesszeit anschließen konnten.

### **Nicht-industriell:**

Der Zusammenbau verschiedener Figuren aus bis zu 19 LEGO Bausteinen war der Arbeitsinhalt der von Büttner et al. (2016) durchgeführten Benutzerstudie. Zwei AR-Systeme (Datenbrille und In-situ Projektion) wurden mit Anweisungen auf Papier verglichen. Die kürzeste Prozesszeit wurde bei der Verwendung der In-situ Projektion gemessen. Eine signifikante Differenz zur Papieranweisung konnte aber nicht erhoben werden. Das AR-System in Verbindung mit der Datenbrille wies eine signifikant längere Prozesszeit im Vergleich zu den anderen auf.

Die Probanden mussten in der Benutzerstudie von Sanna et al. (2015) eine Festplatte aus einem Laptop ausbauen. Ein AR-System in Verbindung mit einem Tablet wurde mit einer Arbeitsanweisung auf Papier in zwei Durchgängen verglichen. Das Endresultat war eine kürzere Prozesszeit mit AR im Vergleich zur Papieranweisung, eine signifikante Differenz konnte jedoch nicht festgestellt werden. Die Benutzerstudie zeigte jedoch eine deutliche Verbesserung der Prozesszeit unter Anwendung des AR-System im Vergleich zum ersten Durchgang. Die Probanden lernten im ersten Durchlauf den Umgang mit dem AR-System kennen und konnte diese Erfahrung im zweiten erfolgreich einsetzen. Eine detailliertere Auswertung zeigte, dass Probanden mit geringen Vorkenntnissen den größten Vorteil mit einem AR-System in Bezug auf die Prozesszeit aufweisen.

#### 4.3.2 Montagefehler

Erste Ansätze in wissenschaftlichen Publikationen zeigen, dass neben einer Reduktion der Prozesszeit auch die Anzahl der Montagefehler durch eine AR-Assistenzsystem gesenkt werden kann. Das AR-System bietet durch die gezielte Begleitung durch den Prozess die Chance, Fehler während der Montage von Bauteilen zu vermeiden. Entstehen trotzdem Fehler in der Montage, dienen spezielle Einblendungen im AR-System dem Arbeiter, diesen zu erkennen. Um ein generelles Verständnis von einem Fehler und die unterschiedlichen Gründe dafür zu erhalten, helfen die folgenden Zeilen.

Ein Fehler beschreibt in der allgemeinen Auslegung alle geplanten Sequenzen an physischen und mentalen Aktivitäten, die das beabsichtigte Ziel verfehlen. Diese Abweichungen haben einen realen Fehler oder einen Verstoß zur Folge. Ein **realer Fehler** ist das Ergebnis einer unfreiwilligen Handlung, welche die Ausführung einer Aufgabe beeinträchtigt. Ein Grund dafür kann einerseits eine fehlerhafte Ausführung der geplanten Tätigkeit sein, welche auf mangelnde Erfahrung zurückzuführen ist. Andererseits kann eine ungenügende Planung der Handlung eine weitere Ursache sein. Eine beabsichtigte Nichteinhaltung von Regeln, Prozessen oder Normen führt zu einem **Verstoß**. Gründe für einen Verstoß können sein, dass eine persönliche Routine dazu führt, eine Situation ausgelöst von Einflüssen der Arbeitsumgebung oder eine vorsätzliche Missachtung der Vorgaben (Dalle Mura et al., 2016). Der Einsatz eines AR-Assistenzsystems zielt darauf ab, diese vielschichtigen Ursachen für das Entstehen eines Montagefehlers zu unterbinden. Diesbezüglich werden Publikationen im Folgenden untersucht, in denen eine Auswirkung auf Montagefehler dokumentiert ist. Wie im Kapitel 4.3.1 Prozesszeit erwähnt, wird aus selbigen Gründen keine Verallgemeinerung der Erkenntnisse angeführt. Die Auflistung beinhaltet fast die gleiche Auswahl an Publikationen. Die Ergebnisse von Sam Zheng et al. (2015) ließen keine Rückschlüsse auf die Montagefehler zu, da in der gesamten Studie nur ein Proband einen Fehler machte. Die restlichen ermöglichen eine detailliertere Darstellung der präsentierten AR-Systeme. Ebenfalls werden die Kategorien „industriell“ und „nicht-industriell“ hier angewendet. Die folgenden Ergebnisse beziehen sich immer auf das Entstehen eines realen Fehlers. Die Entstehung eines Montagefehlers durch eine vorsätzliche Missachtung des Arbeiters wurde in den Publikationen nicht erhoben.

**Industriell:**

In der Studie von Re et al. (2016) wurde die Montage eines elektronischen Bauteils durchgeführt. Während der Bestückung einer Platine wurden die Probanden einerseits mit einem AR-System andererseits mit Arbeitsanweisungen auf Papier begleitet. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Probanden mit beiden Systemen im Durchschnitt weniger als einen Fehler pro Person machten. Die paarweise Untersuchung der Systeme zeigt, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Systemen vorhanden ist.

Der Vergleich von zwei AR-Systemen (CAR und AAR) mit Montageanweisungen auf Papier zeigte unterschiedliche Ergebnisse in der Benutzerstudie von Radkowski et al. (2015). Einerseits wurde gezeigt, dass Probanden mit CAR in Summe eine ähnliche Anzahl an Montagefehler machten wie mit der Papieranweisung. Andererseits war die Anzahl der gemachten Fehler mit AAR in Vergleich zu CAR und Papieranweisung signifikant höher. Das montieren eines falschen Bauteils oder die Verwendung eines falschen Werkzeuges wurde in allen Szenarien gleich häufig aufgezeichnet. Die falsche Positionierung eines Bauteils oder die inkorrekte Handhabung eines Werkzeuges wurde ebenfalls dokumentiert. Hierbei zeigen die Ergebnisse, dass die daraus entstandenen Fehler bei der Verwendung von AAR signifikant höher waren als bei CAR und höher als bei der Verwendung der Papieranweisung. Die Leistung der Probanden war somit abhängig vom verwendeten AR-System. In der Ausführung konnte das AR-System mit CAR ähnliche niedrige Daten vorweisen wie die Papieranweisung.

Die Auswirkungen auf den Lerneffekt eines AR-Systems in Verbindung mit einer In-Situ Projektion wurde in der Studie von Funk et al. (2017) erhoben. Die fertig montierten Bauteile (Starter eines Motors) wurden am Ende der Montagelinie an eine Prüfstation übergeben. Die Durchführung der Qualitätsprüfung erfolgte durch eine Fachkraft, die von der Partnerfirma (Automobilhersteller) für die Zeit der Studie zur Verfügung gestellt wurde. Die Fachkräfte, die die erste Probandengruppe bildeten, machten während der gesamten Dauer der Studie keine Montagefehler. Eine Auswirkung des AR-Systems konnte dadurch nicht abgebildet werden. Bei den anzulernenden Arbeitern wurden während der Unterstützung durch die In-situ Projektion 5 Fehler gefunden. Im zweiten Durchgang, in dem keine Hilfe zur Verfügung war, konnte ein positiver Lerneffekt realisiert werden. Die Probanden konnten alle Bauteile fehlerfrei montieren.

**Nicht-industriell:**

Der Arbeitsinhalt der Studie von Büttner et al. (2016) war der Zusammenbau verschiedener Figuren aus LEGO Bausteinen. Die Auswertung der Studie zeigte ähnliche Leistungen der Probanden bei den erhobenen Montagefehlern wie schon bei der Prozesszeit. Die Probanden verursachten mit dem

AR-System in Verbindung mit einer Datenbrille signifikant mehr Fehler als im Vergleich mit der Papieranweisung. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem AR-System mit der In-situ Projektion und der Papieranweisung konnte aber nicht erhoben werden.

In der Benutzerstudie von Sanna et al. (2015) wurden ein AR-Assistenzsystem mit einem Tablet und eine Arbeitsanweisung auf Papier verglichen. Der Arbeitsinhalt war der Ausbau einer Festplatte aus einem Laptop. Das Ergebnis des ersten Durchgangs zeigte eine geringere Anzahl von Montagefehlern mit dem AR-System. Im zweiten Durchgang machten die Probanden in beiden Ausführungen weniger Fehler, was auf die Auswirkungen des Lerneffektes zurückzuführen ist. Der Unterschied zwischen dem AR-System und der Papieranweisung war aber im zweiten Durchgang geringer als im ersten. Die Probanden machten in ersten Durchgang mit dem AR-System um 70% weniger Fehler, im zweiten um ca. 60%. Den häufigsten Montagefehler, den die Probanden im zweiten Durchgang machten, war eine falsche Handlung ausführen, gefolgt von falschem Werkzeug und falschem Arbeitsschritt.

#### **4.3.3 Sicherheit am Arbeitsplatz**

Neben Auswirkungen auf die Prozesszeit und die Anzahl an Montagefehlern kann die Sicherheit des Mitarbeiters am Arbeitsplatz durch AR-Systeme unterstützt werden. Dabei werden Sicherheitshinweise in das Sichtfeld des Arbeiters eingeblendet, um gefährliche Situationen während der Arbeit zu vermeiden. Die Effektivität und Effizienz von Sicherheitshinweisen in AR-Systemen werden in der einschlägigen Literatur diskutiert. Ergebnisse zu den Auswirkungen dieser können aber in der jungen Phase des Forschungsbereiches nur vereinzelt getroffen werden. Um diesen Zusammenhang und die Gründe für Unfälle am Arbeitsplatz besser zu verstehen, wurde in Tatić & Tešić (2017) eine Untersuchung angestellt. Zum einen wurde ausgemacht, dass jüngere und weniger erfahrene Mitarbeiter die Sicherheitsvorschriften nicht sorgfältig genug lesen oder die Sicherheitshinweise nicht konsequent durchführen. Gut ausgebildete Mitarbeiter hingegen fühlen sich in der Arbeitsumwelt zu selbstsicher, stützen sich auf ihre Erfahrung und führen dadurch die Sicherheitsanweisungen nicht korrekt durch. Bei beiden Gruppen konnte festgestellt werden, dass die Monotonie zu einer Abnahme der Konzentration führt. In solchen Situationen steigt die Möglichkeit, dass der Arbeiter in einen Arbeitsunfall verwickelt wird.

Erste Ergebnisse und Handlungsempfehlungen für zukünftige AR-Systeme mit Sicherheitshinweisen werden in Sunwook et al. (2016) erwähnt. Dabei wurde die Einhaltung von Sicherheitsinstruktionen durch die Einblendung von Hinweisen in einer Datenbrille verbessert. Abgeleitet davon kann eine solche Information den Arbeiter unterstützen, eine sichere Handhabung des zu bearbeitenden Bauteils durchzuführen. Diese Aussage konnte auch in einer durchgeführten Umfrage mit 40 Teilnehmern unterstrichen werden. Dabei erwähnten die Befragten (Mitarbeiter internationaler Unternehmen), dass der sichere Umgang in Arbeitsprozessen verbessert werden kann. Um im Bereich der Arbeitssicherheit durch den Einsatz von AR weitere Verbesserungen zu erzielen, notierten die Autoren Handlungsempfehlungen basierend auf den Aussagen der Befragten.

Die Interaktionen mit dem AR-System müssen sicherstellen, dass der Arbeiter nicht abgelenkt, überfordert oder körperlich beeinflusst wird. Stimmen-, gesten- oder berührungsbasierende Interaktionen müssen auf ihre Tauglichkeit dahingegen evaluiert werden, um die Sicherheit am Arbeitsplatz zu gewährleisten. Des Weiteren stellt die Art der Einblendung von Sicherheitshinweisen eine Herausforderung dar. Diese Informationen müssen kontextabhängig die Aufmerksamkeit des Nutzers auf sich ziehen, ohne dabei unnötig von der Hauptaufgabe abzulenken. Abhängig vom aktuellen Arbeitsumfeld und den Charakteristiken des Arbeiters müssen die Hinweise gut lesbar eingeblendet werden. Ähnliche Überlegungen, jedoch mit Bezug auf einen anderen Prozess, wurden in Radkowski et al. (2015) diskutiert. Als Beispiel für die Effektivität der Wahrnehmung konnte gezeigt werden, dass ein rotes Blinklicht, als Indikator für einen Sicherheitshinweis, heranzuziehen ist. Positive Ergebnisse konnte auch das von Tatić & Tešić eingesetzte AR-System aufweisen. Die präsentierte Anwendung bietet neben einer schrittweisen Prozessbeschreibung alle notwendigen Sicherheitshinweise im Blickfeld des Anwenders. Die in einer Datenbank gehaltenen Informationen werden, abhängig vom Arbeitsschritt, automatisch angezeigt. Zur Sicherstellung der Durchführung und Einhaltung der Hinweise muss der Anwender diese im AR-System bestätigen, bevor dieser die nächste Arbeitsanweisung eingeblendet bekommt. In der Testphase des AR-Systems konnte durch den Einsatz von Sicherheitshinweisen im AR-System festgestellt werden, dass sich keine Unfälle ereigneten. Die Autoren führen aber auch an, dass für eine aussagekräftige Evaluierung des Systems die Testphase zu kurz war.

#### 4.4 Risiken

In der Nutzung von AR-Assistenzsystemen werden Risiken im Umfeld des Anwenders sichtbar. Die Förderung der Akzeptanz für die neue Technologie ist ein wichtiger Teil für eine erfolgreiche Implementierung im betrieblichen Umfeld. In der einschlägigen Literatur werden im Zuge von Benutzerstudien die Probanden nach der Nutzung der entwickelten AR-Systeme daraufhin befragt. Ähnliches gilt für die kognitive Belastung des Arbeiters während der Begleitung durch ein AR-Assistenzsystem. Im Zuge der Benutzerstudien werden für die Erhebung die Probanden vor und nach der Nutzung mit einem standardisierten Test befragt.

In beiden Abschnitten werden die Ergebnisse kategorisiert nach den verwendeten Ausgabegeräten angeführt. Je nach verwendetem Gerät sind unterschiedliche Resultate sichtbar, unabhängig von Arbeitsinhalt bzw. der Art des Testobjektes.

Als letztes potenzielles Risiko wird die Überwachung der Mitarbeiter durch ein AR-System beleuchtet. In der wissenschaftlichen Literatur wird die Aufarbeitung dieses Themas im Bereich der Arbeitsassistenten nur selten angeführt. Daher wurden hypothetische Szenarien aus den bereits präsentierten Anwendungsbereichen abgeleitet, in welchen sich das Risiko der Überwachung einstellen könnte. Abgerundet wird dieses Thema mit der aktuellen Gesetzeslage in Bezug auf den Datenschutz.

#### 4.4.1 Akzeptanz der Technologie

AR-Assistenzsysteme finden mehr und mehr den Weg von der wissenschaftlichen Entwicklung in die Arbeitswelt. Dabei ist bei der Auswahl und Einführung dieser neuen Technologie unter anderem darauf zu achten, dass die Mitarbeiter diese annehmen. Die intrinsische Motivation, sich unterstützen zu lassen, ist neben der Akzeptanz ein entscheidender Erfolgsfaktor, um das Risiko der Ablehnung zu minimieren und eine erfolgreiche Umsetzung zu erzielen. Im Vorfeld sollten daher wichtige Aspekte, ausgenommen der kognitiven Belastung, beachtet werden. Dieses Thema wird gesondert im nächsten Kapitel behandelt. Die Einflussnahme auf das System, das Verstehen der Eigenschaften des Systems und die Rücksichtnahme auf den Anwender sind bei der Auswahl und Einführung eines AR-Assistenzsystems zu berücksichtigen. Zur leichteren Verarbeitung der Information ist anzumerken, dass diese insbesondere dann begünstigt ist, wenn sie die richtigen Informationen zur richtigen Zeit an der richtigen Stelle verfügbar macht (Unrau et al., 2016). AR-Systeme, wie von Wang et al. (2016) oder Funk (2016) entwickelt, bilden den Aspekt der kontextsensitiven Informationsdarstellung ab.

Die Kenntnis darüber, ob die erwähnten Aspekte berücksichtigt und das AR-System von den Mitarbeitern akzeptiert wurde, wurde in mehreren wissenschaftlichen Publikationen durch Fragebögen qualitativ erhoben. Die Probanden wurden zu den Eigenschaften **Hilfsbereitschaft**, **Bedienkomfort** und **Sympathie** des AR-Systems befragt. Die Auswertungen der bereits im Kapitel 4.3.1 Prozesszeit verwendeten Publikationen werden im Folgenden abgebildet. Kategorisiert nach den verwendeten Ausgabegeräten (Kapitel 4.2), werden die Ergebnisse über die befragten Eigenschaften dargestellt. Allfällige zusätzliche Aussagen der Probanden über das System werden in jeder Kategorie angeführt. Alle Ergebnisse sagen aus, ob das verwendete Assistenzsystem im Vergleich zu einer Arbeitsanweisung auf Papier bevorzugt wurde.

Die **Datenbrille** in Verbindung mit einem AR-Assistenzsystem wurde in 2 Publikationen verwendet. Die in der von Büttner et al. (2016) erhobenen Ergebnisse der Benutzerstudie zeigen eine negative Bewertung für die Datenbrille. Das Ausgabegerät wurde in allen drei Eigenschaften schlechter bewertet. Die Werte bei Hilfsbereitschaft und Bedienkomfort waren signifikant schlechter. Im Unterschied dazu wurde die Datenbrille in Sam Zheng et al. (2015) vom Großteil der Probanden der Vorzug gegeben. Diese führten zusätzlich in der Befragung an, dass das Gerät das freihändige Arbeiten erlaubt. Es sei leicht, komfortabel, nicht hinderlich oder störend.

Die **In-situ Projektion** in Verbindung mit einem AR-System wurde in 2 Publikationen verwendet. Die von Büttner et al. (2016) erhobenen Resultate zeigen einen Vorteil für das AR-System. In-situ wurde in allen drei Eigenschaften besser bewertet. Das Ergebnis der Sympathie zeigt jedoch als einzige einen signifikanten Unterschied. Ein ähnliches System wurde zu einem späteren Zeitpunkt einer Langzeitstudie unterzogen. Die qualitativen Ergebnisse der Probandenbefragung wurden von Funk et al. (2017) veröffentlicht. Dabei wurde erwähnt, dass die Arbeiter eine gute Unterstützung durch den Prozess erhalten haben. Vielmehr wurde die schrittweise Abfolge der idealen Montage positiv



bewertet. Als negativ wurde die Interaktion mit dem System empfunden, welche sich als doppelter Arbeitsaufwand anfühlte. Grundsätzlich waren die Probanden überzeugt und würden mit dem AR-System arbeiten wollen, obgleich die Möglichkeit, neue Fähigkeiten durch das System zu erlangen, gegeben sein sollte.

Ein **Monitor** als Ausgabegerät eines AR-System wurde in 2 Publikationen verwendet. In Bezug auf den Bedienkomfort bewerteten die Testpersonen das AR-System besser. Ein signifikanter Unterschied wurde nicht festgestellt. Das gleiche gilt für die Eigenschaft Sympathie. Die Hilfsbereitschaft wurde in Re et al. (2016) nicht gefragt. Zusätzlich geben die Ergebnisse von Radkowski et al. (2015) Aufschluss über den Lerneffekt. Dabei wurden die Probanden befragt, wie hoch das Selbstvertrauen ist, die gleiche Aufgabe zu wiederholen bzw. das erworbene Wissen auf eine ähnliche Aufgabe zu übertragen. In beiden Fällen wurde das AR-System besser bewertet.

In 2 Publikationen wurde ein AR-System in Verbindung mit einem **Tablet** verwendet. In beiden Publikationen erscheinen keine Resultate in Bezug auf die Eigenschaften Hilfsbereitschaft, Bedienkomfort und Sympathie. In Funk et al. (2016) gaben die Probanden an, dass die Verwendung eines Tablets den Vorteil hat, nicht unbeabsichtigt in der Arbeitsanweisung weiter zu blättern. Nachteilig wurde angeführt, dass die Verwendung das beidhändige Arbeiten nicht ermöglicht. In der von Sanna et al. (2015) durchgeführten Studie gaben die Testpersonen an, das Tablet zu favorisieren.

#### 4.4.2 Kognitive Belastung

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Akzeptanz der Technologie bei den Mitarbeitern ist die einfache kognitive Verarbeitung der dargestellten Informationen. Die Ausprägung der Belastung für den Mitarbeiter hängt dabei von der Konzeption des AR-Systems ab. Diese sollte sicherstellen, dass die benötigten Informationen kontextsensitiv am richtigen Ort zur Verfügung stehen (Unrau et al., 2016). Die Beurteilung der Belastung während der Arbeit wird durch den standardisierten NASA-TLX Test (Hart & Staveland, 1988) durchgeführt. Wissenschaftliche Publikationen, die die kognitive Belastung durch die Nutzung eines AR-Assistenzsystem messen, verwenden diese Art der Befragung. Die Probanden müssen dabei nach der Arbeitsaufgabe ihre Leistung in sechs Ausprägungen auf einer Skala von null bis 100 bewerten. Der gewichtete Mittelwert dieser Angaben ergibt die Ausprägung der Arbeitsbelastung. Je kleiner dieser Wert, desto geringer ist die Belastung. An dieser Stelle wird für eine genauere Betrachtung an den Anhang 7.3 verwiesen. Dort ist die deutsche Ausführung des NASA TLX Tests angehängt.

Im Vergleich zur häufig verwendeten Arbeitsanweisung auf Papier wurde in mehreren Publikationen die kognitive Belastung bei der Verwendung eines AR-Systems bei der Montage von Bauteilen gemessen. Stellvertretend werden manche der bereits im Kapitel 4.3.1 Prozesszeit erwähnten Veröffentlichungen angeführt. Die präsentierten Ergebnisse zeigen, ob ein AR-System eine höhere kognitive Belastung bei den Probanden ausgelöst hat. Die Kategorisierung nach den verwendeten Ausgabegeräten wird hier ebenfalls angewendet.

Die Erhebung mit einer **Datenbrille** in Verbindung mit einem AR-Assistenzsystem wurde in der Publikationen von Funk et al. (2016) verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Datenbrille eine höhere kognitive Belastung bei den Probanden ausgelöst hat. Ein signifikanter Unterschied wurde nicht festgestellt.

Die **In-situ Projektion** in Verbindung mit einem AR-System wurde in 2 Publikationen verwendet. Die Ergebnisse von Funk et al. (2016) zeigen, dass die In-situ Projektion eine geringe Belastung auf die Probanden ausgelöst hat. Ein signifikanter Unterschied wurde nicht festgestellt. Das selbe System wurde in einer später durchgeführten Studie an Hand von zwei Probandengruppen ein weiteres Mal bewertet. Die Ergebnisse in Funk et al. (2017) zeigen dabei den Vergleich während der Arbeit mit und ohne das System. Die Ergebnisse beider Gruppen (Fachkräfte und angelernte Arbeiter) zeigen eine höhere Belastung durch den Einsatz des AR-Systems. Ein signifikanter Unterschied wurde in keiner der beiden Gruppen erhoben.

Ein **Monitor** als Ausgabegerät eines AR-System wurde in der Publikation von Re et al. (2016) verwendet. Dabei zeigen die Ergebnisse des NASA-TLX Tests, dass das verwendete AR-System in beiden durchgeführten Benutzerstudien geringere durchschnittliche Werte aufweist. Ein signifikanter Unterschied konnte nur in einer Studie nachgewiesen werden.

In der Publikation von Funk et al. (2016) wurde ein AR-System in Verbindung mit einem **Tablet** verwendet. Die Ergebnisse des Tests zeigen eine geringere kognitive Belastung durch das System. Ein signifikanter Unterschied wurde nicht erhoben.

#### 4.4.3 Überwachung der Mitarbeiter

Diese Thematik wird in wissenschaftlichen Publikationen grundsätzlich aufgegriffen, im Kontext des industriellen Umfeldes aber selten beleuchtet. Aus der Natur der Technologie ergeben sich mehrere Risiken, die untersucht werden sollen. Um die Nutzung von AR zu ermöglichen, überwachen Sensoren ständig das Umfeld des Arbeiters, um benötigte Informationen für den Arbeitsprozess kontextsensitiv einzublenden. Die in erster Linie von der verwendeten Kamera gewonnen Daten können die Privatsphäre des Anwenders und von Kollegen beeinträchtigen. Das Risiko für Personen besteht dabei in der Möglichkeit, diese Bilder für die Überwachung zu verwenden. Die Analyse dieser sensiblen Informationen ist für die Verwendung von AR nötig, sollen aber nicht für andere Zwecke herangezogen werden (Syberfeldt et al., 2016).

Die Aufarbeitung dieses Themas wird in dieser Arbeit an Hand von Erkenntnissen aus diskutierten Themen in vorangegangenen Kapiteln ermöglicht. Dafür werden Schlussfolgerungen von präsentierten Technologien und Prozessen angeführt. Die Einteilung dieser erfolgt über die Möglichkeit des Systems, für eine ungewollte Überwachung der Mitarbeiter verwendet zu werden. Beachtet wird die Beweglichkeit der genutzten Kameras. In einem AR-System sind diese entweder stationär (Monitor, In-situ) oder mobil (Datenbrille, Tablet) im Einsatz. Abgeleitet aus dieser Einteilung ergeben sich verschiedene Szenarien, die eine Überwachung von Mitarbeitern ermöglichen.

- Ein System mit einer stationären Kamera wäre dabei in der Lage mitzuteilen, ob der Mitarbeiter seine ihm zugeteilte Aufgabe ausführt.
- Darüber hinaus wäre ein mobiles System in der Lage, Arbeitskollegen während der Arbeit oder bei persönlichen Gesprächen aufzuzeichnen.
- Bei ständiger Benützung der Anwendung kann in einem mobilen System herausgefunden werden, in welchem Bereich der Firma der Arbeiter sich aufhält.
- Die in manchen Systemen verwendete Anpassung des AR-Systems an die Fähigkeiten des Arbeiters kann für eine ungewollte Leistungsbeurteilung herangezogen werden.

In Bezug auf die Videoüberwachung von Mitarbeitern, welche wie beschrieben durch AR-Assistenzsysteme möglich ist, gilt seit dem Jahr 2000 das Datenschutzgesetz (Bundeskanzleramt, 2017). Dieses widerspricht einer gezielten Videoüberwachung von Mitarbeitern. Begründet wird dies durch die Eingriffstiefe der Technologie, die die Überwachung von Arbeitnehmern ermöglicht. Ausgenommen ist die Überwachung von Objekten wie gefährlichen Maschinen. Sollte hier ein AR-Assistenzsystem im Einsatz sein, muss gewährleistet werden, dass die verwendete Kamera nicht auf die Leistungskontrolle der Mitarbeiter ausgerichtet ist (Hansmann, 2010). Dies widerspricht dem vierten angeführten Punkt und unterstreicht, dass rechtliche Rahmenbedingungen für den Einsatz geschaffen werden müssen.

## 5 Diskussion

In den Abschnitten 4.3.1 Prozesszeit, 4.3.2 Montagefehler, 4.4.1 Akzeptanz und 4.4.2 kognitive Belastung wurden die angeführten AR-Systeme jeweils mit einer Arbeitsanweisung auf Papier verglichen. Die unterschiedlichen Arbeitsaufgaben, verwendeten Bauteile und Ausgabegeräte in den Publikationen machen es schwierig, die AR-Systeme untereinander zu vergleichen. Die teils gegensätzlichen Aussagen in einzelnen Aspekten unterstreichen diese Position. Für eine vergleichende Diskussion unterschiedlicher Ausgabegeräte wird auf Basis der Studie von Funk et al. (2016) dieser Bereich gestaltet. Eine einheitliche Umgebung aus Arbeitsaufgabe und verwendeten Bauteilen wird in der Studie herangezogen. Die Ergebnisse darin zeigen, welches AR-System in Bezug auf die Prozesszeit, die Montagefehler und die kognitive Belastung bessere Werte aufweist. Die Resultate für die Akzeptanz der Technologie werden von Büttner et al. (2016) übernommen. Die verwendeten Ausgabegeräte In-situ Projektion, Datenbrille und Tablet wurden in beiden Veröffentlichungen mit einer Arbeitsanweisung auf Papier verglichen. Ein Monitor wurde in keiner der Studie verwendet. Ziel dieses Kapitels ist es, die bereits gewonnenen Erkenntnisse mit den Ergebnissen dieser Publikationen zu vermengen. Diskutiert wird dabei, welche Vorteile als auch Nachteile die unterschiedlichen AR-Assistenzsysteme am Ende aufweisen. Beginnend mit der Evaluierung der **Prozesszeit** verwendet Funk et al. (2016) das standardisierte Modell GATM, das im Kapitel 4.3.1 bereits angeführt wurde. Tabelle 4 zeigt dabei den Mittelwert  $\mu$  und die Standardabweichung  $\sigma$  der benötigten Zeit in Sekunden, für die jeweilige Konstellation. Die Werte in der Spalte  $t_{total}$  wurden nachträglich berechnet. Diese wurden in der Publikation nicht angeführt.

$$\text{Mittelwert } \mu_{t_{total}} = \sum_{i=1}^n \mu_i$$

**Formel 2: Formel für die Summe von Mittelwerten**

$$\text{Standardabweichung } \sigma_{t_{total}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$$

**Formel 3: Formel für die Summe von Standardabweichungen**

Die Ergebnisse von  $t_{total}$  weisen darauf hin, dass die Probanden bei der Verwendung der In-situ Projektion die kürzeste Prozesszeit benötigten, gefolgt von den AR-Systemen mit einem Tablet und einer Datenbrille. In der manuellen Operation  $t_{locate\_part}$  wurde der größte lokale Zeitunterschied festgestellt. Die Verwendung der In-situ Projektion und der Papieranweisung weisen geringere Werte auf als die der anderen Varianten. Ein signifikanter Unterschied der beiden konnte hier nicht festgestellt werden. Gleiches gilt auch für die Datenbrille und das Tablet, die beiderseits ähnliche Werte aufweisen. Dieses Ergebnis unterstreicht die Untersuchung von Büttner et al. (2016), in der eine Datenbrille und eine In-situ Projektion verglichen wurde. Bei der Verwendung von In-situ wurden signifikant kürzere Prozesszeiten gemessen. Das schlechtere Abschneiden der Datenbrille im Vergleich zum Tablet wird in der Studie von Sam Zheng et al. (2015) ebenfalls beschrieben.

	$t_{\text{locate\_part}}$		$t_{\text{pick}}$		$t_{\text{locate\_pos}}$		$t_{\text{assembly}}$		$t_{\text{total}}$	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
In-situ	1,30	0,37	0,78	0,14	0,85	0,32	0,80	0,20	3,73	0,55
Datenbrille	2,72	0,72	0,99	0,18	0,97	0,26	1,03	0,31	5,71	0,85
Tablet	2,53	0,46	0,82	0,14	0,78	0,17	0,86	0,17	4,99	0,54
Papier	1,69	0,44	0,77	0,13	0,72	0,14	0,81	0,23	3,99	0,53

**Tabelle 4: Ergebnisse für GATM in (Funk et al., 2016)**

Die wenigsten **Montagefehler** in Funk et al. (2016) wurden während der Verwendung der In-situ Projektion gemacht, gefolgt von den AR-Systemen mit einem Tablet und einer Datenbrille. Signifikante Unterschiede bestehen zwischen der Datenbrille und dem Tablet und der Datenbrille im Vergleich zur In-situ Projektion. Ein ähnliches Bild zeigen die Ergebnisse der Studie von Büttner et al. (2016). Mit der In-situ Projektion wurden ebenfalls am wenigsten Fehler im Vergleich zu einer Datenbrille gemacht. Der Unterschied zwischen der In-situ Projektion und der Datenbrille ist ebenfalls signifikant. Ein AR-System mit einem Tablet oder einem Monitor wurde nicht verwendet.

Die **Akzeptanz** verschiedener AR-Assistenzsysteme innerhalb einer Studie wurde nur in Büttner et al. (2016) erhoben. Verglichen wurden Systeme mit einer In-situ Projektion und einer Datenbrille. Aufschlüsse über die Verwendung eines Monitors oder eines Tablets können nicht angeführt werden. Dies sollte Bestandteil zukünftiger Studien sein. Die Ergebnisse der Eigenschaften Hilfsbereitschaft, Bedienkomfort und Sympathie (Kapitel 4.4.1). weisen für die In-situ Projektion signifikant höhere Werte als für die Datenbrille auf.

Die **kognitive Belastung** während der Arbeitsaufgabe, begleitet durch ein Assistenzsystem, wurde mit dem NASA-TLX Test<sup>6</sup> in Funk et al. (2016) erhoben. Die Ergebnisse zeigen, dass die Belastung für die Probanden mit der Assistenz einer In-situ Projektion am geringsten war. Die Messwerte für ein Tablet und für eine Datenbrille ergänzen das Resultat in der genannten Reihenfolge. Ein signifikanter Unterschied konnte nur zwischen der In-situ Projektion und der Datenbrille festgestellt werden. Ergebnisse von weiteren Studien konnten nicht gefunden werden.

Die Erhebungen aller untersuchten Aspekte zeigen, dass ein AR-Assistenzsystem in Verbindung mit einer In-situ Projektion vorteilhaft ist. Sowohl im Vergleich zur Arbeitsanweisung auf Papier als auch zu anderen AR-Systemen. Die bereits genannte Publikation von Funk et al. (2017) zeigt auf, dass diese Erkenntnisse dennoch hinterfragt werden sollen. Die in der Veröffentlichung vorgestellte Langzeitstudie (11 Arbeitstage) relativiert die positiven Erkenntnisse der In-situ Projektion. Arbeiter eines Automobilherstellers wiesen während der Nutzung des AR-Systems eine höhere Prozesszeit

<sup>6</sup> Anhang: 7.3 Deutsche Ausführung – NASA TLX

mit signifikantem Unterschied auf. Die kognitive Belastung war für alle Probanden höher als im Vergleich zur Arbeit ohne Assistenz.

Bezugnehmend auf die Datenbrille, soll an dieser Stelle auf das schlechte Abschneiden dieser in den Benutzerstudien hingedeutet werden. Alle herangezogenen Publikationen (große Mehrheit nicht älter als 2014), die ein AR-System mit einer Datenbrille umgesetzt haben, verwendeten teils Prototypen, teils erste am Markt verfügbaren Geräte. Das zeigt unter anderem das frühe Stadium der Entwicklung. Vergleiche mit ausgereiften Ausgabegeräten wie Tablets oder Projektoren zeigten, mit diesem Hintergrund, erwartbare Ergebnisse. Abseits der untersuchten Aspekte wurden in Büttner et al. (2016) Nachteile der verwendeten Datenbrille erwähnt, die in dieser Arbeit repräsentativ für den verfügbaren Stand der Technik stehen.

Helle Lichtumgebungen über 500 lux sind in Arbeitsumgebungen wichtig, um dem Arbeiter nicht zu beeinträchtigen. Nutzer von Datenbrillen haben in solchen Situationen das Problem, dass die eingeblendeten Informationen schwer lesbar sind. In Situationen, in denen die Helligkeit im Arbeitsumfeld größer ist als die Helligkeit des Displays der Datenbrille, tritt der Nachteil verstärkt auf. Eine Eigenschaft des Displays ist die Größe (angegeben in Winkelgrade) des Sichtfeldes, welches überlagert wird. Im aktuellen Durchschnitt<sup>7</sup> bieten Datenbrillen ein überlagertes Sichtfeld von 33° an. Spitzenreiter ist die, nicht für den industriellen Einsatz taugliche, Datenbrille Meta 2, welche 88° zur Verfügung stellt. Die in den Publikationen verwendeten Datenbrillen bieten ein Sichtfeld zwischen 15° (Google Glas) und 35° (Vuzix STAR 1200) an. In Bezug auf den Arbeitsplatz, welcher oft eine gewisse Größe aufweist (Abbildung 9), ist der eingeblendete Inhalt der Brille in manchen Fällen nicht im Sichtfeld des Arbeiters.

Die digitalen Objekte im Display der Brille überlagern während des Montageprozesses den Arbeitsplatz, Werkzeuge oder Kleinteilebehälter, um den Arbeiter zu führen. Diese unnatürliche Wahrnehmung der physischen Umgebung führen Probanden als nachteilig und irritierend an. Ein ähnliches Problem tritt bei der Fokussierung der Augen auf den Inhalt im Display auf. Der Nutzer nimmt die Einblendung wahr, als wäre diese im Abstand von ca. einem Meter vor seinem Auge. Diese, als virtuelle Distanz bezeichnete, negative Eigenschaft führt dazu, dass während der Fokussierung auf ein Bauteil die eingeblendeten Informationen unscharf werden. Zum Lesen der Information muss der Nutzer den Fokus der Augen auf das Display richten und für das Weiterarbeiten wieder auf das Bauteil. Keine bekannte Datenbrille kann diesen Umstand aktuell beseitigen.

Viele Brillen sind so gestaltet, dass das meiste Gewicht im vorderen Bereich des Brillengestells untergebracht ist. Dies führt bei der Nutzung zu Irritationen, da die Brille während einer Montageaufgabe von der Nase rutschen kann, was den Arbeiter veranlasst, die Tätigkeit zu unterbrechen. Des Weiteren sind die im Brillengestell montierten Gläser für Brillenträger nicht geeignet. Diese Eigenschaft führt dazu, dass diese eine Kontaktlinse verwenden müssen oder nicht mit einer Datenbrille arbeiten können.

---

<sup>7</sup> <http://www.arglassesguide.com/>

## 6 Fazit und Ausblick

Die vorgestellten AR-Assistenzsysteme zeigen die grundsätzliche Funktionsweise der Technologie und den Einsatz von stationären und mobilen Ausgabegeräten. Abgeleitet von den Eigenschaften der industriellen Montage, wurden Einsatzbereiche der Systeme angeführt. Dabei unterstützen die präsentierten Anwendungen den Arbeiter in der Montage der Bauteile, beim Kommissionieren am Arbeitsplatz, bei der Qualitätsprüfung der Bauteile und beim Training. Ausgabegeräte wie eine Datenbrille, eine In-situ Projektion, ein Monitor oder ein Tablet dienen dem Arbeiter, die vermengte Darstellung der virtuellen Informationen mit der realen Umwelt anzuzeigen. Diese Erkenntnisse resultieren aus den Kapiteln 2 Augmented Reality und 3 Montage und wurden im Abschnitt 4.1 Anwendungsbereiche dargelegt. Die Forschungsfragen 1 und 2 konnten somit umfassend beantwortet werden.

1. *Welche Arten der Assistenz in Bezug auf Augmented Reality existieren und in welcher Ausprägung können diese eingesetzt werden?*
2. *Welche Eigenschaften beschreiben den industriellen Montageprozess und in welcher Weise kann Augmented Reality als Assistenzsystem hier unterstützend eingesetzt werden?*

In den gleichnamigen Abschnitten wurden Chancen und Risiken für AR-Assistenzsysteme an Hand von sechs Eigenschaften untersucht. Die Vergleiche mit der weitverbreiteten Arbeitsanweisung in Papierform zeigen ein divergentes Bild. Abhängig von der Art des Bauteils, der Arbeitsaufgabe, dem verwendeten Ausgabegerät und der Interaktion mit dem System, weisen die verwendeten Publikationen positive als auch negative Ausprägungen auf. Statistisch signifikante Unterschiede wurden nur selten festgestellt. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass AR Systeme mit einem Monitor, einer In-situ Projektion oder einem Tablet kürzere Prozesszeiten aufweisen. Eine Senkung der Montagefehler zeigen AR-Systeme mit einer In-Situ Projektion und einem Tablet. Die unterschiedlichen Resultate bei der Akzeptanz der AR-Systeme lässt die Schlussfolgerung zu, dass diese abhängig vom Arbeitsinhalt und der Gestaltung des Systems ist. In diesem Punkt sollen weitere Untersuchungen zeigen, welches AR-System für welche Aufgabe am besten geeignet ist. Substanzielle Ergebnisse weisen die Messungen der kognitiven Belastung auf. Bis auf die Datenbrille wurden alle Ausgabegeräte von den Probanden positiver als eine Papieranweisung bewertet.

Die verschiedenen Ausgabegeräte wurden im abschließenden Teil der Arbeit verglichen. Ein AR-Assistenzsystem mit einer In-situ Projektion wurde in Summe am besten bewertet, jedoch zeigt eine Langzeitstudie gegensätzliche Resultate.

Dieses Fazit und die detaillierten Erläuterungen in den Abschnitten 4.3 Chancen und 4.4 Risiken unterstreichen die Beantwortung der Forschungsfragen 3 und 4.

3. *Welche Chancen bietet Augmented Reality als Assistenzsystem im industriellen Montageprozess?*
4. *Welche Risiken birgt Augmented Reality als Assistenzsystem im industriellen Montageprozess?*

Zusammengefasst zeigen Konstellationen von Arbeitsaufgabe, Ausgabegerät, verwendete Technologie, Aufbereitung der Daten und Gestaltung der eingeblendeten Objekte erste Chancen für eine Unterstützung des Arbeiters im Umfeld der industriellen Montage. Dabei ist anzumerken, dass die vorgestellten Anwendungen im Labor oder an einem nachgebauten Montagearbeitsplatz durchgeführt wurden. Die teils widersprüchlichen Ergebnisse und das Fehlen von Langzeitevaluierungen von Systemen, zur alltäglichen Begleitung am direkten Arbeitsplatz unterstreichen das frühe Stadium der Entwicklung. Die zukünftige Forschungsarbeit soll die Einsatzbereitschaft der AR Systeme für den industriellen Alltag vorantreiben. Evaluierungen im Einsatz bei Partnerunternehmen können anschließend Aufschluss über tatsächliche Vor- und Nachteile geben.



## 7 Anhang

### 7.1 Literaturquellen und die Verwendung in den Kapiteln

Zitat	Bezeichnung	Kapitel
(Azuma, 1997)	Definition von AR	Augmented Reality
(Bannat, 2014)	AR-Assistenzsystem	Montage
(Bernd, 2015)	Visuelle Assistenz in der Produktion	Montage
(Broll, 2013)	Grundlagen von AR	Augmented Reality
(Bundeskanzleramt, 2017)	Datenschutzgesetz	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Busch & Sterling, 2000)	Bauteilinspektion	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Büttner et al., 2016)	Vergleich AR-Systeme	Einsatz von AR-Assistenzsystemen, Diskussion
(Carmigniani & Furht, 2011)	Grundlagen AR	Augmented Reality
(Caudell & Mizell, 1992)	Erste HMD- Anwendung	Augmented Reality, Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Chua et al., 2016)	Positionen einer Datenbrille	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Dalle Mura et al., 2016)	AR Montageanleitung	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Dudenredaktion, 2017)	Erklärung von In-situ	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Durrant-Whyte & Bailey, 2006)	Erklärung SLAM	Augmented Reality
(Funk, 2016)	AR-System mit In-Situ	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Funk et al., 2017)	Langzeitstudie mit In-situ	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Funk et al., 2015)	Prozesszeit Montage	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Funk et al., 2016)	Vergleich AR-Systeme	Einsatz von AR-Assistenzsystemen, Diskussion

(Gonzalez-Franco et al., 2016)	AR als Trainingstool	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Han & Zhao, 2016)	Bildregistrierungstechnologie	Augmented Reality
(Hansmann, 2010)	Rechtliche Grundlagen	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Hart & Staveland, 1988)	NASA TLX Test	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Hölzel et al., 2015)	Herausforderung in der Produktion	Montage
(Jodlbauer, 2016)	Produktionswirtschaft	Montage
(Jost et al., 2017)	Unterstützung durch AR	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Liu et al., 2015)	Bildregistrierungstechnologie	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Lotter & Wiendahl, 2012)	Montage in der Produktion	Montage, Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Makris et al., 2013)	Aufbereiten von CAD-Daten	Augmented Reality, Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Mansutti et al., 2017)	Displaytypen	Augmented Reality
(Milgram & Kishino, 1994)	Taxonomie der Mixed Reality	Augmented Reality
(Mohr et al., 2017)	Bildregistrierungstechnologie	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Nguyen et al., 2016)	Mobiles AR-System	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Paelke, 2014)	AR in der Smart Factory	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Perla et al., 2016)	AR in der Bauteilinspektion	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(REFA, 2001)	Arbeitswissenschaft	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Radkowski et al., 2015)	Interface gestalten	Augmented Reality, Montage, Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Rauschnabel et al., 2015)	Datenbrille	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Re et al., 2016)	AR-System mit Monitor	Einsatz von AR-Assistenzsystemen

(Ren et al., 2016)	Echtzeit Objekterkennung	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Rentzos et al., 2013)	Aufbereiten von CAD-Daten	Augmented Reality, Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Sam Zheng et al., 2015)	AR-System mit Datenbrille	Einsatz von AR-Assistenzsystemen, Diskussion
(Sanna et al., 2015)	AR-System mit Tablet	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Schuh & Schmidt, 2014)	Produktionsmanagement	Montage
(Sunwook et al., 2016)	AR-System mit Datenbrille	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Sutherland, 1968)	Definition von AR	Augmented Reality
(Syberfeldt et al., 2016)	Dynamische Arbeitsanweisung	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Syberfeldt et al., 2016)	Vergleich AR-Systeme	Augmented Reality, Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Tatić & Tešić, 2017)	AR-System mit Tablet	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Unrau et al., 2016)	AR-System mit In-situ	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Wang et al., 2016)	Übersicht AR-Systeme	Augmented Reality, Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Wang et al., 2016)	AR-System mit Datenbrille	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Webel et al., 2013)	AR als Trainingstool	Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Wiendahl et al., 2004)	Variantenproduktion	Montage, Einsatz von AR-Assistenzsystemen
(Xiaozhou & Plewe, 2016)	AR-Assistenzsysteme	Augmented Reality, Montage
(Yaman & Karakose, 2016)	Bildverarbeitungstechnologie	Augmented Reality

**Tabelle 5: Übersicht der Zitate und deren Verwendung in der Arbeit**

## 7.2 Ausgabegeräte in verwendeten Publikationen

Titel	Autor	Arten
Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes	Caudell & Mizell, 1992	Datenbrille
Augmented Reality-Based Manual Assembly Support With Visual Features for Different Degrees of Difficulty	Radkowski et al., 2015	Monitor
Assembly support using AR technology based on automatic sequence generation	Makris et al., 2013	Tablet
Augmented Reality for Human-based Assembly: Using Product and Process Semantics	Rentzos et al., 2013	Tablet
AR Smart Glasses in the Workplace - Industry Perspectives and Challenges for Worker Safety and Health	Sunwook et al., 2016	Datenbrille
Eye-Wearable Technology for Machine Maintenance - Effects of Display Position and Hands-free Operation	Sam Zheng et al., 2015	Datenbrille
Positioning Glass - Investigating Display Positions of Monocular Optical See-Through Head-Mounted Display	Chua et al., 2016	Datenbrille
Using Head-Mounted Displays and In-Situ Projection for Assistive Systems – A Comparison	Büttner et al., 2016	Datenbrille, In-situ
Augmented reality at the workplace a context-aware assistive system using in-situ projection	Funk, 2016	In-situ
Impact of monitor-based augmented reality for on-site industrial manual operators	Re et al., 2016	Monitor
Line-based initialization method for mobile augmented reality in aircraft assembly	Han & Zhao, 2016	Tablet
Using Handheld Devices to Support Augmented Reality-based Maintenance and Assembly Tasks	Sanna et al., 2015	Tablet
MARIM - Mobile Augmented Reality for Interactive Manuals	Nguyen et al., 2016	Tablet
Adaptive User Perspective Rendering for Handheld Augmented Reality	Mohr et al., 2017	Tablet

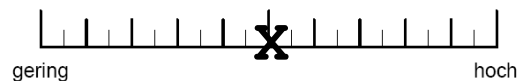
**Tabelle 6: Verwendete Ausgabegeräte in Publikationen**

### 7.3 Deutsche Ausführung – NASA TLX<sup>8</sup>

#### Beanspruchungshöhe

Geben Sie jetzt für jede der unten stehenden Dimensionen an, wie hoch die Beanspruchung war. Markieren Sie dazu bitte auf den folgenden Skalen, in welchem Maße Sie sich in den sechs genannten Dimensionen von der Aufgabe beansprucht oder gefordert gesehen haben:

Beispiel:



#### Geistige Anforderungen

Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erforderte sie hohe Genauigkeit oder war sie fehlertolerant?



#### Körperliche Anforderungen

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. Ziehen, Drücken, Drehen, Steuern, Aktivieren,...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?



#### Zeitliche Anforderungen

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?



<sup>8</sup> <http://interaction-design-group.de/toolbox/wp-content/uploads/2016/05/NASA-TLX.pdf>

**Leistung**

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

**Anstrengung**

Wie hart mussten sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

**Frustration**

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?



Kontrollieren sie bitte, ob Sie zu allen Fragen Angaben gemacht haben. Bei Unklarheiten wenden Sie sich bitte an die Versuchsleiterin / den Versuchsleiter.

**Subskalen:**

Der Wert jeder Subskala ist ein Einzelmesswert. Je nach Fragestellung können Subskalen auch einzeln verwendet oder untereinander kombiniert werden.

**Auswertung:**

Jedem Kreuz wird ein ganzzahliger Wert von 0 bis 20 zugeordnet, wobei „0“ als gering und „20“ als hoch gewertet wird. Befindet sich ein Kreuz zwischen zwei Teilstrichen der Skala, wird derjenige ganzzahlige Wert vergeben, der sich näher am Kreuzungspunkt der Angabe des Teilnehmers befindet.

**Quellen:**

Hart, S. G. (2006). NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting*, 904-908. Santa Monica: HFES.

## 8 Literaturverzeichnis

### 8.1 Monographien, Bücher und Sammelbände

- Bannat, A., 2014. *Ein Assistenzsystem zur digitalen Werker-Unterstützung in der industriellen Produktion*. München: s.n.
- Bernd, D., 2015. Montage-Arbeitsplatz – Visuelle Assistenz und optische Prüfung. In: M. Schenk, Hrsg. *Produktion und Logistik mit Zukunft - Digital Engineering and Operation*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, pp. 84-108.
- Broll, W., 2013. Augmentierte Realität. In: *Virtual und Augmented Reality - Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Berlin: Springer Vieweg, pp. 241-294.
- Carmigniani, J. & Furht, B., 2011. Augmented Reality: An Overview. In: *Handbook of Augmented Reality*. New York: Springer Science + Business, pp. 3-46.
- Funk, M., 2016. *Augmented reality at the workplace a context-aware assistive system using in-situ projection*. Stuttgart: University of Stuttgart.
- Hölzel, C., Schmidtler, J., Knott, V. & Bengler, K., 2015. Untertzützung des Menschen in der Arbeitswelt der Zukunft. In: *Technische Unterstützungssysteme*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, pp. 148-158.
- Jodlbauer, H., 2016. *Produktionsoptimierung - Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung*. 3 Hrsg. Wien: Verlag Österreich.
- Jost, J. et al., 2017. Der Mensch in der Industrie – Innovative Unterstützung durch Augmented Reality. In: M. ten Hompel, Hrsg. *Handbuch Industrie 4.0*. 2. Auflage Hrsg. Berlin: Springer Vieweg, pp. 153-173.
- Lotter, B. & Wiendahl, H.-P., 2012. *Montage in der industriellen Produktion - Ein Handbuch für die Praxis*. 2. Hrsg. Berlin: Springer Vieweg.
- Mansutti, A., Covarrubias Rodriguez, M., Bordegoni, M. & Cugini, U., 2017. *Tactile Display for Virtual 3D Shape Rendering*. Mailand: Springer International Publishing.
- REFA, 2001. *Lehrunterlagen Grundschein Arbeitsorganisation. Prozess- und Zeitdatenermittlung – Analyse und Synthese*. Darmstadt: s.n.
- Schuh, G. & Schmidt, C., 2014. *Produktionsmanagement - Handbuch Produktion und Management* 5. Berlin Heidelberg: Springer.
- Wiendahl, H.-P., Gerst, D. & Keuneke, L., 2004. *Variantenbeherrschung in der Montage*. Berlin Heidelberg: Springer.

## 8.2 Fachartikel und Journale

- Azuma, R. T., 1997. A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), pp. 355-385.
- Busch, J. L. & Sterling, M. E., 2000. *Method and system for facilitating vehicle inspection to detect previous damage and repairs*. USA, Patent No. US 6052631 A.
- Büttner, S., Funk, M., Sand, O. & Röcker, C., 2016. Using Head-Mounted Displays and In-Situ Projection for Assistive Systems – A Comparison. *PETRA '16 Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, pp. Artikel 44, 8 Seiten.
- Caudell, T. P. & Mizell, D. W., 1992. Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 659-669.
- Chua, S. H., Perrault, S. T., Matthies, D. J. C. & Zhao, S., 2016. Positioning Glass: Investigating Display Positions of Monocular Optical See-Through Head-Mounted Display. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Chinese CHI (ChineseCHI2016)*, pp. 1-6.
- Dalle Mura, M., Dini, G. & Failli, F., 2016. An Integrated Environment Based on Augmented Reality and Sensing Device for Manual Assembly Workstations. *Procedia CIRP*, Issue 41, pp. 340-345.
- Durrant-Whyte, H. & Bailey, T., 2006. Simultaneous Localization and Mapping: Part I. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 13(2), pp. 99-110.
- Funk, M. et al., 2017. Working with Augmented Reality? A Long-Term Analysis of In-Situ Instructions at the Assembly Workplace. *PETRA'17 - International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*.
- Funk, M., Kosch, T., Greenwald, S. W. & Schmidt, A., 2015. A benchmark for interactive augmented reality instructions for assembly tasks. *Proceedings of the 14th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, pp. 253-257.
- Funk, M., Thomas, K. & Schmidt, A., 2016. Interactive Worker Assistance: Comparing the Effects of In-Situ Projection, Head-Mounted Displays, Tablet, and Paper Instructions. *UbiComp '16 Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp. 934-939.
- Gonzalez-Franco, M. et al., 2016. *Immersive Augmented Reality Training for Complex Manufacturing Scenarios*, s.l.: ARXIV.



- Han, P. & Zhao, G., 2016. Line-based initialization method for mobile augmented reality in aircraft assembly. *The Visual Computer - International Journal of Computer Graphics*, Volume 32, pp. 1-12.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E., 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, Issue 52, pp. 139-183.
- Liu, Y., Li, S. & Wang, J., 2015. Assembly Auxiliary System for Narrow Cabins of Spacecraft. *CHINESE JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING*, Issue 5, pp. 1080-1089.
- Makris, S., Pintzos, G., Rentzos, L. & Chryssolouris, G., 2013. Assembly support using AR technology based on automatic sequence generation. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 62(1), pp. 9-12.
- Milgram, P. & Kishino, F., 1994. A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS. *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D(No. 12), pp. 1321-1329.
- Mohr, P. et al., 2017. Adaptive User Perspective Rendering for Handheld Augmented Reality. *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, pp. 176-181.
- Nguyen, T. V., Tan, D., Mirza, B. & Sepulveda, J., 2016. MARIM: Mobile Augmented Reality for Interactive Manuals. *Proceedings of the 2016 ACM on Multimedia Conference, MM'16*, 15 pp. 689-690.
- Paelke, V., 2014. Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0 environment. *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, pp. 1-4.
- Perla, R. et al., 2016. An AR Inspection Framework: Feasibility Study with Multiple AR Devices. *2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct Proceedings*, pp. 221-226.
- Radkowski, R., Herrema, J. & Oliver, J., 2015. Augmented Reality-Based Manual Assembly Support With Visual Features for Different Degrees of Difficulty. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Volume 31:5, pp. 337-349.
- Rauschnabel, P. A., Brem, A. & Ivens, B. S., 2015. Who will buy smart glasses? Empirical results of two pre-market-entry studies on the role of personality in individual awareness and intended adoption of Google Glass wearables. *Computers in Human Behavior*, Issue 49, pp. 635-647.
- Re, G. M., Oliver, J. & Bordegoni, M., 2016. Impact of monitor-based augmented reality for on-site industrial manual operations. *Cognition, Technology & Work*, Mai, 18(2), pp. 379-392.

- Ren, S., He, K., Girshick, R. & Sun, J., 2016. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Issue 99, pp. 1-1.
- Rentzos, L., Papanastasiou, S., Papakostas, N. & Chrysosolouris, G., 2013. Augmented Reality for Human-based Assembly: Using Product and Process Semantics. *IFAC Proceedings 12th Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems*, Volume 46 - 15, pp. 98-101.
- Sam Zheng, X. et al., 2015. Eye-Wearable Technology for Machine Maintenance: Effects of Display Position and Hands-free Operation. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, pp. 2125-2134.
- Sanna, A. et al., 2015. Using handheld devices to support augmented reality-based maintenance and assembly tasks. *2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 178-179.
- Sunwook, K., Maury A., N. & Joseph L., G., 2016. Augmented Reality "Smart Glasses" in the Workplace: Industry Perspectives and Challenges for Worker Safety and Health. *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 21 7, 4(4), pp. 253-258.
- Sutherland, I. E., 1968. A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the AFIPS '68 Joint Computer Conference*, pp. 757-764.
- Syberfeldt, A., Danielsson, O., Holm, M. & Wang, L., 2016. Dynamic Operator Instructions Based on Augmented Reality and Rule-based Expert Systems. *Procedia CIRP*, Volume 41, pp. 346-351.
- Syberfeldt, A. et al., 2016. Support systems on the industrial shop-floors of the future – operators' perspective on augmented reality. *Procedia CIRP*, Issue 44, pp. 108-113.
- Tatić, D. & Tešić, B., 2017. The application of augmented reality technologies for the improvement of occupational safety in an industrial environment. *Computers in Industry*, Februar, Issue 85, pp. 1-10.
- Wang, X., Ong, S. & Nee, A., 2016. Multi-modal augmented-reality assembly guidance based on bare-hand interface. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), pp. 406-421.
- Wang, X., Ong, S. & Nee, A. Y. C., 2016. A comprehensive survey of augmented reality assembly research. *Advances in Manufacturing*, 4(1), pp. 1-22.
- Webel, S. et al., 2013. An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills. *Robotics and Autonomous Systems*, 61(4), pp. 398-403.
- Xiaozhou, Y. & Plewe, D. A., 2016. Assistance Systems in Manufacturing: A Systematic Review. *Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing*, pp. 279-289.

Yaman, O. & Karakose, M., 2016. Development of image processing based methods using augmented reality in higher education. *15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET 2016)*, pp. 165-169.

### 8.3 Artikel aus dem Web

Bundeskanzleramt, 2017. *RIS - Rechtsinformationssystem*. [Online]  
Available at:  
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=bundesnormen&Gesetzesnummer=10001597>  
[Zugriff am 08 05 2017].

Dudenredaktion, (., 2017. „in situ“ auf Duden online. [Online]  
Available at: <http://www.duden.de/node/817962/revisions/1344892/view>  
[Zugriff am 21 04 2017].

Hansmann, M. H., 2010. *Rechtliche Grundlagen für Videoüberwachung*. [Online]  
Available at: <http://www.wirtschaftsanwaelte.at/rechtliche-grundlagen-fur-videouberwachung/>  
[Zugriff am 08 05 2017].

Unrau, A., Riedinger, D. & Hinrichsen, S., 2016. *REFA Bundesverband e. V.*. [Online]  
Available at: <http://refa-blog.de/projektionsgestuetzte-assistenzsysteme>  
[Zugriff am 10 02 2017].

## Lebenslauf

Spitzer Philipp  
Fabrikstraße 36/4  
4400 Steyr

Geburtsdatum: 06. Mai 1987  
Geburtsort: Ried im Innkreis  
Nationalität: Österreich  
Familienstatus: ledig  
Telefon: 0699-14742699  
E-Mail: [ph\\_spitzer@hotmail.com](mailto:ph_spitzer@hotmail.com)  
[philipp.spitzer@students.fh-steyr.at](mailto:philipp.spitzer@students.fh-steyr.at)



## Berufserfahrung

08/2016 – 09/2016	Ferial - Wissenschaftlicher Mitarbeiter	FHOÖ F&E GmbH
	Institut für intelligente Produktion Forschungsprojekt: Smart Factory Lab, Mixed Reality <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recherche AR/VR/MR</li> <li>• Konzeptionierung UseCases</li> <li>• Projekte mit Unternehmen vorbereiten</li> <li>• AR SDK Vergleich - qualitative &amp; quantitative</li> </ul>	
09/2013 - 09/2014	Produktionsplaner	FACC AG
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material-, Fertigungs-, Prozessdatenpflege in SAP</li> <li>• Produktionsgrobplanung - Abstimmung der Fertigung</li> <li>• kontinuierliche Begleitung der einzelnen Projekte</li> <li>• Organisation und Einteilung der Verlängerten Werkbank</li> <li>• Produktionsfeinplanung am Beispiel einer 200t Presse</li> </ul>	
08/2012 - 08/2013	Arbeitsvorbereitungstechniker	ECOTHERM Austria GmbH
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeiterfassung , Kapazitätsplanung und Produktionsplanung</li> <li>• Organisation Fertigungsbereich, Materialflussoptimierung</li> <li>• Mitarbeit im Qualitätsmanagement</li> <li>• Investitionsrechnung und errechnen von Herstellungskosten</li> <li>• Mitglied der Gruppe „strategische Ausrichtung“</li> </ul>	
04/2010 - 09/2011	Facharbeiter	Scheuch GmbH
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laserprogrammierer, Kommissionierer</li> </ul>	

01/2009 - 04/2009	Facharbeiter Maschinenbautechniker Bereich: Filterbau	Scheuch GmbH
08/2004 - 02/2008	Lehre zum Maschinenbautechniker	Scheuch GmbH

#### Schulische Ausbildung

09/2014 - heute	Fachhochschule OOE - Campus Steyr Produktion & Management	VZ
10/2011 - 07/2012	Fachhochschule OOE - Campus Wels Automatisierungstechnik	VZ

#### Berufliche Weiterbildung

02/2013 - 06/2013	REFA Grundausbildung Teil 2 - Prozessdatenmanagement	BB
01/2010 - 08/2011	Berufsreife Maschinenbau – Betriebstechnik	BB
08/2009 - 11/2009	REFA Grundausbildung Teil 1 - Arbeitssystem- und Prozessgestaltung	VZ
04/2009 - 12/2009	WIFI Werkmeisterschule Maschinenbau - Betriebstechnik • Abschluss mit Auszeichnung • Abschlussarbeit: Umrüstung auf Plasma - Investitionsrechnung	VZ

#### Zivildienst

04/2008 - 12/2008	Sozialhilfeverband Grieskirchen - BAPH Gaspoltshofen
-------------------	--

#### Kenntnisse und Qualifikationen

Sprachen	• Englisch - verhandlungssicher
Führerschein	• Klasse A und B
Software	• MS Office (VBA), MS Access (SQL), SAP, Infor, • MAC OS, Unity3D
Sozialkompetenz Trainings	• Konfliktmanagement • Moderationstraining • Präsentationstechnik
Sonstiges	• Staplerschein

Profil im Web



## Eidesstattliche Erklärung

### Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Steyr, 01. Juni 2017

Ort, Datum

Unterschrift

Vor- und Nachname