

Empirische Untersuchungen zum Einsatz von Augmented Reality zur arbeitsplatzbezogenen Vermittlung berufsmotorischer Fertigkeiten in der manuellen Serienmontage

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER PHILOSOPHIE (Dr. phil.)

von der KIT-Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)
angenommene

DISSERTATION

von

Janis Venitz

KIT-Dekan: Prof. Dr. Alexander Woll

1. Gutachter: Prof. Dr. Gerd Gidion
2. Gutachter: Prof. Dr. Lars Windelband

Tag der mündlichen Prüfung: 06.11.2025

Kurzfassung

Titel: Empirische Untersuchungen zum Einsatz von Augmented Reality zur arbeitsplatzbezogenen Vermittlung berufsmotorischer Fertigkeiten in der manuellen Serienmontage

Schlüsselwörter: Augmented Reality, Arbeitsplatznahes Lernen

Die Entwicklung innovativer Produktions- und Informationstechnologien repräsentiert einen technologischen Ermöglichungsfaktor für die Entstehung neuer Lernformen sowie für die Weiterentwicklung des mediengestützten Lernens am Arbeitsplatz. Die zunehmende Bedeutung arbeitsplatznaher Qualifizierungsformen sowie die fortschreitende Digitalisierung von Arbeitsplätzen beschreiben gegenwärtige Herausforderungen des betrieblichen Bildungswesens. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Wirksamkeit einer Augmented Reality-basierten Anwendung im Kontext eines betrieblichen Qualifizierungsszenarios der manuellen Serienmontage untersucht. In Form einer Kontrollgruppenuntersuchung wurde den Versuchspersonen (formal nicht-qualifizierte Arbeitspersonen) ein industrielles Arbeitssystem zur Verfügung gestellt. Die Experimentalgruppe nutzte als integriertes Lernmedium eine AR-basierte Lernanwendung. Die Kontrollgruppe nutzte eine digitalisierte Text-Bild-Beschreibung der Arbeitsschritte, welche ein gängiges Unterweisungsmedium der industriellen Montage darstellt. Die definierte Arbeitsaufgabe umfasst charakteristische Fügevorgänge und Arbeitsschritte einer manuellen Montagetätigkeit. Im Anschluss an das Montagetraining wurde eine Lernerfolgskontrolle durchgeführt. Zur Untersuchung der Wirksamkeit wurde das Lernverhalten, der Lernerfolg sowie einzelne individuelle Wahrnehmungen und Eigenschaften der Versuchspersonen als Untersuchungsgegenstände beziehungsweise als Gegenstände der Datenanalyse definiert.

Basierend auf den dargestellten Untersuchungsergebnissen stellt der Einsatz einer Augmented Reality-basierten Anwendung zur Vermittlung berufsmotorischer Fertigkeiten eine vielversprechende Ergänzung konventioneller Qualifizierungsmaßnahmen dar. Anknüpfend an die Erkenntnisse der Untersuchungen kann zur lernförderlichen Gestaltung von Lernmedien eine gezielte Nutzung einzelner virtueller Elemente erfolgen sowie die Integration einer entsprechenden AR-basierten Anwendung in vorwiegend übungsorientierte Phasen der Arbeitsunterweisung diskutiert werden.

Abstract

Titel: Empirical studies on the usage of augmented reality for workplace-based instructions of occupational motor skills in manual assembly processes

Schlüsselwörter: Augmented Reality, Workplace Learning

The advancement of innovative production and information technologies serves as a technological enabler for the emergence of new learning modalities and the further evolution of media-supported learning at the assembly line. The growing significance of workplace-related learning, coupled with the ongoing digitalization of work environments, presents contemporary challenges within corporate training systems. This study examined the efficacy of an augmented reality-based application within the context of a corporate qualification scenario focused on manual series assembly.

Utilizing a control group design, the participants, who were formally unskilled employees, were provided with an industrial work system. The experimental group utilized an AR-based learning application as an integrated instructional medium, whereas the control group employed a digitized text and image description of the work steps, which is a commonly used instructional medium in industrial assembly processes. The specified work task encompassed characteristic joining processes and work steps associated with manual assembly activities. Following the assembly training, an assessment of learning outcomes was conducted. To evaluate efficacy, the study defined learning behavior, learning results and individual perceptions and characteristics of the participants as focal points for investigation and data analysis.

Based on the findings of the study, the implementation of an augmented reality-based application for the instruction of occupational motor skills represents a promising enhancement to traditional training methods. Building upon the results of the research, the strategic utilization of specific virtual elements can be employed to design educational media that facilitate learning. Furthermore, the integration of a corresponding AR-based application into predominantly practice-oriented phases of work instruction warrants further discussion.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract.....	ii
Inhaltsverzeichnis.....	iii
Vorwort.....	vi
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	5
2 Theoretische Grundlagen	7
2.1 Theorie des Lernens und des Lehrens am Arbeitsplatz.....	7
2.1.1 Grundlagen und Zugänge des Arbeitslernens.....	7
2.1.2 Grundlagen zur Beschreibung und Analyse des Arbeitslernens	29
2.1.3 Erlernen berufsmotorischer Fertigkeiten	45
2.1.4 Methoden und Medien der Arbeitsunterweisung.....	50
2.2 Augmented Reality-basiertes Montagetraining	77
2.2.1 Aspekte der industriellen Montage	77
2.2.2 Augmented Reality als Lehr-Lern-Technologie	86
3 Entwicklung eines AR-gestützten Montagetrainings	104
3.1 Konzeption	104
3.1.1 Konzeption eines Arbeitssystems der manuellen Montage	104
3.1.2 Konzeption einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung	111
3.1.3 Konzeption eines Kontrollmediums	114
3.1.4 Konzeption eines Mediums zur Unterstützung der Lernerfolgskontrolle.....	114
3.2 Technische Umsetzung	115
3.2.1 Vorarbeiten	115
3.2.2 Implementierung eines Arbeitssystems.....	118
3.2.3 Implementierung einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung	121
3.2.4 Implementierung des Kontrollmediums	130
3.2.5 Implementierung eines Mediums zur Unterstützung der Lernerfolgskontrolle	133
4 Darstellung der empirischen Untersuchungen	135
4.1 Forschungsleitende Fragen und Hypothesen.....	135
4.2 Untersuchungsdesign.....	138
4.2.1 Generelles Vorgehen	138
4.2.2 Versuchsaufbau	141
4.2.3 Einführung der Versuchspersonen.....	142
4.3 Vorarbeiten und Pretest.....	144
4.3.1 Recherche und Analyse definierter Messinstrumente	144
4.3.2 Pretest.....	151
4.3.3 Montage- und Werkzeugtraining.....	154
4.4 Instrumente und Methodik.....	155

4.4.1 Untersuchung des Lernverhaltens	155
4.4.2 Untersuchung des Lernerfolgs	158
4.4.3 Untersuchung zur Wahrnehmung der Arbeitsaufgabe und des Lernmediums	160
4.4.4 Untersuchung personaler Merkmale	165
4.5 Zusammenfassung und Auswertungsmethodik	170
4.5.1 Darstellung der Datenerfassung	170
4.5.2 Übersicht: Modell zur Untersuchung der Wirksamkeit	171
4.5.3 Methoden der Datenauswertung	173
5 Darstellung der Untersuchungsergebnisse	178
5.1 Darstellung der Stichproben	178
5.1.1 Soziodemografische Daten	178
5.1.2 Vorkenntnisse	182
5.1.3 Leistungsmotiv und Selbstwirksamkeit	189
5.2 Wahrnehmung der Arbeitsaufgabe und der Lernmedien	193
5.2.1 Arbeitsbelastung	193
5.2.2 Usability der Lernmedien	195
5.2.3 Elemente der AR-Anwendung	197
5.3 Darstellung des Lernverhaltens	200
5.3.1 Motorisch-passive Phase	200
5.3.2 Motorisch-aktive Phase	207
5.4 Darstellung des Lernerfolgs	219
5.4.1 Selbsteinschätzung	219
5.4.2 Ausführungszeiten	224
5.4.3 Fehleraufkommen	227
5.4.4 Nutzung des Hilfsmittels	232
6 Interpretation und Diskussion	235
6.1 Repräsentation der Zielgruppe	235
6.1.1 Heterogenität	235
6.1.2 Gruppenzusammensetzung	237
6.2 Forschungsleitende Fragen	238
6.2.1 Forschungsleitende Frage 1: Lernverhalten	238
6.2.2 Forschungsleitende Frage 2: Lernerfolg	242
6.2.3 Forschungsleitende Frage 3: Arbeitsaufgabe und Lernmedium	247
6.2.4 Forschungsleitende Frage 4: Spezifische Aspekte der AR-Anwendung	249
7 Schlussbetrachtung	252
7.1 Überblick	252
7.2 Limitationen und Implikationen der Arbeit	256
7.2.1 Limitationen	256
7.2.2 Implikationen	258
7.3 Resümee und Ausblick	260
8 Anhang	264
8.1 Fragebogen	265
8.1.1 Fragebogen I (DE)	265
8.1.2 Fragebogen I (PL)	267
8.1.3 Fragebogen II (DE)	269

8.1.4 Fragebogen II (PL)	271
8.2 Beobachtungsbogen.....	273
8.2.1 Montagetraining – Experimentalgruppe (AR).....	273
8.2.2 Montagetraining – Kontrollgruppe (ASB)	274
8.2.3 Lernerfolgskontrolle.....	275
8.3 Datenauswertung.....	276
8.3.1 Übersicht der Variablen	276
8.3.2 Einordnung und Bewertung von Einzelfällen.....	278
8.3.3 Beurteilung und Zielzustände der Montageschritte	280
8.3.4 Digitale Anhänge	281
Literaturverzeichnis.....	282
Abkürzungsverzeichnis	300
Abbildungsverzeichnis	302
Tabellenverzeichnis	306

Vorwort

Die empirischen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit wurden an einem Produktionsstandort eines industriellen Anwendungspartners durchgeführt. Im Rahmen seiner Anstellung als Doktorand im Fachbereich für Anlaufqualifizierung und Weiterbildungsprojekte partizipierte der Autor an einem vorgelagerten Forschungsprojekt (*AmbiWise*) sowie an Untersuchungen bezüglich der Nutzung verschiedener Head-Mounted-Display Varianten (*Smart Glasses*) zur Qualifizierung am Arbeitsplatz (vgl. BMBF 2016; Quint et al. 2016; Weber et al. 2016). In einzelnen Beiträgen wurden bereits während der Erstellung der Ausarbeitung erste Befunde oder Teilergebnisse der empirischen Untersuchungen veröffentlicht (vgl. Venitz et al. 2021; Beiling et al. 2024). Die Realisierung des hier dargebotenen AR-basierten Lernmediums erfolgte in Kooperation mit einem Start-up-Unternehmen, das zum Zeitpunkt der vorliegenden Untersuchungen bereits erste AR-basierte Handlungsinstruktionen im industriellen Umfeld erprobte. Im Rahmen der Untersuchungsplanung, der Untersuchungsdurchführung sowie der Datenauswertung betreute der Autor begleitende Arbeiten, die insbesondere durch die Analyse einzelner Messinstrumente sowie durch die Aufbereitung einzelner Untersuchungsergebnisse einen wertvollen Beitrag zur Erstellung der vorliegenden Ausarbeitung leisteten (vgl. Görthofer 2020; Weber 2019).

Karlsruhe, 21. Juni 2025

Janis Venitz

1 Einleitung

Das erste Kapitel der Ausarbeitung bildet zunächst die zugrundeliegende Ausgangssituation der Forschungsarbeit ab. Es folgt die Definition der Untersuchungsgegenstände sowie die Darstellung der grundsätzlichen Zielsetzung der Untersuchung. Im Anschluss wird der Aufbau der Arbeit erläutert.

1.1 Ausgangssituation

Medien erfüllen als Lernmittel innerhalb beruflicher Lernprozesse eine vermittelnde Funktion und formen das Bindeglied zwischen Lehrenden und Lernenden. Lernprozesse sollen durch den Einsatz von Medien aktiviert und veranschaulicht werden (vgl. Bunk 1991, S. 205 f.). Das heutige Verständnis von Medien bezieht sich überwiegend auf *moderne technologiebasierte Informationssträger und Informationsvermittler* (vgl. Horz 2009, S. 104). Die Informationsvermittlung erfolgt hierbei überwiegend digital und wird durch netzwerk- und computerbasierte Informationsprozesse realisiert, weshalb von *quartären bzw. digitalen Medien* gesprochen wird (vgl. Horz 2009, S. 140 f.). Im industriellen Umfeld unterliegen eingesetzte Montage- und Hilfstechnologien stetig einem technologischen Wandel (Goppold und Frenz 2020, S. 101 verweist auf VDI 2016). Im Rahmen der Entwicklung innovativer Produktions- und Informationstechnologien sowie der fortschreitenden Digitalisierung von Arbeitsplätzen entstehen ergänzende Ansätze der Informationsvermittlung (*Mensch-Maschine-Schnittstelle*) (vgl. Czerniak-Wilmes et al. 2017, S. 177 ff.). Digitale Medien beschreiben einen zentralen Gegenstand der gegenwärtigen Aus- und Weiterbildungsforschung (vgl. Dyrna et al. 2021, S. 247). Im Bereich der beruflichen Weiterbildung bieten digitale Medien und elektronische Lernanwendungen Potentiale zur Unterstützung der Lernenden im Lernprozess. Nach bisherigen Erkenntnissen besteht in Organisationen ein Bedarf an mediengestützten sowie multimedialen Qualifizierungsangeboten. Zudem wird eine zunehmende Verbreitung entsprechender Lernangebote erwartet (vgl. BMBF 2015).

Zwar werden technische Innovationen häufig nicht primär zur Förderung potentieller Lernanwendungen und Lerneffekte betrieben, jedoch können sie gezielt zur Bewältigung der Anforderungen des betrieblichen Bildungswesens genutzt werden (vgl. Gidion 2006, S. 136). Dabei ist es im betrieblichen Umfeld notwendig, sowohl technische und didaktische Fragestellungen als auch arbeitswissenschaftliche Aspekte zu diskutieren (vgl. Tümler 2009). Die Gestaltung und die Anwendung von Lernmedien sollten sich an dem Lernprozess, der Lernumgebung sowie an den individuellen Eigenschaften der Lernenden orientieren. Die manuelle Serienmontage ist geprägt von globalen Einflussfaktoren, schnell veränderlichen Anforderungen und Arbeitsinhalten sowie einer heterogenen Belegschaft. In diesem Umfeld stellt die Auswahl geeigneter Qualifizierungskonzepte eine Herausforderung für das betriebliche Bildungswesen dar (vgl. Gerschner et al. 2017, S. 310 f.; Venitz et al. 2021, S. 502 f.). Im Rahmen einer kurzfristigen Qualifizierungsmaßnahme (Anlernung) werden Fertigkeiten erlernt, die zur Ausführung komplexer Bewegungsab-

läufe oder Teilbewegungen mit unterschiedlichen sensorischen und motorischen Anteilen befähigen (sensomotorische Fertigkeiten). Durch Ausführungswiederholungen werden Bewegungsmuster in den motorischen Zentren des Zentralnervensystems entwickelt und kontinuierlich optimiert. Durch die wiederholte Ausführung der Tätigkeit (Üben) wird eine Erhöhung der Ausführungsqualität sowie der Ausführungsgeschwindigkeit angestrebt (vgl. Schlick et al. 2018, S. 111 ff.; REFA 1993, S. 184). Im Umfeld der manuellen Serienmontage bildet die *Vier-Stufen-Methode* eine häufig anzutreffende Qualifizierungsmethode ab (vgl. Schelten 2005, S. 119 f.). Die Methode beschreibt vier Formalstufen (Vorbereitung, Vorführen, Nachmachen und Abschluss), welche unter anderem die Hinführung der Lernenden in die Lehrsituation, die Demonstration der Tätigkeit, die eigenständige Durchführung der Tätigkeit sowie den Ausklang der Lehr-Situation mit Übergang zum Selbstlernprozess beinhalten. In Bezug auf die inhaltliche Gestaltung sowie den Einsatz von Lernmitteln (Medien) innerhalb der Stufen beziehungsweise während des betrieblichen Lernszenarios werden im Umfeld der manuellen Montage überwiegend mündliche und schriftliche Arbeitsanweisungen eingesetzt (vgl. Jeske et al. 2011). Die dabei häufig verwendeten Arbeitsanweisungen wie das Standardarbeitsblatt (SAB) und das Arbeitsschrittblatt (ASB) dienen in ihrer ursprünglichen Form der Strukturierung sowie der Optimierung von Arbeitsprozessen. Auszuführende Arbeitsschritte werden tabellarisch dargestellt und durch arbeitsspezifische Zusatzinformationen sowie durch Abbildungen ergänzt (vgl. Springer und Meyer 2006, S. 46 f.).

Im Rahmen des fortschreitenden Wandels industrieller Arbeitsumgebungen in Richtung einer Industrie 4.0, die durch eine flexible, effiziente und ressourcenschonende Produktherstellung bei hoher Produktindividualität gekennzeichnet ist, nimmt die erfolgreiche Integration des Menschen als Arbeitsperson eine entscheidende Rolle ein (vgl. Spath 2013, S. 40 ff.; Schließmann 2017, S. 171). Es wird erwartet, dass Mitarbeitende einer Industrie 4.0 zunehmend kurzfristig für eingeschränkt planbare Arbeitstätigkeiten unmittelbar in ihrem Arbeitsumfeld (*On-the-Job*) qualifiziert werden (vgl. Spath 2013, S. 6). Arbeitsplatznahe und selbstorganisierte Qualifizierungsformen werden an Bedeutung gewinnen (vgl. Becker 2015, S. 27). Die technische Ausstattung moderner Arbeitsumgebungen bietet dabei potentiell ergänzende Ansätze zur Unterstützung von Mitarbeitenden bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten (*Assistenzsysteme*) sowie bei der Gestaltung und Durchführung von Qualifizierungsmaßnahmen (vgl. Reinhart et al. 2017, S. 72 ff.; Becker 2015, S. 27). Im Hinblick auf einen flexiblen Einsatz von Mitarbeitenden der Montage sowie eine große Produktvielfalt und die daraus resultierenden Herausforderungen der betrieblichen Weiterbildung erscheint die Entwicklung ergänzender Methoden und Medien ebenso vielversprechend wie notwendig. Die Eignung ergänzender Elemente wie videogestützte, computeranimierte Arbeitsanweisungen konnte im Rahmen der Anlernung neuer Mitarbeitenden bestätigt werden (vgl. Springer und Meyer 2006, S. 48 ff.).

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf die Konzeption und die Erprobung innovativer Lernmedien und diskutiert deren Einsatz innerhalb industrieller Qualifizierungsszenarien der manuellen Serienmontage sowie deren Integration in bestehende Methoden. Die Arbeits-

gestaltung erhofft sich von der Integration innovativer Technologien und Lernmedien in bestehende Qualifizierungskonzepte messbare Optimierungspotentiale bei der Qualifizierung von Mitarbeitenden (vgl. Venitz et al. 2021, S. 504).

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Virtuelle Elemente und Realitäten werden im industriellen Umfeld bereits in verschiedenen Anwendungsszenarien wie beispielsweise bei der digitalen Fabrikplanung, der Planung und Gestaltung von Montagearbeitsplätzen sowie der Qualifizierung von Fachpersonal der betrieblichen Instandhaltung genutzt (vgl. Pokorni et al. 2017; Beuting et al. 2010). Im Rahmen betrieblicher Qualifizierungsmaßnahmen wird davon ausgegangen, dass augmentierte Instruktionen oder unmittelbare Rückmeldungen zur eigenen Ausführung bei der Entwicklung von Bewegungsmustern unterstützend wirken und vielfältige Potentiale beim Erwerb von manuellen Fertigkeiten abbilden (vgl. Webel 2011, S. 57 ff.). Der Einsatz erweiternder Realitäten und Elemente (Augmented Reality) erscheint u.a. aufgrund der Mobilitätsvorteile (Peripherie) sowie der Möglichkeit zur Interaktion mit dem realen Arbeitsumfeld als ein vielversprechender Ansatz zur Unterstützung von „On-the-Job“-Qualifizierungsmaßnahmen.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die mediengestützte Vermittlung und das Erlernen manueller Montagetätigkeiten in relativer Nähe zum Arbeitsplatz. Zielsetzung der empirischen Untersuchungen ist es, Erkenntnisse bezüglich der Wirksamkeit von AR-basierten Anwendungen im Kontext betrieblicher Unterweisungsprozesse der manuellen Serienmontage zu generieren. Darüber hinaus wird die grundsätzliche Eignung AR-basierter Lehr-Lern-Anwendung im Rahmen der betrieblichen Arbeitsunterweisung diskutiert. Die Gestaltung der Untersuchungen erfolgt in Anpassung an bestehende Lernprozesse, an die spezifische Lernumgebung sowie unter Einbezug einzelner individueller Eigenschaften der Lernenden.

Die Abbildung der betrieblichen Umgebung sowie der spezifischen Lernprozesse wird grundlegend durch die Wahl der Untersuchungsform begünstigt beziehungsweise realisiert. Im Sinne eines Feldexperiments wurden die vorliegenden Untersuchungen in ein reales Qualifizierungs-szenario (Onboarding-Phase bzw. Basisqualifizierung) sowie in eine reale Lernumgebung (betriebliche Lerninsel) eines industriellen Anwendungspartners integriert. Die Konzeption und die Implementierung eines AR-basierten Lehr-Lern-Mediums sowie eines Arbeitssystems der manuellen Serienmontage sind ebenfalls Gegenstände der vorliegenden Arbeit. Zur Realisierung einer Kontrollgruppenuntersuchung wurden zwei identische Arbeitssysteme implementiert, welche sich ausschließlich durch das bereitgestellte Lehr-Lern-Medium beziehungsweise durch die technische Peripherie unterscheiden. Der Experimentalgruppe wurde das AR-basierte Medium, der Kontrollgruppe eine digitalisierte Text-Bild-Beschreibung als gängiges Unterweisungsmedium der industriellen Montage zugewiesen. Zur Begleitung der Lernerfolgskontrolle, die einen Tag nach der Durchführung des Montagetrainings erfolgte, wurde eine reduzierte Form der digitali-

sierten Text-Bild-Beschreibung bereitgestellt. Die Hauptuntersuchung erfolgte in Polen an einem Standort des industriellen Anwendungspartners und orientierte sich insbesondere an den Publikationen von Webel (2011) und Jeske (2013).

Aussagen bezüglich der Wirksamkeit des AR-basierten Mediums basieren auf der Analyse des Lernverhaltens und des Lernerfolgs sowie auf den subjektiven Wahrnehmungen der Lernenden (vgl. Kerres 2003, 35 ff.). Ergänzend wurden personenbezogene Aspekte im Sinne potentieller Einflussfaktoren auf den Lerntransfer als Untersuchungsgenstände in die Analysen aufgenommen.



Abbildung 2.1.1-1: Gegenstände der Untersuchung und der Datenanalyse (vereinfachte Darstellung)

Zur Erfassung des Lernverhaltens und des objektiven Lernerfolgs wurden Beobachtungsbogen entwickelt und eingesetzt. Für die Erfassung soziodemographischer Daten und einzelner potentieller Einflussfaktoren wurden im Rahmen umfangreicher Vorarbeiten etablierte Standards sowie Messinstrumente identifiziert und mittels mehrerer Fragebogen in die Hauptuntersuchung integriert.

Basierend auf der zentralen Fragestellung hinsichtlich der Wirksamkeit eines AR-basierten Lehr-Lern-Mediums im Umfeld der manuellen Serienmontage und der definierten Untersuchungsgegenstände wurden vier forschungsleitende Fragen sowie untersuchungsspezifische Hypothesen formuliert.

- (1) *Lassen sich Unterschiede hinsichtlich des Lernverhaltens der Versuchspersonen unter Einsatz einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung im Vergleich zu einem gängigen industriellen Unterweisungsmedium (Kontrollmedium) identifizieren?*
- (2) *Lassen sich Unterschiede hinsichtlich des objektiven und subjektiven Lernerfolgs unter Einsatz einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung im Vergleich zu einem gängigen industriellen Unterweisungsmedium (Kontrollmedium) identifizieren?*

- (3) *Lassen sich Unterschiede hinsichtlich der Wahrnehmung des Lernmediums und der Arbeitsaufgabe zwischen der Experimental- (AR) und der Kontrollgruppe (ASB) identifizieren?*
- (4) *Lassen sich einzelne Funktionalitäten sowie virtuelle Elemente der AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung hervorheben, welche den Nutzen des Mediums im Lernprozess und den Lernerfolg erhöhen?*

Die forschungsleitenden Fragen sowie die dazugehörigen Hypothesen werden im weiteren Verlauf der Arbeit detailliert erläutert (vgl. Kapitel 4.1).

1.3 Aufbau der Arbeit

Im Anschluss an die Darstellung des zugrundeliegenden Forschungsthemas sowie der definierten Forschungsfragen und der grundsätzlichen Vorgehensweise (Kapitel 1) wird der theoretische Bezugsrahmen der vorliegenden Untersuchung erläutert (Kapitel 2). In diesem Zusammenhang werden zunächst Grundlagen und disziplinäre Zugänge des Arbeitslernens abgebildet. Darüber hinaus wird im weiteren Verlauf des Kapitels auf einzelne Ansätze zur Beschreibung und zur Analyse des Arbeitslernens eingegangen. Im Hinblick auf das spezifische Qualifizierungsszenario innerhalb einer manuellen Serienmontage werden anschließend Ansätze und Methoden zum Erlernen berufsmotorischer Fertigkeiten erläutert. Ergänzend erfolgt die Darstellung etablierter Medien der Arbeitsunterweisung sowie medienpädagogischer Aspekte bei der Gestaltung und Nutzung von Lernmedien im Rahmen betrieblicher Lernvorgänge (Kapitel 2.1). Die theoretischen Grundlagen für die Konzeption des AR-basierten Montagetrainings werden in Kapitel 2.2 abgebildet. An dieser Stelle der Ausarbeitung werden Grundlagen der manuellen Serienmontage sowie der industriellen Praxis hinsichtlich der Qualifizierung von Mitarbeitenden aufgezeigt. Zum Abschluss des zweiten Kapitels werden bestehende Ansätze sowie relevante Aspekte der Nutzung AR-basierter Medien im industriellen Umfeld erläutert.

Das dritte Kapitel beinhaltet die Konzeption sowie die Implementierung eines industriellen Arbeitssystems und der abgebildeten digitalen Lernmedien. Das Arbeitssystem setzt sich in diesem Kontext aus den Komponenten *Arbeitsplatz*, *Arbeitsperson*, *Arbeitsmittel*, *Arbeitsaufgabe* und *Arbeitsablauf* zusammen. Die Beschreibung der Konzeption und der Implementierung der einzelnen Medien erfolgt differenziert nach der Art des Mediums beziehungsweise nach der Funktion innerhalb der verschiedenen Untersuchungsphasen.

Im Anschluss an das dritte Kapitel werden zunächst die forschungsleitenden Fragen sowie ergänzende Hypothesen detailliert erläutert (Kapitel 4.1). Im weiteren Verlauf werden das entwickelte Forschungsdesign sowie die Durchführung spezifischer Vorarbeiten dargestellt. Anschließend erfolgt die strukturierte Abbildung und Erläuterung verwendeter Instrumente und Methoden. Zum Abschluss des Kapitels werden Methoden und Instrumente der Datenauswertung beziehungsweise der Datenerfassung sowie deren Relevanz bezüglich der zugrundeliegenden Forschungsfragen modellhaft zusammengeführt.

Das fünfte Kapitel stellt die Untersuchungsergebnisse der Hauptuntersuchung unter Anwendung der definierten Methoden der Datenauswertung dar. Beginnend mit der Darstellung der beiden Stichproben (Kapitel 5.1) werden im weiteren Verlauf des Kapitels die individuellen Wahrnehmungen der Versuchspersonen (Kapitel 5.2) sowie die Beobachtungen bezüglich des Lernverhaltens und des Lernerfolgs im Rahmen des Montagetrainings präsentiert (Kapitel 5.3 bis Kapitel 5.4).

Basierend auf den Erkenntnissen der Datenauswertung erfolgt im sechsten Kapitel die Diskussion und Interpretation der forschungsleitenden Fragestellungen. Hierbei wird zunächst die Repräsentation der spezifischen Zielgruppe (Mitarbeitende der manuellen Serienmontage) diskutiert (Kapitel 6.1). Im Anschluss erfolgt die Diskussion der forschungsleitenden Fragestellungen sowie der dazugehörigen Hypothesen (Kapitel 6.2). Durch die Schlussbetrachtung (Kapitel 7) werden zentrale Untersuchungsergebnisse hervorgehoben sowie einzelne Limitationen und Implikationen der Arbeit diskutiert. Ergänzende Materialien wie beispielsweise vollständigen Frage- und Beobachtungsbogen befinden sich im Anhang der Ausarbeitung.

Kapitel 1: Einleitung				
1.1 Ausgangssituation	1.2 Zielsetzung & Vorgehensweise	1.3 Aufbau der Arbeit		
Kapitel 2: Theoretische Grundlagen				
2.1 Theorie des Lehrens und des Lernens am Arbeitsplatz		2.2 Augmented Reality-basiertes Montagetraining		
Kapitel 3: Entwicklung eines AR-gestützten Montagetrainings				
3.1 Konzeption		3.2 Technische Umsetzung		
Kapitel 4: Darstellung der empirischen Untersuchungen				
4.1 Forschungsleitende Fragen & Hypothesen	4.2 Untersuchungsdesign	4.3 Vorarbeiten & Pretest	4.4 Instrumente & Methodik	4.5 Zusammenfassung & Auswertungsmethodik
Kapitel 5: Darstellung der Untersuchungsergebnisse				
5.1 Darstellung der Stichproben	5.2 Wahrnehmung der Arbeitsaufgabe und der Lernmedien	5.3 Darstellung des Lernverhaltens	5.4 Darstellung des Lernerfolgs	
Kapitel 6: Interpretation und Diskussion				
6.1 Repräsentation der Zielgruppe		6.2 Forschungsleitende Fragen		
Kapitel 7: Schlussbetrachtung				
7.1 Überblick	7.2 Limitationen & Implikationen	7.3 Resümee & Ausblick		

Abbildung 2.1.1-1: Aufbau der Arbeit

2 Theoretische Grundlagen

Das Kapitel der theoretischen Grundlagen stellt die Entwicklung arbeitsbezogener Lernformen sowie deren Bedeutung für das betriebliche Lernen in der manuellen Serienmontage dar. Es wird die Relevanz digitaler Medien in der betrieblichen Weiterbildung aufgezeigt sowie verschiedene Qualifizierungsszenarien im industriellen Umfeld abgebildet. Der technologische Fokus dieser Arbeit liegt auf dem Einsatz einer Augmented Reality-basierten Anwendung. Es werden einzelne AR-basierte Konzepte zur Qualifizierung von Mitarbeitenden der manuellen Montage dargestellt und hinsichtlich ihrer Verbreitung sowie ihres Reifegrades erläutert.

Ziel dieses Kapitels ist die Darlegung einer interdisziplinären Auseinandersetzung mit den Gegenständen des Arbeitslernens sowie eine Einführung in die Umgebung der industriellen Serienmontage. Aufbauend auf diesen theoretischen Grundlagen erfolgt die Entwicklung eines soziotechnischen Ansatzes zur Augmented Reality-gestützten Qualifizierung von Mitarbeitenden der manuellen Montage. Eine breite Darstellung des Vorhandenen wird nicht beabsichtigt.

2.1 Theorie des Lernens und des Lehrens am Arbeitsplatz

Einleitend werden in diesem Kapitel Begriffe und disziplinäre Zugänge des Arbeitslernens dargestellt. Neben einzelnen Varianten und Arten des betrieblichen Lernens, werden insbesondere Ansätze zur Beschreibung sowie zur Analyse des Arbeitslernens erläutert. Begründet durch die Ausrichtung der vorliegenden Untersuchungen werden im weiteren Verlauf Ansätze des Erlerbens sowie der Vermittlung berufsmotorischer Fertigkeiten betont.

2.1.1 Grundlagen und Zugänge des Arbeitslernens

Mit der Intention die Begriffe des Lernens und der Arbeit zunächst voneinander abzugrenzen und im Folgenden deren Verbindungsformen aufzuzeigen, werden zuvor relevante Begriffe des Arbeitslernens erläutert sowie deren historische Ursprünge in Auszügen vorgestellt.

2.1.1.1 Auszüge der Begriffshistorie

Der formale **Begriff des Lernens** beschreibt als *Grundbegriff der Pädagogik* den „Erwerb von nicht angeborenen Weltorientierungen und Handlungs- bzw. Verhaltensmöglichkeiten“ (vgl. Pollak et al. 1999, S. 351 verweist auf Steindorf 1995). Lernen nimmt mit spezifisch menschlichem Charakter und dem damit verbundenen Wahrheitsanspruch einen Wissens- und Erkenntnischarakter an. Dadurch ermöglicht Lernen einen „Zugang zu Wissen und Erkenntnis“ (vgl. Pollak et al. 1999, S. 352 verweist auf Steindorf 1985). Im weiteren Verständnis der Begrifflichkeit des Lernens bestehen zudem die Erkenntnisse der unmittelbaren Lebenserfahrung sowie der methodisch wissenschaftlichen Erfahrung. Der weniger weit gefasste und engere Lernbegriff

kann durch den abgeleiteten Wissenserwerb oder durch den einsichtigen Erwerb von Kenntnissen und Fertigkeiten beschrieben werden (vgl. Sprenger und Klafki W. 1971). Diese Begriffsdefinition stützt sich auf dem Gedanken, dass durch vermitteltes bzw. schulisches Lernen die Anschlussfähigkeit an vorhandenes Wissen vorangehender Generationen sichergestellt wird. Nach diesem Begriffsverständnis ist jedoch eine Transformation von fremdem Wissen zu eigenem Wissen durch den fehlenden Raum für selbstgemachte Erfahrungen und Entdeckungen nur eingeschränkt möglich. Aus pädagogischer Perspektive wurde daher bereits früh zwischen verschiedenen Lernformen unterschieden. Das Lernen aus Umgang und Erfahrung, auch als natürliches oder informelles Lernen bezeichnet, lässt sich nur schwerlich in einer Theorie abbilden. Der formalisierte Lernbegriff, das schulische Lernen, lässt sich hingegen aus zwei Grundformen zusammenfügen. Hierbei wird zwischen dem *Imitationslernen*, das sich durch Vormachen und Nachmachen kennzeichnet (*Meisterlehre*) und den *Lernvorgängen innerhalb eines definierten Curriculums* differenziert (Pollak et al. 1999, S. 352-353).

Die Psychologie des Lernens ist eng mit dem *Behaviorismus* (vgl. Kiesel und Koch 2012, S. 13 f. Watson 1919), der zu Beginn des 20. Jahrhunderts entstand, verbunden und vertritt die grundlegende Bestrebung das Verhalten der Menschen beziehungsweise deren Verhaltensänderung sowie Anpassungen an Umweltbedingungen zu erforschen. In Anlehnung an diese Ausrichtung kann Lernen als relativ langfristige, erfahrungsbedingte Verhaltensänderung beschrieben werden (vgl. Kiesel und Koch 2012, S. 14 Anderson 2000). Historisch kann der Behaviorismus als eine Abgrenzung zum damaligen Strukturalismus, der eine ausgeprägte theoretische Tradition sowie eine Wissenschaft der bewussten Empfindungen vertrat, bezeichnet werden. In Anlehnung an den behavioristischen Gedanken kritisierte die wissenschaftliche Psychologie die Beobachtbarkeit von subjektiven Konstrukten wie dem Bewusstsein und konzentrierte sich auf die Erforschung des beobachtbaren Verhaltens. Als einer der bekanntesten Vertreter der behavioristischen Psychologie gilt Burrhus F. Skinner, der seiner Zeit das Erklärungskonzept der Assoziation beziehungsweise die Beobachtbarkeit einer Assoziation in Frage stellte (vgl. Kiesel und Koch 2012, S. 14; Skinner 1938). Skinner konnte durch Experimente in kontrollierten Lernumgebungen einen wichtigen Beitrag zu den Entdeckungen der experimentellen Psychologie des Lernens leisten. Er definierte im Rahmen seiner Lernforschungen den Begriff der operanten Konditionierung¹, welcher sich von der Begrifflichkeit der klassischen Konditionierung abgrenzte und brachte eine *zweite Art des Lernens* hervor (Kiesel und Koch 2012, S. 11-15). Somit stellte sich auch in der Psychologie eine differenzierte Betrachtung und Diskussion des Lernbegriffes ein.

Die frühen Theorien der Psychologie zum Gegenstand des Lernens beschreiben das schulische Lernen, als den Erwerb von Kenntnis und Wissen formuliert, aus pädagogischer Perspektive nicht ohne Einschränkungen. Der Zusammenhang zwischen Lernen und Erkenntnis wird beim behavioristisch-assoziationalistischen Ansatz nicht betrachtet. Zwar berücksichtigen kognitive

¹ Skinner bezeichnete Reaktionen, die durch einen Reiz ausgelöst wurden, als respondent. Als operant bezeichnet er die einfache Reaktion eines Organismus. Somit ist ein respondentes Verhalten durch die Reaktion eines Organismus auf seine Umwelt beschrieben. Bei einem operanten Verhalten wirkt der Organismus auf die Umwelt ein. Lernen, das auf der klassischen Konditionierung und somit auf operantem Verhalten basiert, wurde als „Typ-S-Konditionierung“ (stimulus = Reiz) benannt (vgl. Lefrancois et al. 1986, S. 33).

Lerntheorien die Erkenntnis (Kognition), lassen jedoch den zuvor beschriebenen Wahrheitsanspruch des Menschen vermissen (Pollak et al. 1999, S. 352). Die Verbindung von verhaltensbezogenen und kognitiven Ansätzen der Lerntheorien fand erst statt, nachdem sich die Psychologie zunehmend von der Fixierung auf die reine Verhaltensbeobachtung löste (Rösler et al. 2007, S. 18). Lernvorgänge wurden fortan auch unter der Perspektive des *Wissenserwerbs*, des *Gedächtnisbesitzes* und der *Verarbeitung von Informationen* diskutiert. Durch diese Perspektivenerweiterung wurde das erlernte Wissen zur Voraussetzung für erfolgreiches Handeln definiert, welches durch Handlungen erneut beeinflusst werden kann (vgl. Rösler et al. 2007, S. 18 verweist auf Cranach 1994).

Der **Begriff der Arbeit** weist, wie der zuvor dargestellte Begriff des Lernens, in seiner Historie vielfältige Definitionsversuche der tangierten Wissenschaften vor. Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Mehrdimensionalität der Arbeit diskutiert und durch differenzierte Beschreibungen wie „die zwei Gesichter der Arbeit“ (vgl. Lewin 1920, S. 11) in einer ersten Annäherung dargestellt. Hinter dieser Begriffs differenzierung verbirgt sich sowohl der existenzerhaltende, mühsame Charakter der Arbeit als auch die Möglichkeit zur Weiterentwicklung und Sinnstiftung durch den Menschen. Aus arbeitspädagogischer Perspektive lässt sich der Begriff der Arbeit mit dem zielgerichteten und bewussten Handeln eines Menschen und somit mit dem Aspekt der Handlungsregulation verknüpfen. Ein vollständiges (Arbeits-) Handeln kennzeichnet sich demnach durch Planung, Ausführung und Kontrolle der eigenen Ausführung (vgl. Schelten 2009a, S. 16 f.). Aus psychologischer Perspektive setzt sich die psychische Regulation einer Arbeitstätigkeit aus den Schritten „Richten, Orientieren, Entwerfen, Entscheiden und Kontrollieren“ (vgl. Hacker 2005, S. 178 ff. verweist auf Tomaszewski 1978) zusammen und ergänzt somit die arbeitspädagogische Auffassung der Handlungsregulation. Mit der Zielsetzung durch Arbeit Entfaltungs- und Entwicklungsmöglichkeit für den Menschen zu schaffen sowie die Verknüpfung der Arbeit mit dem Gegenstand des Lernens, gründen sich die Arbeitspädagogik und die Arbeitspsychologie als Teildisziplinen der Pädagogik beziehungsweise der Psychologie. Zudem stellt die menschliche Arbeit nicht ausschließlich einen gewichtigen Untersuchungsgegenstand der wissenschaftlichen Disziplinen der *Arbeitspädagogik* und der *Arbeitspsychologie* dar. Insbesondere die Disziplin der *Arbeitswissenschaft* betrachtet die menschliche Arbeit als einen zentralen Untersuchungsgegenstand und gehört somit ebenfalls zu den relevanten Bezugswissenschaften der vorliegenden Untersuchungen.

2.1.1.2 Die Entwicklung der menschlichen Arbeit und ihre Aspektwissenschaften

Die Auffassung und somit auch die Begrifflichkeit der menschlichen Arbeit hat sich historisch sukzessive verändert und weiterentwickelt. Im Folgenden werden einzelne Etappen dieser Entwicklung sowie exemplarische Initiativen dargestellt (vgl. Schlick et al. 2018, S. 2 ff.). Zudem werden Disziplinen der Wissenschaft aufgezeigt, die sich als Gemeinsamkeit mit der menschlichen Arbeit als Erfahrungsobjekt auseinandersetzen (vgl. Schlick et al. 2018, S. 2 ff.; Schelten 2005, S. 13 ff.).

Humanisierung der menschlichen Arbeit

Nach der grundlegenden Unterscheidung zwischen der Subjekt- und Objektbezogenheit der Arbeit (Schlick et al. 2018, S. 2 verweist auf Arendt 2007), wurden fortan zunehmend subjekt-orientierte Faktoren betrachtet. Die Persönlichkeitsentwicklung als ein Ziel der menschlichen Arbeit zu formulieren, ging mit der Forderung nach individuellen Anpassungen der Arbeitsbedingungen an den Menschen einher (Schlick et al. 2018, S. 3 verweist auf Ulich 2011; Hacker und Sachse 2014). Der Bedarf die menschliche Arbeit zu humanisieren war bereits durch extreme Arbeitsbedingungen und Arbeitsbelastungen entstanden, erweiterte sich jedoch zunehmend durch die Betrachtung der individuellen Anforderungen der ausführenden Personen sowie deren Entwicklungspotenziale. Diese Entwicklung lässt sich u.a. durch die Betrachtung der staatlich geförderten Forschungsprogramme der letzten Jahrzehnte illustrieren. Das Förderprogramm „Forschung zur Humanisierung des Arbeitslebens“, initiiert vom Bundesministerium für Forschung und Technologie, förderte zwischen 1974 und 1989 bundesweit über 1600 Projekte (vgl. Herzog 1981). An dieses Programm anschließend betrachtete das Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Arbeit und Zeit“ zwischen 1989 und 2001, aufbauend auf den Erkenntnissen zu einer humanorientierten Arbeitsgestaltung, die Potenziale der Ansätze zur Integration von Technik und Arbeit. Im Jahr 2001 entstand das Rahmenkonzept „Innovative Arbeitsgestaltung - Zukunft der Arbeit“. Hierbei wurden gezielt Veränderungen im Unternehmensumfeld und der Wertschöpfungsprozesse untersucht und eingegliedert. Mit der Intention der nachhaltigen Sicherung der Innovationsfähigkeit von Unternehmen und Mitarbeitenden durch die Integration des Lernens bzw. der Kompetenzentwicklung in die Aktivitäten der Arbeitsgestaltung, wurde das Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Arbeiten - Lernen - Kompetenzen entwickeln - Innovationsfähigkeit in einer modernen Arbeitswelt“ zwischen 2006 und 2014 definiert (vgl. BMBF 2006). Das sich anschließende Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (2014 bis 2020) sieht zum Erhalt von Arbeitsplätzen und der Fähigkeit zur Wertschöpfung die Gestaltung effizienter Wertschöpfungsketten sowie die Entwicklung von Prozessinnovationen für die (wirtschaftlich und sozial verträgliche) Arbeit der Zukunft vor. Als Treiber für diese Bemühungen werden globale wirtschaftliche, gesellschaftliche und technologische Veränderungsprozesse (Bsp.: Digitalisierung, Industrie 4.0) genannt (BMBF 2014). Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales fördert mit der Initiative „Neue Qualität der Arbeit“ (INQA) kontinuierlich die Betrachtung humanorientierter Handlungsfelder wie „Personalführung, Chancengleichheit und Diversity, Gesundheit sowie Wissen und Kompetenz“ und treibt somit die menschenorientierte Arbeitsgestaltung weiter voran. Hierbei werden u.a. Gestaltungsmaßnahmen im Sinne einer gesundheitsförderlichen und partizipativen Arbeitsplatz-, Arbeitsumgebungs- und Arbeitsprozessgestaltung diskutiert (vgl. Schlick et al. 2018, S. 3 f.).

Rationalisierung und Intensivierung der Arbeit

Neben den Bemühungen und Initiativen zur Humanisierung der menschlichen Arbeit bleibt jedoch die Herstellung von Gütern und Dienstleistungen als ursprüngliches und primäres Ziel der Arbeit bestehen. Hierbei steht stets die Optimierung des Verhältnisses von Aufwand und Ertrag im Vordergrund. Dieses Wirtschaftlichkeitsprinzip beschreibt ebenfalls eine eigene historische Entwicklung, die von Maßnahmen zur Steigerung der Produktivität und der Wirksamkeit

menschlicher Arbeit begleitet wurden. Im Sinne der *Rationalisierung der Arbeit* kann diese Steigerung der Arbeitsproduktivität durch den Einsatz technischer oder organisatorischer Maßnahmen resultieren, ohne hierbei den menschlichen Input bzw. den Einsatz menschlicher Ressourcen zu erhöhen. Eine *Intensivierung der Arbeit*, demnach die Steigerung der Ausbringung (Output-Steigerung) durch eine verstärkte Beanspruchung menschlicher Ressourcen, kann ebenfalls eine Produktivitätssteigerung bewirken. In der Praxis zielen beide Vorgehensweisen auf eine Leistungssteigerung der arbeitenden Person ab. Trainings- und Ausbildungsmaßnahmen, die mit dem Gegenstand des Lernens verknüpft werden können, zielen ebenfalls auf die Leistungssteigerung des Menschen ab und werden dem Rationalisierungsgedanken zugeordnet. Aus technischer Perspektive können Werkzeuge und Maschinen (vgl. Kapitel 2.2.2.2: Funktion der *Assistenzsysteme*) menschliche Defizite oder „Organmängel“ (Schlick et al. 2018, S. 5 verweist auf Gehlen 1957) ausgleichen und zur Produktivität beitragen. Im Zusammenhang mit dem Einsatz von technischen Maßnahmen zur Rationalisierung der Arbeit wird der *Automatisierungsgrad* als einer der wichtigsten Gestaltungsparameter genannt. Dieser Parameter beschreibt in welchem Umfang ein Arbeitsprozess durch Automatisierungstechnik realisiert wurde und wie hoch der Anteil mechanischer Tätigkeiten im gesamten Arbeitsprozess liegt. Hierbei wird stets ein *optimaler Automatisierungsgrad* angestrebt. Die Ökonomie versteht darunter das Verhältnis von Investitionskosten für die Automatisierung und den entstehenden Einsparungen im Arbeitsprozess. Ein optimaler Automatisierungsgrad für den Menschen zeichnet sich dadurch aus, dass verbleibende Arbeitstätigkeit die Ausführenden weder unter- noch überfordern (vgl. Schlick et al. 2018, S. 4 f.).

Die historischen Leitbilder der Humanisierung und der Entwicklung der menschlichen Arbeit beschreiben zentrale Gegenstände der Arbeitswissenschaft. Arbeit sollte möglichst effektiv und effizient sowie menschengerecht gestaltet sein. Eine humanorientierte Rationalisierung geht davon aus, dass Effektivität und Effizienz durch humane Arbeitsbedingungen erreicht beziehungsweise gesteigert werden kann.

Problemunabhängig können für diese Begrifflichkeiten und historischen Entwicklungen grundlegende und im weiteren Sinne auch allgemeingültige Sachverhalte und Betrachtungsweisen formuliert werden. Arbeitswissenschaftliche Untersuchungen sehen häufig aufgrund komplexer Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge sowie komplexer messtechnischer Zugänge, isolierte Betrachtungen der Untersuchungsgegenstände (z. B. Leistungsmerkmale von Arbeitspersonen, Umgebungsparameter) vor. Bei einer problemabhängigen Betrachtung wird daher häufig eine spezifische und problembezogene Sichtweise eingenommen. Hierbei kann es sich beispielsweise, abhängig vom Einzelproblem, um eine naturwissenschaftliche, medizinische, psychologische oder pädagogische Betrachtung von Einzelphänomenen handeln. Bei arbeitswissenschaftlichen Gestaltungsfragen (Arbeitsgestaltung) erfolgt daher zur Reduzierung der Komplexität häufig eine Zerlegung in mehrere Teil- und Einzelprobleme, deren Lösungen später zu einer Gesamtlösung unter einer globalen Zielsetzung zusammengefasst werden. Die globale Zielsetzung hinter dieser Synthese bleibt eine Arbeitsgestaltung, die möglichst umfassend die Perspektiven aller arbeitsbezogenen Wissenschaften (*Aspektwissenschaften*) berücksichtigt (vgl. Schlick et al. 2018, S. 7).

Aspektwissenschaften und Ordnungszusammenhänge

Die arbeitsbezogenen Wissenschaften, auch als *Aspektwissenschaften* bezeichnet, betrachten mit der menschlichen Arbeit ein gemeinsames Erfahrungsobjekt. Unterschiede bei der Betrachtung des gemeinsamen Erfahrungsobjektes können durch den Bezug zur jeweiligen „Mutterdisziplin“ begründet werden (Identitätsprinzip), wodurch spezifische Betrachtungsweisen der menschlichen Arbeit entstehen (vgl. Schlick et al. 2018, S. 8 ff.). Demzufolge besteht zwar ein einheitliches Erfahrungsobjekt, jedoch keine einheitliche sondern vielmehr eine disziplinspezifische Betrachtung des gemeinsamen Erkenntnisobjektes. Daran anknüpfend lässt sich die Entstehung disziplinspezifischer Arbeitsbegriffe erklären (z.B.: Arbeit als Produktionsfaktor).

Der Beurteilung der menschlichen Arbeit liegen spezifischen Menschenbilder zugrunde. Abgeleitet aus dem Arbeitsbegriff können sich Bewertungen demnach beispielsweise auf Kosten oder Möglichkeiten zur Persönlichkeitsentfaltung beziehen. Die Gestaltungsfelder sind durch das Verhältnis von Theorie zu Praxis gekennzeichnet. Einzelne Disziplinen gelten als stärker theoretisch ausgerichtet, andere sind durch eine stärkere Praxisorientierung charakterisiert.

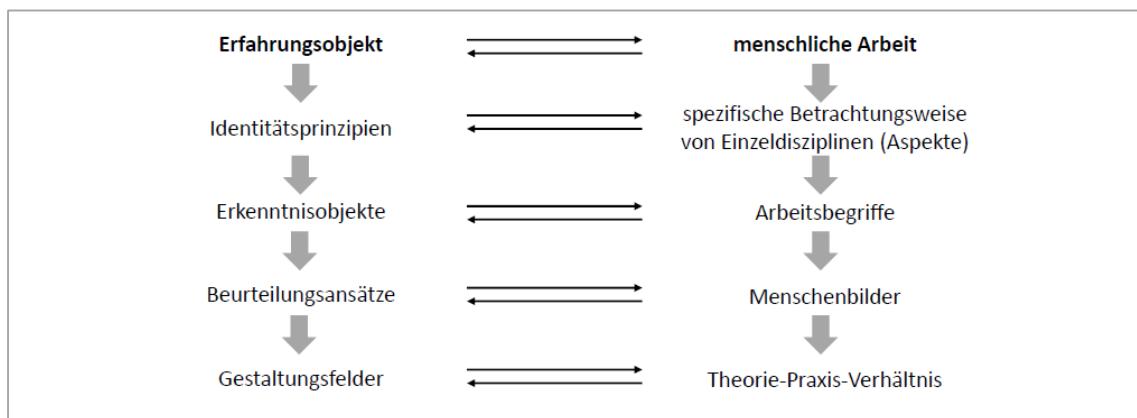


Abbildung 2.1.1-1: Theorie-Praxis-Verhältnis der Aspektwissenschaften
(Schlick et al. 2018, S. 8 verweist auf Luczak und Rohmert 1985)

Bei der Gestaltung von Arbeit sollten gezielt Wissenszusammenhänge der arbeitsbezogenen Einzelwissenschaften geprüft und berücksichtigt werden. Als Einzel- oder Aspektwissenschaften können folgende Wissenschaften genannt werden:

- Wirtschaftswissenschaften
- Soziologie
- Arbeits-, Berufs-, und Wirtschaftspädagogik
- Arbeits- und Organisationspsychologie
- Arbeitsmedizin
- Ingenieurwissenschaften

Diese Wissenschaften betrachten die menschliche Arbeit häufig unter einem Aspekt, der aus einem spezifischen Arbeitsbegriff und einem spezifischen Menschenbild hervorgeht. Somit wird von einer disziplinspezifischen (Teil-) Problemdefinition und Problemlösung ausgegangen (Bsp.: Qualifizierung von Mitarbeitenden aus der pädagogischen Perspektive zur Arbeitssystemgestaltung).

Die Ausführungen zur Begrifflichkeit der menschlichen Arbeit und deren Aspektwissenschaften verdeutlichen, dass bei der Betrachtung und der Gestaltung von Arbeit disziplinabhängige Perspektiven und Beiträge existieren. Es besteht der Bedarf diese spezifischen Ansätze in einem Ordnungszusammenhang zu vereinen und somit die Interdisziplinarität und den Gestaltungsbezug in der Arbeitswissenschaft zu stärken (vgl. Schlick et al. 2018, S. 15).

Die dargestellte zunehmende Humanisierung bzw. Subjektorientierung der Arbeit sowie die Entwicklung neuer Arbeits- und Organisationsstrukturen begünstigen die Verbreitung von Ansätzen zur Verbindung von Arbeiten und Lernen am Arbeitsplatz.

2.1.1.3 Die Wiederentdeckung des Lernens am Arbeitsplatz

Die Entwicklung des Lernens am Arbeitsplatz beschreibt die funktionelle Erweiterung des Arbeitssortes um die Durchführung beziehungsweise das Stattfinden von Lernvorgängen. Somit entwickelte sich der Arbeitsort gleichzeitig zum Lernort. Heute gilt das Lernen in der Arbeit als die älteste und bekannteste Form des betrieblichen Lernens. Bereits in den mittelalterlichen Werkstätten konnte die Verbindung des Arbeitens und des Lernens beobachtet werden. Lehrlinge wurden während ihrer Ausbildung bei der Arbeitstätigkeit durch einen Meister oder eine Meisterin sowie deren Gesellen oder Gesellin angeleitet. Der Arbeitsort wurde gleichzeitig zum Lernort und der Lernvorgang stand im direkten Bezug zu einer konkreten Arbeitsaufgabe (vgl. Rösler et al. 2007, S. 22).

Durch die fortschreitende Industrialisierung und tayloristische Arbeitsgestaltung², die sich beispielsweise durch betriebliche Rationalisierungsmaßnahmen und Aktivitäten zur Arbeitsteilung bemerkbar machten (Böhle et al. 2010, S. 337 verweist auf Manske 1987; Kieser 1993), nahmen die Verbindungsmöglichkeiten von Arbeiten und Lernen zunächst ab. Lernen im Prozess der Arbeit wurde aus organisatorischen und ökonomischen Gründen von den Betrieben als kritisch und kaum realisierbar eingestuft. Hinzu kamen Bedenken bezüglich der Berücksichtigung didaktisch-methodischer Anforderungen. Es erfolgte eine Distanzierung der beruflichen Bildung vom Arbeitsplatz. Lernen sollte fortan systematisch in zentralen Bildungsstätten stattfinden. Diese Entwicklung übertrug sich auch auf das Handwerk, welches als ein wichtiger Vertreter des beruflichen Lernens in der Arbeit galt. Lernen nahm in der Berufsbildung einen formalen und organisierten Charakter an (vgl. Dehnboestel 2016, S. 345 ff.). In der Berufsausbildung folgte der Ausbau arbeits- und produktionsunabhängiger Lernorte und die „Verschulung des Lernens“. In den 1970er Jahren konzentrierte sich die Berufsbildungsreform auf eine „Zentralisierung, Pädagogisierung und Systematisierung“ des beruflichen Lernens (Rösler et al. 2007, S. 22 verweist auf Dehnboestel 1995). Die Durchführung einer systematischen Ausbildung, die unmittelbar mit dem Arbeitsprozess verknüpft ist, erschien zu diesem Zeitpunkt unmöglich. Die technischen und

² Der Arbeitswissenschaftler Taylor führt zum Prinzip der „wirtschaftlichen Betriebsführung“ folgende Merkmale auf (Schelten 2005, S. 12 verweist auf Taylor 1977): 1) Es erfolgt die Zerlegung eines Arbeitsvorgangs in leicht zu bewältigende Teilabschnitte. 2) Diese Teilabschnitte können selbst von ungelernten Mitarbeitenden in kurzer Zeit erlernt und beherrscht werden. 3) Die Optimierung der Arbeitsabläufe und der Arbeitsplätze bieten den höchsten Beitrag zur Produktivitätssteigerung. 4) Die Maßnahmen führen zu einer höheren Ausbringungsmenge, niedrigeren Stückpreisen und höheren Löhnen.

organisatorischen Bedingungen im direkten Arbeitsumfeld galten hierbei als dominante Hindernisse. Jedoch wurden mit einer unzureichenden Aktualität und Relevanz der Ausbildungsinhalte sowie mit einer erhöhten Einarbeitungszeit kritische Effekte zentralisierter Lernorte festgestellt. Diese negativen Effekte führten dazu, dass bei der Neuordnung der Berufsbilder in den 1980er Jahren die *berufliche Handlungsfähigkeit der Lernenden* als zentrale Zielsetzung bestand und Lernen wieder einen stärkeren Bezug zur Arbeitsaufgabe aufweisen sollte. Bei der Bearbeitung von realen Arbeitsaufgaben wurde ein handlungsorientiertes Lernen in den Vordergrund gestellt. Es bestand die Forderung nach einer eigenständigen Planung, Ausführung und Kontrolle einer Tätigkeit. Häufig erfolgte diese Vorgehensweise jedoch weiterhin nicht im direkten Arbeitsprozess, sondern innerhalb von Projektaufgaben und Lehrstätten. Lernvorgänge am direkten Wirkungsort beziehungsweise Arbeitsort wurden überwiegend durch die *Beistellehre* (vgl. Imitationslernen) realisiert. Mit der Entstehung und Verbreitung neuer Arbeits- und Organisationsformen in den Betrieben wurden die Potenziale des Arbeitsortes als Lernort begünstigt (Rösler et al. 2007, S. 23 verweist auf Franke und Kleinschmitt 1987).

Dezentrales Lernen wurde in den 1990er Jahren in Modellversuchsreihen untersucht und sollte durch arbeitspsychologische sowie berufspädagogische Ansätze zum arbeitsintegrierten und arbeitsbezogenen Lernen effektiver gestaltet werden (vgl. Dehnbostel 1994). Der Fokus lag hierbei auf der Auswahl der Arbeitsplätze, der pädagogischen Betreuung von Auszubildenden und der Auswahl instruktionaler Prinzipien. Letztere beschreiben verschiedene Formen der Anleitung, Beratung und Unterstützung der Lernenden durch das Ausbildungspersonal. Beispielhaft für entwickelte Lösungen zur Dezentralisierung des Lernens kann die Errichtung von *Lerninseln* in Betrieben genannt werden. Hierbei erfolgt die Erweiterung des Arbeitsortes um eine Lerninfrastruktur. In dieser Lernumgebung sollen Auszubildende ihre Arbeitstätigkeit selbstständig planen, organisieren und kontrollieren. Neben dem direkten Bezug zur realen Arbeitstätigkeit wird zusätzlich die Zusammenarbeit in Gruppen berücksichtigt (Rösler et al. 2007, S. 23 verweist auf u.a. Bittmann und Novak 1996). Dieser Ansatz steht exemplarisch für die systematische Realisierung des arbeitsintegrierten Lernens, bei gleichzeitiger Orientierung an realen Arbeitsprozessen und betrieblichen Anforderungen (vgl. Rösler et al. 2007, S. 22 f.).

An dieser Stelle kann rekapituliert werden, dass mit der Abkehr von der Zentralisierung der Berufsbildung und der tayloristischen Arbeits- und Organisationsweise sowie der Einführung neuartiger Arbeits- und Organisationskonzepte, die Bedeutung des arbeitsbezogenen Lernens in der betrieblichen Bildung seit den 1980er Jahren stetig zunahm. Der zuvor geförderten Auslagerung des Lernens aus der Arbeit hat zu einer Distanzierung der beruflichen Bildung von den realen Handlungsanforderungen in den Betrieben geführt. Dadurch entstanden Lern- und Motivationsprobleme bei der Zielgruppe der betrieblichen Aus- und Weiterbildung. Das Lernen in organisierten Lernumgebungen bleibt ein notwendiger Bestandteil der Berufsbildung, jedoch gilt das Lernen im Betrieb mit realen Arbeitssituationen und Kompetenzanforderungen als nicht substituierbar. Moderne Arbeitsanforderungen gelten mit ihrer Situations- und Prozessbestimmtheit als weniger antizipierbar. In diesem Zusammenhang erscheint der Aufbau einer umfassenden beruflichen Handlungskompetenz in zentralen Bildungseinrichtungen als problematisch. Ohne

die Verbindung zu realen Arbeitsinhalten und Arbeitsbedingungen dominiert ein „formales Bildungsverständnis“ und eine umfassende berufliche Handlungsfähigkeit kann nur mit Einschränkungen erreicht werden (vgl. Dehnbostel 2016, S. 345 ff.). Anhand dieser Einschätzung lässt sich aufzeigen, dass Lernen in der Arbeit seit seiner Entstehung im „Spannungsfeld von informellen und formalen Kontexten und Lernumgebungen“ steht. Selbst die traditionelle Beistellehre wurde um ein instruiertes Lernen³ durch den Meister oder die Meisterin ergänzt, versteht sich jedoch vorrangig als situierter Lernvorgang⁴ und grenzt sich von formalen Lernvorgängen ab. Das Lernen im Prozess der Arbeit, das in seiner jüngeren Geschichte für einen Wettbewerbsvorteil der Unternehmen und für Entfaltungsmöglichkeiten der Mitarbeitenden steht, versteht sich als vorrangig informelles Lernen mit einer Verbindung zu formalen und informellen Lernvorgängen (vgl. Dehnbostel 2015, S. 88 ff.).

Bei modernen Lernorganisationsformen entspricht die Arbeitsinfrastruktur (Arbeitsaufgabe, Technik, Arbeitsorganisation und Qualifikationsanforderungen) weitestgehend der Arbeitsumgebung. Die Lerninfrastruktur stellt ergänzend die benötigten räumlichen, zeitlichen, sachlichen und personellen Ressourcen zur Verfügung. Das Lernen mit dieser *doppelten Infrastruktur* ist weder auf formale noch auf informelle Lernprozesse reduziert. Es bestehen Wechselbeziehungen zwischen der Arbeitshandlung und der Reflexion auf die formalen Lerninhalte der betrieblichen Bildung. Zwar werden grundsätzlich formale und informelle Lernprozesse lerntheoretisch, lernorganisatorisch sowie analytisch unterschieden, jedoch hat sich in der betrieblichen Qualifizierung ein komplementäres Verständnis beider Lernarten etabliert (vgl. Dehnbostel 2016, S. 355). Einheitliche Modelle und Typologien des Lernens in der Arbeit sind durch die unterschiedlichen Perspektiven und Standpunkte der einzelnen Aspektwissenschaften nicht zu verzeichnen. Es bestehen jedoch disziplinspezifische Modelle, die das Lernen am Arbeitsplatz differenziert betrachten und einer interdisziplinären Diskussion und Verständigung zuträglich sind (vgl. Dehnbostel 2015, 31 ff.). Auf die analytische Beschreibung betrieblicher Lern- und Wissensarten sowie auf die Theorien des betrieblichen Lernens wird tiefergehend in den folgenden Kapiteln eingegangen.

Historisch gesehen bleibt festzuhalten, dass sich durch den Wandel der Arbeit selbst (vgl. Kapitel 2.1.1.2) und durch die Veränderungen der Organisationskonzepte auch das Lernen in der Arbeit verändert hat. Den Veränderungsprozessen die einen Bedeutungszuwachs des Lernens in der Arbeit bewirkt haben („Renaissance des Lernens in der Arbeit“ (Dehnbostel 2016, 2015)) ordnet Dehnbostel (2016) ein „Ursachenbündel“ zu (vgl. Dehnbostel 2016, S. 347, 2015, S. 10 ff.). Dieses Ursachenbündel setzt sich u.a. aus den folgenden *Megatrends* zusammen:

- Internationalisierung und Globalisierung
- Informations- und Kommunikationstechnologien

³ Instruiertes Lernen erfolgt durch Anweisungen, welche über Medien wie die menschliche Sprache vermittelt werden (vgl. Fröhlich 2002, S. 242).

⁴ Situiertes Lernen ist gekennzeichnet durch die „Interaktion im sozialen Kontext einer sozialen Gruppe, einer sinnhaften und nachhaltigen Praxis sowie der Relevanz des eigenen Handelns“ innerhalb eines Lernprozesses. In einem gemeinsamen Raum findet die Kompetenzentwicklung aller Gruppenmitglieder statt. Die Gruppenzugehörigkeit ist dabei „sozial und individuell fördernd und integrierend“ (vgl. Dehnbostel 2015, S. 45).

- Digitalisierung der Arbeitswelt
- Lern- und Prozesscharakter der Arbeit
- Dienstleistungscharakter von Arbeit
- Wertewandel und Subjektivierung der Arbeit

Ergänzend zu dieser Aufführung werden der demographische Wandel, schnell wechselnde Marktbedingungen sowie beschleunigte Innovationszyklen als dominante Einflussgrößen für den zurückliegenden Wandel des Lernens in der Arbeit benannt.

Ohne die Vollständigkeit dieser Trendaufführung zu diskutieren, soll an dieser Stelle hervorgehoben werden, dass historische Entwicklungsprozesse stets einen Einfluss auf die Entwicklung der menschlichen Arbeit und die Ausrichtung der betrieblichen Bildungsarbeit hatten. Dieser kontinuierliche Wandel der Arbeit gilt historisch gesehen als allgegenwärtiger Regelprozess, der durch vielfältige, interdisziplinäre und komplexe Einflussgrößen begründet wird. Insbesondere Prognosen zur Entwicklung der Arbeit werden wegen einer häufig unzureichend vorhandenen multidimensionalen Betrachtung der Einflussfaktoren kritisch diskutiert. So bemängelt Popp (2019) die fehlerhaften Prognosen zur Zukunft der Arbeit sowie deren eindimensionale Betrachtungen (Kondratieff-Zyklen, Megatrends-Konzepte, Technikfolgen der Digitalisierung etc.), welche keine plausiblen Aussagen für die Zukunft zulassen (vgl. Popp 2019, S. 11 ff.).

Die Resultate der historischen Entwicklungsprozesse, insbesondere die dadurch entstandenen Veränderungen der betrieblichen Bildung bzw. des arbeitsbezogenen Lernens, werden in den folgenden Kapiteln zur betrieblichen Bildungsarbeit weiterführend diskutiert. Mit Bezug auf den Forschungsschwerpunkt dieser Arbeit werden insbesondere technologische, arbeitsorganisatorische und industrielle Veränderungsprozesse betrachtet. Diesen Prozessgruppen werden Einflüsse auf arbeitsbezogene Lernvorgänge zugeordnet.

2.1.1.4 Betriebliche Lernarten

Die gebräuchliche Reduzierung der betrieblichen Lernarten auf das formale und informelle Lernen wurde im vorherigen Kapitel bereits in seiner historischen Entstehung thematisiert. Bedeutend ist hierbei das komplementäre Verständnis dieser Lernarten in der betrieblichen Praxis der Qualifizierung. In diesem Kapitel wird eine lern- und bildungstheoretische Einordnung betrieblicher Lernarten als Grundlage für anknüpfende und verwandte Vorgänge des beruflichen Lernens vorgenommen. Zudem werden betriebliche Wissenskategorien benannt und deren Vernetzung mit verschiedenen Lernarten dargestellt (vgl. Dehnbostel 2015, S. 35 ff.).

Bei der Auseinandersetzung mit betrieblichen Lernvorgängen wird zwischen dem formalen und informellen Lernen als grundsätzliche Lernarten unterschieden. Das *formale Lernen* wird in seiner Begrifflichkeit als ein strukturiertes Lernen in öffentlichen Bildungsinstitutionen anerkannt. Didaktisch-methodische Kriterien richten sich hierbei nach Lehrplänen und Bildungsverordnungen mit definierten Lerninhalten. Das Erreichen definierter Lernziele wird anhand festgelegter Kriterien überprüft und führt zur Erlangung einer Qualifikation beziehungsweise einer Kompetenz. Diese Lernart sieht eine professionelle Begleitung und eine pädagogische Interaktion mit den Lernenden im Lernprozess vor.

Vergleichbar geplant und organisiert, jedoch i. d. R. außerhalb des öffentlich-rechtlichen Bildungssystems, findet das *nichtformale Lernen* statt. Die durch das Absolvieren der Qualifizierungsmaßnahmen erhaltenen Zertifikate werden nur selten auf Bildungsgänge anerkannt, da sie überwiegend außerhalb des öffentlichen Bildungssystems erworben werden.

Das *informelle Lernen* in der Arbeit findet im Vergleich zum formalen Lernen eher unsystematisch und beiläufig statt. Lernende sammeln Erfahrungen bezüglich einer Arbeitshandlung während der Durchführung. Durch die Reflexion dieser Erfahrungen bei der Arbeitshandlung kann Erfahrungswissen aufgebaut werden. Hierbei wirkt die Moderation der Reflexionsprozesse unterstützend, jedoch ist eine grundsätzliche pädagogische Betreuung des Lernprozesses nicht vorgesehen. Das Lernergebnis ist hierbei auf eine Situations- oder Problembewältigung ausgerichtet, die aus einer Arbeitshandlung hervorgeht. Die betriebliche Berufsausbildung nimmt zusätzlich eine analytische Unterscheidung im Zusammenhang mit dem informellen Lernen vor. Sowohl das *reflexive* als auch das *implizite Lernen* sind Teil informeller Lernvorgänge und tragen zum Aufbau von Erfahrungswissen bei. Daher ist bei dieser Lernart auch das *Erfahrungslernen* als Synonym gebräuchlich. Der Begriff des Erfahrungslernens stammt aus der Erwachsenenbildungarbeit der sechziger und siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts. Es erfolgte die Einbindung von Erfahrungen in Reflexionsphasen (Dehnhostel 2015, S. 42 verweist auf Beck et al. 1996). Einen weniger reflektierenden und unbewussten Charakter wird dem impliziten Lernen zugeordnet (vgl. Dehnhostel 2015, S. 42 verweist auf Polanyi 1985). Somit beschreibt das informelle Lernen die kontinuierliche Wiederholung der Abfolge von Handlung, Erfahrung und Reflexion, wobei ebenfalls unbewusste, nicht reflektierte Anteile im Lernprozess vorhanden sind.

Tabelle 2.1.1-1: Betriebliche Lern- und Wissensarten (ohne Zuordnung)
(vgl. Dehnhostel 2015, S. 36 ff.)

Betriebliche Lernarten	Betriebliche Wissensarten
Formales Lernen	Theoriewissen
Nichtformales Lernen	Handlungswissen
Informelles Lernen, Erfahrungslernen - Reflexives Lernen	Erfahrungswissen

Die hier dargestellten Lernarten dienen dem Aufbau und dem Erwerb von Wissen. Demnach lassen sich ergänzend zu den vorgestellten betrieblichen Lernarten, einzelne Arten des betrieblichen Wissens zuordnen. Der Erwerb von Theorie-, Erfahrungs- und Handlungswissen lässt sich in Verbindung mit den betrieblichen Lernarten folglich in einer vernetzten Struktur abbilden (vgl. Dehnhostel 2016, S. 355 ff., 2015, S. 40 f.).

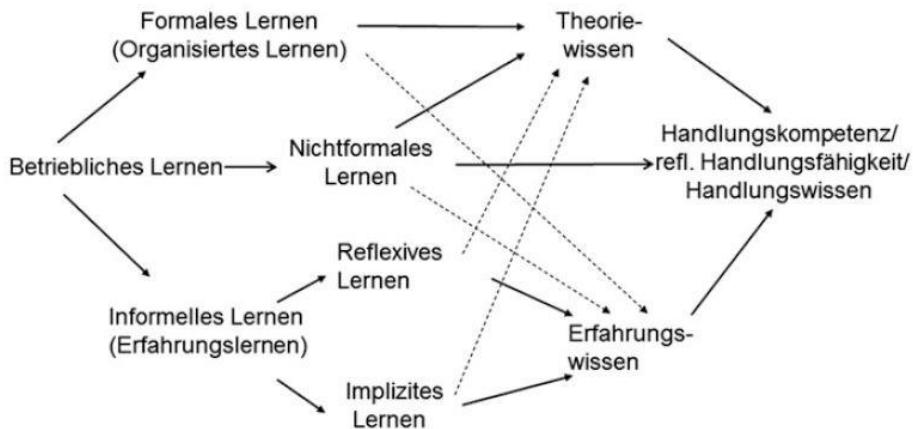


Abbildung 2.1.1-2: Vernetzung betrieblicher Lern- und Wissensarten
(Darstellung aus Dehnboestel 2016, S. 357, 2015, S. 41)

Das formale Lernen wird mit Aufbau von Theoriewissen verknüpft, welches in Kombination mit dem Erfahrungswissen zum Handlungswissen beziehungsweise zu einer reflexiven Handlungsfähigkeit und beruflichen Handlungskompetenz führt. Das nichtformale Lernen führt in seiner Verwandtschaft zum formalen Lernen ebenfalls zum Aufbau von Theoriewissen. Auch bei diesen beiden Lernarten können gemachte Erfahrungen zum Aufbau von Erfahrungswissen führen (gestrichelte Linien). Informelles Lernen, gekennzeichnet durch Lernvorgänge mit implizitem und reflexivem Charakter, führt durch seine wiederholte Abfolge von Handlung, Erfahrung und Reflexion (Internalisierung) zum Aufbau von Erfahrungswissen. Eine Theoriebildung und somit der Aufbau von theoretischem Wissen können auch beim reflexiven und impliziten Lernen erfolgen (gestrichelte Linien).

Die hier benannten Kategorien des betrieblichen Lernens und Wissens stellen insbesondere bei der Konzeption und der Beschreibung betrieblicher Lernkonzepte einen praktischen Mehrwert dar. Zudem dienen sie als Bezugsgrößen bei der Diskussion einer lern- und kompetenzförderlichen Arbeitsgestaltung. Die dargestellte analytische Differenzierung zwischen Wissen und Erfahrung wird sowohl in der Kompetenzforschung als auch in der Berufsbildung kontrovers diskutiert (vgl. Dehnboestel 2016, 351 ff.). Im Sinne einer analytischen Abgrenzung und Herleitung in Bezug auf verwandte Wissens- und Lernarten, bietet dieser schematische Ansatz dennoch einen praktikablen Bezugsrahmen für diese Arbeit.

2.1.1.5 Arbeitspädagogische Zugänge und Gegenstandsbereiche

An dieser Stelle werden Ansätze beschrieben, die bei der Betrachtung der Bezugswissenschaften bzw. der disziplinspezifischen Gegenstände des betrieblichen Lernens ordnend und klarend wirken (vgl. Schelten 2005, 2010).

Berufs- und Wirtschaftspädagogik

Die Berufs- und Wirtschaftspädagogik, als eine Hauptdisziplin der Pädagogik, ist in ihrer Historie eng mit den Berufsschulen und der Entwicklung von Lehrenden verknüpft. Zunehmende berufs-

bildende Unterrichtsanteile und eine eigenständige Bildung von Lehrpersonal der Berufsschulen, etablierten den Begriff der Beruf- und Wirtschaftspädagogik zum Ende der 1920er Jahre. Diese zentrale Aufgabe der Lehrerinnen- und Lehrerbildung besteht bis heute, wurde jedoch um weitere Aufgaben erweitert. Die Zielsetzung der Wirtschaftspädagogik besteht darin, pädagogisches Personal für den beruflichen Einsatz in Schulen und Betrieben wissenschaftlich zu bilden. Die Berufspädagogik zielt auf die Entwicklung von Berufspädagoginnen und Berufspädagogen im Arbeitsumfeld der betrieblichen Bildungsmaßnahmen an Schulen oder in Betrieben ab.

Eine zusammenhängende Betrachtung von *Beruf und Lernen* gilt als *Schwerpunkt der Berufs- und Wirtschaftspädagogik*. Unter einem *Beruf* versteht die Pädagogik die „auf Erwerb gerichteten Arbeitsverrichtungen, die in einer typischen Kombination solcher Verrichtungen zusammengehen und besondere Berufskompetenzen (Fach- und Methodenkompetenzen, Personalkompetenzen und Sozialkompetenzen) erfordern.“ Hierfür wird in der Regel eine abgeschlossene Berufsausbildung beziehungsweise ein Ausbildungsberuf, der als nichtakademische berufliche Bildung durch das deutsche Berufskonzept definiert wird, vorausgesetzt (Schelten 2010, S. 43).

Wie bei der *Mutterdisziplin*, der Pädagogik, lassen sich auch bei der Berufs- und Wirtschaftspädagogik erziehungspraktische und erziehungswissenschaftliche Aspekte differenziert voneinander betrachten. Der wissenschaftliche Aspekt konzentriert sich auf die Erforschung der Voraussetzungen, Prozesse sowie Ergebnisse, die im Zusammenhang mit der Berufserziehung stehen und auf einer theoretischen Grundlage zur Berufserziehung aufzubauen. Die Forschung findet klassischerweise in lokaler Nähe zum Lernort beziehungsweise innerhalb der Berufserziehungsstätte statt (betriebliche Ausbildungsstätten, berufliche Schulen, außerbetriebliche und außerschulische Bildungseinrichtungen). Hierbei integriert die Berufs- und Wirtschaftspädagogik „berufsfachdisziplinäre Ausrichtungen“ in geisteswissenschaftliche und empirisch sozialwissenschaftliche Forschungsmethoden. Die fachdisziplinären Zugänge stammen oftmals aus den Ingenieur-, Natur-, Human- oder Wirtschaftswissenschaften.

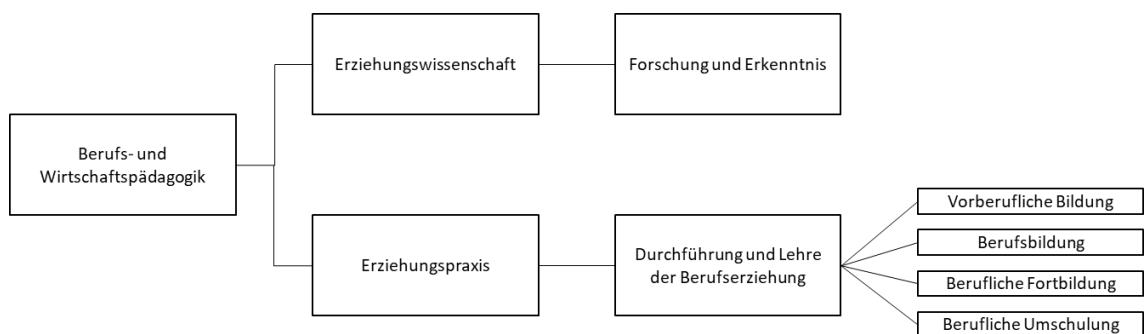


Abbildung 2.1.1-3: Verbindung von Wissenschaft und Praxis der Berufserziehung
(vgl. Schelten 2010, S. 45-49)

Die *Erziehungspraxis* konzentriert sich auf die Durchführung und die Lehre der Berufserziehung. Hierbei geht es zum einen um die Errichtung und den Betrieb von Bildungsstätten (berufliche Schulen). Zum anderen definiert die Berufs- und Wirtschaftspädagogik inhaltliche Vorgaben wie Rahmenlehrpläne und Ausbildungsverordnungen für die beruflichen Schulen. Beide genannten

Aspekte, die Erziehungswissenschaft und die Erziehungspraxis, gelten im Verbund als die Grundlage der *Berufserziehung*. Diese befasst sich im engeren Sinne mit der Berufsausbildung nach anerkannten Ausbildungsverordnungen (Berufsbildungsgesetz - BBiG). Zu der Berufserziehung werden im weiteren Sinne ebenfalls die vorberufliche Bildung, die Berufsausbildung, berufliche Fortbildungen und berufliche Umschulungen gezählt. Die berufliche Fortbildung und die betriebliche Umschulung finden zeitlich gesehen nach einer beruflichen Erstausbildung statt. Die Fortbildung strebt eine Qualifikationserweiterung beziehungsweise eine Qualifikationserhaltung an. Insbesondere in Zeiten des kontinuierlichen Wandels, beispielweise durch das Aufkommen neuer Informationstechnologien, gewinnt die berufliche Umschulung an Bedeutung in den Betrieben. Bei der Umschulung wird ein anerkannter Ausbildungsberuf angestrebt, der beispielsweise den Anforderungen des Arbeitsmarktes oder der körperlichen Konstitution einer Person besser entspricht. In diesem Zusammenhang kann auch von einer beruflichen Rehabilitation gesprochen werden. Die kaufmännisch-verwaltende Berufserziehung, die den Schwerpunkt der Wirtschaftspädagogik bildet, wird bei den weiteren Ausführungen nicht tiefergehend betrachtet. Vielmehr werden die Fragestellungen und Perspektiven der Berufspädagogik weiter ausgeführt. Auch innerhalb der Berufspädagogik existieren unterschiedliche Perspektiven und inhaltliche Schwerpunkte. Abhängig von den Anwendungsgebieten des pädagogischen Forschens und Handelns, lässt sich auch die Berufspädagogik nach Disziplinen unterteilen. Hierbei besteht kein einheitliches Modell zur Differenzierung. Nach Schelten (2010) lassen sich Haupt- und Nebendisziplinen der Berufspädagogik definieren (Schelten 2010, S. 53).

Tabelle 2.1.1-2: Disziplinen der Berufspädagogik
(vgl. Schelten 2010, S. 50-53)

Disziplinen der Berufspädagogik	
Hauptdisziplinen	Nebendisziplinen
Allgemeine Berufspädagogik	Vergleichende Berufspädagogik
Schulpädagogik beruflicher Schulen	Berufliche Rehabilitation
Betriebs- und Arbeitspädagogik	Berufsbildung Entwicklungs- und Schwellenländer
Didaktiken beruflicher Fachrichtungen	

Zu den *Hauptdisziplinen* gehören demnach die Allgemeine Berufspädagogik, die Schulpädagogik beruflicher Schulen, die Betriebs- und Arbeitspädagogik sowie die Didaktiken beruflicher Fachrichtungen. Die *Nebendisziplinen* setzen sich aus der vergleichenden Berufspädagogik, der beruflichen Rehabilitation und der Berufsbildung von Entwicklungs- und Schwellenländern zusammen.

Für die vorliegende Arbeit steht der Betrieb als Lernort im Mittelpunkt der Betrachtung. Die Pädagogik „des Lernortes Betrieb“ bildet eine eigene Disziplin in der Berufspädagogik. Die **Arbeitspädagogik**, häufig auch als Betriebspädagogik bezeichnet, adressiert pädagogische Fragestellungen die im Zusammenhang mit dem Betrieb als Lernort stehen und befasst sich als Wissenschaft und Praxis der Arbeitserziehung mit dem Zusammenhang von Arbeiten und Lernen (vgl. Schelten 2010, S. 33-56).

Gegenstände der Arbeitspädagogik

Die Arbeitspädagogik befasst sich unter dem *erziehungswissenschaftlichen Aspekt* mit der Forschung bezüglich der Voraussetzungen, der Prozesse sowie der Ergebnisse des Lernens in der Arbeit. Aus *erziehungspraktischer* Perspektive befasst sich die Arbeitspädagogik mit der *Qualifizierung von Mitarbeitenden* eines Betriebes. Die mit der Qualifizierung verbundenen **Qualifizierungsmaßnahmen** (vgl. Schelten 2005, S. 10 f.) haben das Ziel, die Bewältigung von Arbeitsaufgaben durch Mitarbeitende sicherzustellen. Exemplarisch für diese Maßnahmen können die Unterweisung, das Anlernen, das Einarbeiten, das Zulernen, das Umlernen sowie das Neulernen genannt werden.

- Bei der *Unterweisung* vermittelt eine Person, welche die Zielaufarbeitstätigkeit bereits beherrscht, methodisch die relevanten Kenntnisse, Verrichtungen und Haltungen, die zur Bewältigung der Arbeitstätigkeit notwendig sind, an Neulinge.
- Das *Anlernen* findet in der Regel außerhalb einer anerkannten Berufsausbildung statt und steht für einen kurzfristigen Ausbildungsverlauf. Dadurch grenzt sich das Anlernen von dem langfristigen Verlauf einer Berufsausbildung ab. Im Verlauf der Anlernung werden Unterweisungen durchgeführt.
- Bei der Versetzung einer Person auf einen neuen Arbeitsplatz, der jedoch artverwandt mit dem ursprünglichen Arbeitsplatz ist, wird von einer *Einarbeitung* gesprochen.
- Das *Zulernen* ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Person im Rahmen einer bekannten Arbeitstätigkeit den Umgang mit neuen Betriebsmitteln, Werkzeugen, Arbeitsverfahren oder Werkstoffen erlernt.
- Während beim Zulernen der Grad der Abweichung vom bekannten Arbeitsprozess als gering eingestuft wird, besteht beim *Umlernen* eine deutliche Abweichung von der bekannten Arbeitstätigkeit und erfordert somit einen umfangreicheren Lernprozess.
- Steht eine Person vor der Aufgabe eine gänzlich neue Arbeitstätigkeit erfolgreich auszuführen, wird von *Neulernen* gesprochen.

Die Arbeitspädagogik soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit im Sinne der *betrieblichen Arbeitspädagogik* verstanden werden und grenzt sich damit von der *Arbeitsschulpädagogik* ab, die auf die Jugendarbeit und nur indirekt auf die Erwerbsarbeit ausgerichtet ist. Die betriebliche Arbeitspädagogik befasst sich im Kern mit der **arbeitsbezogenen Qualifizierung** von Mitarbeitende eines Betriebes. Im engeren Sinne stehen dabei Qualifizierungsvorgänge außerhalb einer anerkannten Berufsausbildung im Vordergrund, die im Arbeitsleben erforderlich werden. Im weiteren Sinne können auch Qualifizierungsvorgänge im berufspraktischen Teil einer Berufsausbildung als Gegenstandsbereich der betrieblichen Arbeitspädagogik angesehen werden. Diese entsprechen jedoch nicht dem gängigen Verständnis dieser Disziplin.

Die Möglichkeiten und Grenzen der betrieblichen Arbeitspädagogik richten sich nach der Arbeitsorganisation der Betriebe. Bei einer weitestgehend tayloristischen Arbeitsorganisation besteht eine hohe Arbeitsteilung, wodurch sich der Arbeitsumfang und der Handlungsspielraum bei der Arbeit reduziert. Das tayloristische Prinzip spricht dabei von einer „Trennung des Denkens und des Tuns“. Am Arbeitsplatz dominiert die körperliche Arbeit, die geistige Arbeit verlagert sich in die Abteilungen der Arbeitsvorbereitung. Als Gegenstand der Arbeitspädagogik verbleibt im Umfeld dieser Arbeitsorganisation das Anlernen von Mitarbeitenden (ungelernt) auf der Ausführungsebene für verhältnismäßig einfache, stark unterteilte Arbeitstätigkeiten. Mit dieser Einschränkung begründet Schelten (2010) die „zögernde Beschäftigung der Erziehungswissenschaft mit arbeitspädagogischen Fragestellungen“ und die damit verbundene Position, dass arbeitspädagogische Probleme als wenig pädagogisch angesehen werden (vgl. Schelten 2010, S. 59–60). Auch umfangreiche Studien (Schelten 2010 verweist auf Riedel 1940, 1962, 1967) die zwar den Bildungswert der Arbeit bei der selbstständigen Auseinandersetzung herausstellen, sich jedoch auf eine ganzheitlich-handwerkliche Arbeit beziehen, haben an dieser Ansicht nichts geändert. Jene Ausführungen wurden als Kritik am tayloristischen Prinzip angesehen. Generell bestand in den 1970er Jahren die Kritik, dass die Arbeitspädagogik weniger die arbeitsorganisatorischen Bedingungen selbst zum Gegenstand der Untersuchungen mache, sondern überwiegend die Methodologie des Arbeitslernens betrachtete (Schelten 2005, S. 13 verweist auf Stratmann 1975). Bei modernen Arbeitskonzepten wird von einer weniger stark ausgeprägten tayloristischen Arbeitsorganisation ausgegangen, wodurch sich der Bezugsrahmen der Arbeitspädagogik erweitert. Ein höherer Anteil ganzheitlicher Arbeitstätigkeiten führt zu erhöhten Qualifikationsanforderungen. Arbeitstätigkeiten unterliegen im Verlauf eines ökonomischen und technisch-produktiven Wandels hohen Veränderungsraten, wodurch sich das Tätigkeitsbezogene Wissen regelmäßig und kurzyklisch ändert. Somit werden häufige Qualifizierungsmaßnahmen notwendig. *Lernende Unternehmen*, gekennzeichnet durch flache Hierarchien, Dezentralisierung, gruppen- und bereichsübergreifende Zusammenarbeit, Team- und Prozessorientierung sowie flexible Fertigungskonzepte, ermöglichen kontinuierliche Wissens- und Veränderungsprozesse.

Schelten (2005) unterscheidet innerhalb der Arbeitspädagogik zwischen zwei Veränderungsgrößen (vgl. Schelten 2005, 13 ff.). Die *Humanisierung des Arbeitslebens* hat seit den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts die Abkehr von den tayloristischen Arbeitsprinzipien und neue Formen der menschlichen Arbeit eingeleitet. Als charakteristische Arbeitsformen sind der Arbeitsplatzwechsel (*Job-Rotation*), die Arbeitserweiterung (*Job-Enlargement*), die Arbeitsbereicherung (*Job-Enrichment*) und die teilautonome Gruppenarbeit zu nennen. Diesen Ansätzen wurde eine Förderung ganzheitlicher Arbeitskonzepte zugeschrieben (vgl. Kapitel 2.1.1.2).

Als zweite Veränderungsgröße wird der *ökonomisch, technisch-produktive Wandel* aufgeführt. In den 1980er Jahren nahmen Tätigkeiten direkt am Werkstück ab und indirekte Tätigkeiten wie die Planung, die Vorbereitung und die Steuerung nahmen durch rechnergesteuerte, automatisierte Fertigungen zu. Diese Entwicklung wird auf die Einführung von Informations- und Kommunikationstechniken zurückgeführt. In den 1990er Jahren stand die Produktivitätssteigerung im Vordergrund. Fortan bestand die Bestrebung die Flexibilität und eine hohe Ergebnisqualität der

handwerklichen Arbeit mit der Schnelligkeit sowie den geringen Stückkosten der Fließbandfertigung in ein ökonomisch optimales Verhältnis zu bringen und dabei einen möglichst geringen Ressourceneinsatz aufzuweisen. Diese „schlanken Produktionskonzepte“ (*Lean Production*) fanden insbesondere in der Automobilindustrie Anwendung (Schelten 2005, S. 15 verweist auf Womack et al. 1992). Die Welle der Rationalisierung war eng mit dem Humanisierungsgedanken des vorangehenden Jahrzehntes verknüpft. Die Verdichtung der Arbeitstätigkeiten bei gleichzeitiger Reduzierung des Personaleinsatzes erforderte lernende Unternehmen mit einer flachen Hierarchie, flexiblen Fertigungstechniken sowie teamorientierten Arbeitsorganisationen. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts war die Arbeitsorganisation durch eine stringente Orientierung an Wertschöpfungsprozessen und deren Optimierung gekennzeichnet. Die funktions- und berufsorientierten Ansätze der Arbeitsorganisation traten zunehmend in den Hintergrund. Vielmehr traten Aufgaben, die über die eigentliche Facharbeitertätigkeit hinausgingen, in den Vordergrund und involvierten Mitarbeitende tiefergehend in den Gesamtprozess der Arbeit. Eigenständige Fehlererkennung, Korrekturen, das Ableiten von Maßnahmen und eine flexible Reaktion auf Veränderungen werden von den Mitarbeitenden seitens des Unternehmens erwartet und unterstützen eine kontinuierliche Verbesserung der Wertschöpfungsprozesse. Unterstellt man einen raschen und kontinuierlichen Wandel, kann eine hinreichende Qualifizierung, infolge sich rasch verändernder Arbeitstätigkeiten, während der Berufsausbildung vermutlich nicht gelingen. Diese Wissensinhalte werden im Rahmen von arbeitsbezogenen Qualifizierungsvorgängen zeitlich nach der Berufsausbildung vermittelt (vgl. Schelten 2005, S. 16).

Der höhere Anteil an ganzheitlichen sowie komplexen Tätigkeiten moderner Arbeitskonzepte kann zu erhöhten Qualifikationsanforderungen führen. Zudem ruft die hohe Veränderungsrate des benötigten Wissens zu einer Arbeitstätigkeit einen stetigen Qualifizierungsbedarf hervor. Somit nimmt die Bedeutung des arbeitsbezogenen Lernens, als Gegenstand der Arbeitspädagogik, im Zuge des ökonomisch, technisch-produktive Wandels zu. Die pädagogische Betrachtung von arbeitsbezogenen Qualifizierungsvorgängen beinhaltet neben der Vermittlung der Qualifikationen, den Anspruch einer geförderten Denk- und Lernbefähigung. Hierdurch sollen Mitarbeitende befähigt werden, in einem sich rasch wandelnden Umfeld selbstständig auf neue Anforderungen reagieren zu können (humane Befähigung).

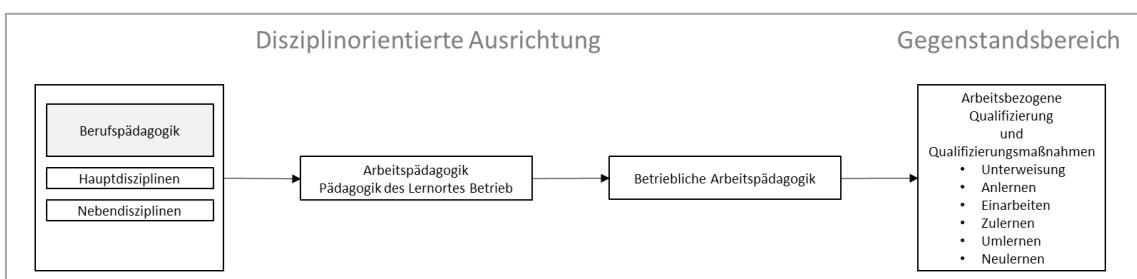


Abbildung 2.1.1-4: Orientierung an der betrieblichen Arbeitspädagogik
(zusammengetragen aus Schelten 2005, S. 10 f., 2010, S. 50 ff.)

Das arbeitsbezogene Lernen, das im Sinne der Arbeitspädagogik für den Zusammenhang von Arbeiten und Lernen steht, kann als ein interdisziplinär angelegter Begriff verstanden werden.

In Anlehnung an den Gegenstand der menschlichen Arbeit und dessen Aspekt- bzw. Einzelwissenschaften (vgl. Kapitel 2.1.1.2), betrachtet die Arbeitspädagogik die Verbindung von Arbeiten und Lernen aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen. Diese Wissenschaften stehen für die Interdisziplinarität der Arbeitspädagogik und umfassen sowohl Geistes-, Sozial-, Ingenieur-, Natur-, Gesundheits- und Wirtschaftswissenschaften. In dieser Vielfalt bezüglich der Wissenschaftsrichtungen wird die Komplexität bei der Erklärung des Zusammenhangs von Arbeiten und Lernen angedeutet. Eine disziplinübergreifende Betrachtung wird mit Einschränkungen ebenfalls in der vorliegenden Arbeit angestrebt und äußert sich u.a. durch die wiederkehrende Nutzung von ausgewählten Theorien und Erkenntnissen der angeführten Bezugswissenschaften.

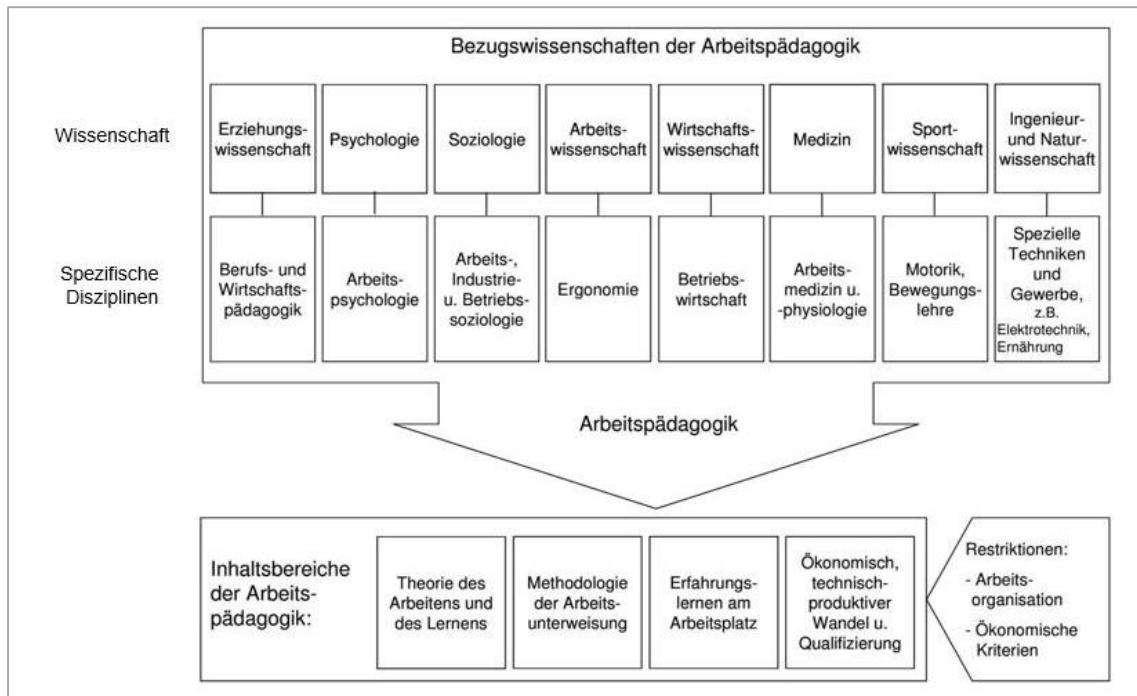


Abbildung 2.1.1-5: Bezugswissenschaften und Inhaltbereiche der Arbeitspädagogik
(Darstellung nach Schelten 2005, S. 18)

Mit dem Bezug zu diversen Wissenschaften werden der Arbeitspädagogik nach Schelten (2005) *vier Gegenstandsbereiche* zugeordnet. Die *Theorie des Arbeitens und Lernens*, die *Methodologie der Arbeitsunterweisung*, das *Erfahrungslernen am Arbeitsplatz* sowie der *ökonomisch, technisch-produktive Wandel und die Qualifizierung* unterliegen als Ergebnisse der Arbeitspädagogik dabei fortwährend dem Einfluss der vorherrschenden Arbeitsorganisation und der ökonomischen Prinzipien. In einem Ordnungsschema lässt sich das Zusammenwirken der spezifischen Perspektive der Arbeitspädagogik, verstanden als eine Ausgliederung aus der Hauptdisziplin der Pädagogik, sowie deren Gegenstandsbereiche und interdisziplinären Bezugswissenschaften abbilden (vgl. Abbildung 2.1.1-5). Diese schematische Darstellung unterstützt die Darlegung des theoretischen Bezugsrahmens dieser Arbeit und die Auswahl disziplinspezifischer Begriffe des menschlichen Lernens und Arbeitens.

Der dargestellte arbeitspädagogische Zugang zum Lernen am Arbeitsplatz (nach Schelten) entspricht weitestgehend der begrifflichen und systemischen Zuordnung des Verbandes für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (vgl. Bunk 1991), die sich an dieser Stelle ergänzend einbringen lässt. Demnach befasst sich die Arbeitspädagogik im Kern mit der Praxis, der Lehre sowie der Wissenschaft des menschlichen Lernens am Arbeitsplatz und entspricht somit der grundsätzlichen Ausrichtung des zuvor ausgeführten Ansatzes nach (Schelten 2005, 2009a, 2010). Als Grundlage für die Differenzierung in einzelne Elemente und deren Zusammenhänge verweist der Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (REFA) auf das „System der Arbeitspädagogik“ (vgl. Abbildung 2.1.1-6). Hierbei wird zwischen Zielen, Prozessen, personalen und sachlichen Bedingungen sowie Ergebnissen der Arbeitspädagogik unterschieden (vgl. Bunk 1991, S. 12 ff.).



Abbildung 2.1.1-6: System der Arbeitspädagogik
(Darstellung nach Bunk 1991, S. 13)

Aus dieser Darstellung werden ebenfalls die Wirkungen der äußeren Einflüsse, hier als *sachliche Bedingungen* formuliert, auf die Maßnahmen und Gegenstände der Arbeitspädagogik ersichtlich. Spezifiziert werden die Ziele der Arbeitspädagogik formuliert. Mit Blick auf die *Persönlichkeitsbildung* steht insbesondere die Autonomie, die Verantwortung (Ethos) und die Partizipation im Vordergrund. Die Beherrschung verschiedenster Arbeitstätigkeiten begünstigt die Möglichkeiten der Selbstbestimmung und zur Unabhängigkeit. Zudem soll sich beim Erlernen einer Tätigkeit ein Verantwortungsempfinden für die eigenen Tätigkeiten und das eigene Arbeitsergebnis entwickeln. Die Einordnung der eigenen Arbeitstätigkeit in die Strukturen des Arbeitsumfelds befähigt zur Mitwirkung an humanen Arbeitsgestaltungen. Dieses Ziel der Persönlichkeitsentwicklung stellt sich eher indirekt und maßgeblich oberhalb der Verbindung von Lernen und Arbeiten ein.

Als ein weiteres Ziel der Arbeitspädagogik wird die *Verhaltensänderung* in ihre kognitiven, motorischen und affektiven Anteile gegliedert. Diese Zielsetzung entspricht der Auffassung, dass (betriebliches) Lernen in seiner Wirkung als Verhaltensänderung beobachtet werden kann (vgl.

Kapitel 2.1.1.1). Im Hinblick auf eine Unterweisung im betrieblichen Umfeld erscheint die genauere Beschreibung der Verhaltensänderung insbesondere bei der praktischen Anwendung als notwendig. Die affektiven Verhaltensanteile beschreiben ein stellungnehmendes Verhalten sowie eine innere Einstellung und Haltung. Diese Bereiche sind mit Bezug auf eine Unterweisung beispielsweise für Qualitätsprüfungen, die auf ein ausgeprägtes Verantwortungsbewusstsein abzielen, von besonderer Relevanz. Dem kognitiven Bereich werden denkende, erkennende und wahrnehmende Verhaltensmuster zugeordnet. Hierbei stehen das Wissen und die Kenntnisse einer Person im Vordergrund. Der motorische Bereich betont die sichtbaren Handlungen und Bewegungen einer Person. Diese motorischen Anteile einer Verhaltensänderung haben eine hohe Relevanz für bewegungsbetonende Arbeiten, wie sie beispielsweise in der Fertigung anzu treffen sind. Die Ausprägung dieser Anteile richtet sich nach der zu erlernenden Arbeitstätigkeit beziehungsweise nach der Gestaltung der Unterweisung. Mit dem Anspruch auf eine ganzheitliche Verhaltensänderung beziehungsweise eines ganzheitlichen Lernens, betont die Arbeitspädagogik die Verknüpfungen dieser Verhaltensbereiche. Denken, Handeln, Fühlen und eine wertende Einstellung lassen sich kaum voneinander trennen. Die Anteile der Verhaltensbereiche können variieren, ein isoliertes Lernen der einzelnen Anteile kann jedoch nicht erfolgen.

Als eine weitere Zielsetzung der Arbeitspädagogik wird die Qualifizierung von Mitarbeitende eines Betriebes formuliert. Darunter versteht die Arbeitspädagogik die Erlangung verschiedener Kompetenzen. Eine Qualifikation wird mit einer fachlichen Fähigkeit und mit der Übernahme von Arbeitsverantwortung verbunden. Es wird eine Qualifikation beziehungsweise eine Fachkompetenz erworben. Die Methodenkompetenz begünstigt die Anpassungsfähigkeit und Vielseitigkeit einer Person und trägt somit zur Flexibilität bei. Die Sozial- und Mitwirkungskompetenz betonen den humanitären und partizipativen Charakter der menschlichen Arbeit. Die Fähigkeit zur Zusammenarbeit und zur aktiven gemeinsamen Gestaltung des Arbeitslebens sollen entwickelt werden. Die Arbeitspädagogik beansprucht den Erwerb dieser Kompetenzen zu unterstützen und inhaltlich zu gestalten. Hierfür stellt die Arbeitspädagogik verschiedene *Grundformen* (Unterweisung, Unterricht, Menschenführung) und *Prozesse* bereit (vgl. Bunk 1991, S. 12-21).

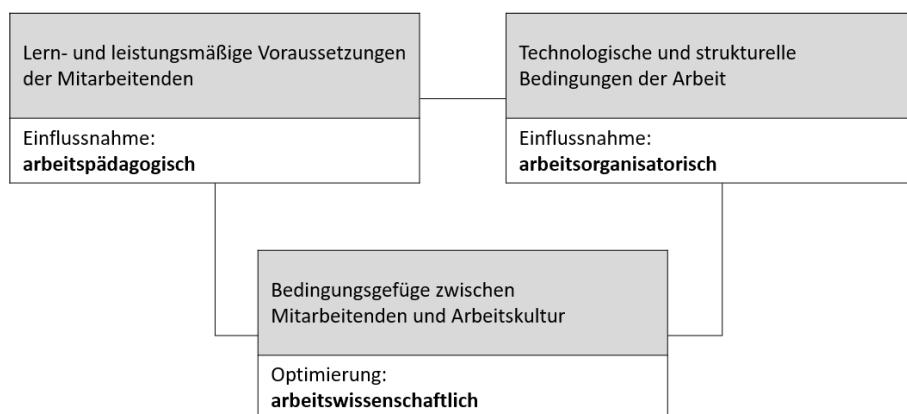


Abbildung 2.1.1-7: Arbeitspädagogische und arbeitsorganisatorische Einflüsse
(Darstellung nach Bunk 1991, S. 58)

Bei der Zusammenfassung der Gegenstandsbereiche, Maßnahmen und Methoden der Arbeitspädagogik ist die ausgeprägte Subjektorientierung dieser Disziplin erkennbar. Die Arbeitspädagogik richtet ihre Einflussmöglichkeiten auf die lernenden Personen eines Betriebes (vgl. Abbildung 2.1.1-7). Den Einfluss der Arbeitsorganisation skizziert Bunk (1991) in einem *Bedingungsgefüge* von Mitarbeitenden und Arbeitsstruktur (vgl. Bunk 1991, S. 58). Die technologischen und strukturellen Eigenschaften der menschlichen Arbeit fallen unter den Einfluss der Arbeitsorganisation. Der Einfluss auf das Lernen und die Leistung von Mitarbeitenden werden von der Arbeitspädagogik gestaltet. Mit ihrer Verbindung zueinander stehen diese beiden Aspekte unter dem Einfluss der Arbeitswissenschaft, welche die Optimierung dieses Bedingungsgefüge aus arbeitspädagogischer und arbeitsorganisatorischer Perspektive anstrebt.

Die Darlegung ausgewählter Ordnungsschemen beziehungsweise Systeme der Arbeitspädagogik dient an dieser Stelle primär der wissenschaftlichen Orientierung und der spezifischen Zuordnung von Gegenstandsbereichen. Die Arbeitspädagogik wurde als Disziplin von anderen Wissenschaften und Disziplinen bezüglich ihrer dominanten Gegenstandsbereiche abgegrenzt, während gleichzeitig auf die Relevanz mehrerer Bezugswissenschaften für die vollumfängliche Betrachtung arbeitspädagogischer Untersuchungen aufmerksam gemacht wurde. Nach diesen ordnungsorientierten Ausführungen erfolgt die Darstellung verschiedenartiger Tätigkeiten und Maßnahmen der Arbeitspädagogik, die im betrieblichen Umfeld das Lernen am Arbeitsplatz (arbeitsplatzbezogene Qualifizierung und arbeitsplatzbezogenes Lernen) ermöglichen und unterstützen.

2.1.1.6 Varianten und Konzepte des arbeitsbezogenen Lernens

Das arbeitsbezogene Lernen ist als Begriff semantisch weit gefasst. Die bereits in der Ausarbeitung genannten Begrifflichkeiten wie *Lernen am Arbeitsplatz*, *Lernen in der Arbeit* oder *arbeitsplatznahe Lernen* sind häufig anzutreffende Synonyme. Als ein Merkmal zur Begriffsspezifizierung kann nach Dehnhostel (2007) das Verhältnis zwischen Lern- und Arbeitsort genannt werden (vgl. Dehnhostel 2007, S. 44 ff.). Dieser lernorganisatorische Ansatz beschreibt verschiedene Modelle des arbeitsbezogenen Lernens. Differenziert wird grundsätzlich zwischen dem *arbeitsgebundenen Lernen*, dem *arbeitsverbundenen Lernen* und dem *arbeitsorientierten Lernen*. Ge nannte Modelle (Rein- und Mischformen) des arbeitsbezogenen Lernens sowie entsprechende Lernkonzepte werden an dieser Stelle komprimiert dargestellt (vgl. Dehnhostel 2015, S. 30-36).

Arbeitsgebundenes Lernen

Das *arbeitsgebundene Lernen* beschreibt Lernen durch das Arbeitshandeln im realen Arbeitsprozess oder durch Instruktion und systematische Unterweisung am Arbeitsplatz, wobei der Arbeitsort dem Lernort entspricht. Das Lernen durch die direkte Arbeitshandlung im Arbeitsprozess bezieht im Idealfall sowohl kognitive, affektive als auch psychomotorische Dimensionen zu gleichen Anteilen ein. Lernen durch Imitation sowie durch Vor- und Nachmachen, wie es die traditionelle Beistellehre beinhaltet, gelten als Urformen dieser Lernvorgänge im Arbeitsprozess. Auch die *Anpassungsqualifizierung* sowie das *Learning on the Job* können als Lernkonzepte dieser Variante des arbeitsbezogenen Lernens zugeordnet werden.

Lernen durch *Instruktion und systematische Unterweisung* findet im betrieblichen Umfeld häufig im Rahmen von Anpassungs- und Einstiegsqualifizierungen statt. Diesem Konzept können klassische Anlern- und Unterweisungsformen bzw. Qualifizierungsmaßnahmen (Bsp.: Vier-Stufen-Methode) zugeordnet werden. Als aktuelleres Konzept der Instruktionspsychologie ist in diesem Kontext der Ansatz des „Cognitive Apprenticeship“ (Dehnhostel 2015, S. 34 verweist auf Collins et al. 1989) relevant. Hierbei werden die Elemente der klassischen Handwerkslehre auf die Vorgänge zum Erwerb kognitiver Kompetenzen übertragen. Eine Kompetenzentwicklung und reflexive Handlungsfähigkeit, wie es selbstgesteuerte und ganzheitliche Methoden anstreben, wird durch die hier genannten Maßnahmen und Konzepte nur mit Einschränkungen erreicht.

Arbeitsverbundenes Lernen

Sind Lern- und Arbeitsort getrennt, weisen jedoch eine räumliche sowie arbeitsorganisatorische Verbindung auf, wird von *arbeitsverbundenem Lernen* gesprochen. Bei der Nutzung aktueller Lernorganisationsformen bzw. Konzepten wie Lerninseln und Lernstätten, soll Lernen durch die Integration formaler und informeller Lernarten stattfinden. Dieses Modell nimmt in der betrieblichen Bildung einen hohen Stellenwert ein und ist vorrangig bei Groß- und Kleinbetrieben verbreitet.

Lernen, hervorgerufen durch Hospitationen und Betriebserkundungen, ist als formale Maßnahme mit überwiegend informellen Ansätzen des Lernens über Erfahrungen zu verstehen und bildet ein eigenes Modell des arbeitsbezogenen Lernens. Betriebliche Praktika, wie sie beispielsweise für Studierende angeboten werden, sollen vornehmlich erste Erfahrungen in der Arbeitswelt ermöglichen. Betriebliche Erkundungen zielen häufig auf externe Bereiche und Wissensinhalte ab, die im eigenen Unternehmen (oder Geschäftsabteilung) nicht vertreten sind. Systematische Betriebserkundungen können auch Teil des Erwerbs einer arbeitsplatz- oder berufsspezifischen Qualifikation sein (Rotation).

Arbeitsorientiertes Lernen

Arbeitsorientiertes Lernen findet an zentralen Lernorten mit einer räumlichen Trennung zum Arbeitsort statt. Bei der Bearbeitung von Übungs- und Auftragsarbeiten wird eine möglichst hohe Annäherung (Simulation) an die Arbeitsrealität angestrebt, so wie es beispielsweise in berufsbildenden Schulen und Bildungszentren vorkommt. Trotz unterschiedlicher Lernorganisationsformen bleibt der Bezug zur betrieblichen Arbeit und den Arbeitsprozessen vertreten. Lernen durch die Simulation von Arbeitsprozessen findet typischerweise in Schulen oder innerhalb inner-, über- oder außerbetrieblicher Bildungsstätten statt. Als verbreitete Konzepte sind Lernfabriken, Übungsfirmen und Produktionsschulen zu nennen. Durch die möglichst realitätsnahe Lernsituation beziehungsweise Simulation der Arbeitsprozesse, soll der Erwerb komplexer Qualifikationen und Erfahrungen begünstigt werden. Dies beinhaltet auch die Reflexion der Lerngegenstände. Zwar kann durch die Simulation kein authentisches Erfahrungslernen stattfinden, jedoch wird der Lernprozess durch realitätsnahe Arbeitsbedingungen angereichert.

Im Hinblick auf den „Erwerb einer umfassenden beruflichen Handlungskompetenz“ verweist Dehnhostel (2015) auf den „wechselseitigen und komplementären Bezug“ zwischen den Modellen und Konzepten des arbeitsbezogenen Lernens und empfiehlt somit eine variable Nutzung

der dargestellten Modelle (Dehnhostel 2015, S. 36). Die Modelle und Konzepte des arbeitsbezogenen Lernens, die an dieser Stelle eingeführt wurden, dienen der grundsätzlichen Begriffseinführung und -differenzierung. Exemplarisch genannte Konzepte, welche die Intention der jeweiligen Modelle des arbeitsbezogenen Lernens lernorganisatorisch anwenden, geben Hinweise auf die praktische Umsetzung im betrieblichen Umfeld.

Die Anwendung der Modelle beziehungsweise der methodisch-didaktischen Ansätze erfolgen i.d.R. im Rahmen von Qualifizierungsmaßnahmen. Diese Qualifizierungsmaßnahmen sind dabei, unter dem erziehungspraktischen Aspekt der Arbeitspädagogik, als notwendige Maßnahmen für die erfolgreiche Bewältigung von Arbeit durch Arbeitspersonen zu verstehen. Als dominante Qualifizierungsmaßnahmen wurden in diesem Zusammenhang das Anlernen und die Unterweisung eingeführt. Die hier betrachtete Begrifflichkeit der menschlichen Arbeit ist im Verständnis der (betrieblichen) Arbeitspädagogik eng mit dem menschlichen Handeln verbunden und daher handlungsregulatorisch ausgerichtet. Die Prinzipien der Handlungsregulation sind demnach insbesondere beim Erlernen einer (Arbeits-) Handlung relevant und werden in den folgenden Kapiteln als theoretische Grundlage für das arbeitsplatznahe Erlernen von manuellen Montagetätigkeiten ausführlich dargestellt (vgl. Schelten 2010, S. 57 f.).

2.1.2 Grundlagen zur Beschreibung und Analyse des Arbeitslernens

An dieser Stelle werden theoretische Modelle erläutert, die durch ihren strukturellen und ordnenden Charakter die Beschreibung sowie die Analyse von Arbeitshandlungen und -tätigkeiten ermöglichen. Es erfolgt zunächst die begriffliche Erläuterung sowie die überwiegend psychologische Charakterisierung von Arbeitstätigkeiten und der menschlichen Handlung. Hierbei werden theoretische Modelle des Arbeitshandelns dargestellt und im Anschluss deren Implikationen für das betriebliche Arbeitslernen bzw. für das Erlernen berufsmotorischer Fertigkeiten erläutert. Betont wird dabei der klärende und ordnende Beitrag, den die Theorie der Handlungsregulation zur Beschreibung sowie zur Analyse des Arbeitslernens für die Berufs- und Arbeitspädagogik leistet.

2.1.2.1 Psychologische Analyse und Struktur der Arbeitstätigkeit

Zunächst erfolgt eine begrifflich-psychologische Näherung hinsichtlich der menschlichen Arbeit als Untersuchungsgegenstand. In diesem Kontext werden bereits tätigkeits- und handlungstheoretische Aspekte der Arbeit bzw. der Arbeitstätigkeit in Anlehnung an Hacker (1998, 2005; 2014) und Leontjew (1977) beschrieben, welche nachfolgend als Basistheorien der Arbeitshandlung ausführlicher dargelegt werden.

Begriffserläuterung und psychische Aspekte

Obwohl Arbeit nach Volpert (2003) als *Grundform menschlicher Tätigkeiten* keine psychologische, sondern eine ökonomische Kategorie bildet, nehmen Arbeitstätigkeiten in der Psychologie als Untersuchungsgegenstand eine bedeutende Rolle ein. Die Arbeitspsychologie versucht die Besonderheiten und psychischen Aspekte von Arbeitstätigkeiten zu klären. Hierbei finden Arbeitstätigkeiten in einem wirtschaftlichen Prozess als Bestandteil eines Arbeitsprozesses statt.

Am Ende eines wirtschaftlichen Prozesses steht ein (verwertbares) Resultat, das unter definierten Bedingungen erzielt wurde. Damit nimmt jede Arbeitstätigkeit den Charakter eines *Arbeitsauftrags* an, der den Ausgangspunkt psychologischer Tätigkeitsanalysen bildet. Durch diese Charakterisierung lässt sich bereits eine erste Begriffs differenzierung durchführen. Tätigkeiten werden im Allgemeinen als Vorgänge zur Auftragserfüllung verstanden. Arbeitstätigkeiten haben demnach das Ziel einen Arbeitsauftrag zu erfüllen, der einen betriebswirtschaftlichen Sacherhalt abbildet. Eine *Aufgabe*, als ein Sachverhalt der Psychologie, entsteht bei der Übernahme eines Arbeitsauftrags (vgl. Hacker und Sachse 2014, S. 40 ff.).

Die Arbeitstätigkeit wird im Hinblick auf ihre psychologischen Aspekte als *bewusste, volitive und zielgerichtete Tätigkeit* bezeichnet. Als Teilmenge zielgerichteter Tätigkeiten beschreiben Arbeitstätigkeiten, gekennzeichnet durch die gesellschaftliche Arbeitsteilung, eine besondere Art der Zielgerichtetetheit. Die Befriedigung der Grundbedürfnisse erfolgt nicht durch das Arbeitsergebnis selbst, sondern durch den Einsatz bzw. Austausch des erhaltenen Lohns gegen Ware am Markt (Hacker und Sachse 2014, S. 32 verweist auf Gorz 1994). Das angestrebte Resultat existiert bereits gedanklich, bevor es von außen sichtbar wird (Antizipation). Somit erhält das Resultat eine *regulative Funktion* bezüglich der gesamten Arbeitstätigkeit. Durch kognitive Leistungen des Menschen erfolgt die gedankliche (ideelle) Vorwegnahme des Resultats als Handlungsziel. Weitere kognitive Prozesse erfordern der Entwurf von *Ziel-Mittel-Beziehungen*. Dahinter verbirgt sich die innere Planung und Kontrolle zu jedem Handlungsabschnitt. Die anschließende Bewertung der einzelnen Abschnitte erfolgt im Abgleich mit dem Ziel und bezieht sich somit weniger auf den Verlauf, sondern hauptsächlich auf das Resultat. Diese reflexive Auseinandersetzung mit der eigenen Tätigkeit findet innerhalb des Arbeitsprozesses beziehungsweise während der Tätigkeitsausführung statt. Der Mensch setzt sich kritisch mit der eigenen Tätigkeit auseinander und verändert bei längerer Tätigkeitsausführung seine Qualifikation, psychophysischen Zustände und Bedürfnisse. Zu jedem Arbeitsauftrag werden i.d.R. Bedingungen (Bsp.: Toleranzbereiche und Vorgabezeiten) definiert. Sollten diese Bedingungen sich teilweise widersprechen, kann zumindest für Teilaufgaben ein *Problemlösungscharakter* entstehen. Es kann festgehalten werden, dass Arbeitstätigkeiten sowohl kognitive als auch physische Anforderungen beinhalten und daher körperliche sowie geistige Tätigkeiten abbilden (vgl. Hacker und Sachse 2014, S. 31-34).

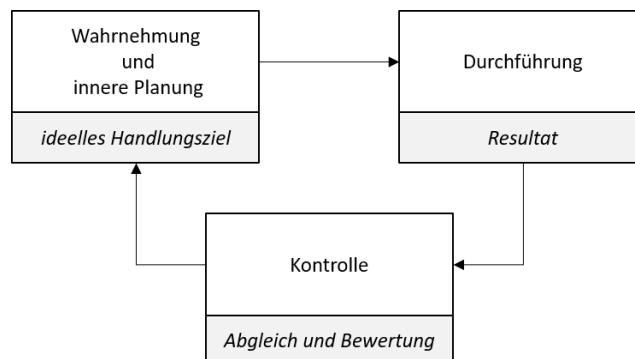


Abbildung 2.1.2-1: Grundstruktur einer vollständigen Handlung
(Darstellung in Anlehnung an Schelten 2005, S. 22)

Die bei der Ausübung einer Arbeitstätigkeit relevanten, mentalen Regulationsprozesse lassen sich initial aus einem psychologischen Klassifizierungsansatz von Arbeitstätigkeiten ableiten. Die Klassifizierung der Tätigkeit erfolgt anhand der beteiligten Subjekte (Aktoren), der Arbeitsgegenstände (Personen oder Objekte) sowie der Antizipierbarkeit der Arbeitsergebnisse und lässt somit Rückschlüsse auf die beteiligten mentalen Regulationsprozesse zu (vgl. Tabelle 2.1.2-1).

Tabelle 2.1.2-1: Klassifizierungsansatz für Arbeitstätigkeiten
(Darstellung in Anlehnung an Hacker und Sachse 2014, S. 21)

Aktor/ Subjekt	Arbeitsgegenstände	Arbeitsergebnisse	
		bekannt/ antizipierbar	unbekannt/ nicht antizipierbar
Einzelperson	Objekte	<u>Beispiele:</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fertigungs- und Verwaltungstätigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entwurfs- und Konstruktionstätigkeiten
	Personen	inaktiv	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Massieren
		kooperierend	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lehren

Psychische Regulation von Tätigkeiten

Die psychische Regulation von Tätigkeiten wird auf psychische Erscheinungen zurückgeführt, die sich in der Tätigkeit entwickeln. Die Arbeitspsychologie konzentriert sich hierbei auf das *innere Modell der Handlung*, welches die Untersuchung psychischer Mechanismen bei der Ausführung praktischer Tätigkeiten (Bsp.: Drehen, Bohren, Montieren) ermöglicht. Bei der Übernahme eines Auftrags wird das geforderte Ergebnis als Ziel, unter Berücksichtigung der spezifischen Ausführungsbedingungen, antizipiert und die Entstehung eines inneren Modells der Handlung initiiert. Bei der Ausführung einer Handlung findet die psychische Regulation der Tätigkeit durch unterschiedliche Arten kognitiver und motivationaler Aspekte statt. In einer vereinfachten Darstellung kann die ganzheitliche psychische Tätigkeitsregulation unter den beiden Aspekten der *Antriebs- und der Ausführungsregulation* beschrieben werden, jedoch bilden diese Aspekte keine Regulationsphasen ab (vgl. Hacker und Sachse 2014, S. 41 ff.).

Die Motivation zur Durchführung einer Tätigkeit sowie die Intensität der Durchführung wird durch die Antriebsregulation bestimmt. Durch die entscheidenden Merkmale der Zielgerichtetheit sowie der Volition grenzen sich Arbeitstätigkeiten, unter dem Aspekt der Antriebsregulation, von impulsiv-affektiven oder antriebsunmittelbaren Tätigkeiten ab und werden generell als willentlich-zielgerichtete Tätigkeiten bezeichnet. Jedoch richten sich hierbei nicht alle Tätigkeiten einzig an Zielen aus und enthalten ausschließlich zielgerichtete Vorgänge (vgl. „Operativen“). Neben einem Ziel, der ideellen Vorwegnahme eines Ergebnisses oder Sollzustandes, können ebenso Motive (Oberziele), Werte und Normen sowie Emotionen tätigkeitsrichtend wirken. So kann ein *motivhaftes Oberziel* wie der energieeffizientere Betrieb einer Fertigungsanlage oder ein gefühlsbetonter Verdacht bezüglich des Zustandes einer Anlage tätigkeitsrichtend wirken, bevor ein konkretes Ziel konstruiert wurde. Insbesondere bei Lernprozessen entwickeln

sich Tätigkeiten nach einer initialen Zielgerichtetetheit zu *automatisierten* Gewohnheitshandlungen, wobei nicht bei jeder Ausführung eine vorherige Zieldefinition stattfindet. Diese Tätigkeitsabschnitte können als *automatisierte Instrumente* zur Erreichung des ursprünglichen Handlungszieles bezeichnet werden und sind somit, trotz der partiell nicht vorhandenen Zielgerichtetetheit, Bestandteil einer gerichteten Tätigkeit.

Ein i.d.R. unvollständiges Zielbild sowie einen teilweise von Intuitionen geleiteten Ablauf kennzeichnen *innovierende Arbeitstätigkeiten*. Diese Art der Tätigkeiten weisen einen problemfindenden und problemlösenden Charakter auf, für deren Vorgänge noch kein Ziel konstruiert wurde beziehungsweise ein Ziel konstruiert werden soll. Erst durch diese schöpferische Tätigkeit kann eine Zielgerichtetetheit entstehen.

Unter dem Aspekt der Ausführungsregulation werden die Eigenarten bei der Durchführung einer Tätigkeit betrachtet. Die Ausführungsregulation basiert auf vorhandenem Wissen, Denkvorgängen oder entwickelten Routinen bzw. Automatismen. Im Vergleich zur Antriebsregulation (motivationaler Aspekt) beschreibt die Ausführungsregulation die operationalen Aspekte der psychischen Regulation. Es erfolgt die Analyse des Ziels, der Umsetzungsbedingungen und deren Verhältnis zueinander, als Eigenschaften der betrachteten Tätigkeit. Die Vorgehensweisen zur Zielerreichung werden festgelegt und kontrolliert. Diese Vorgänge der Analyse, Festlegung und iterativen Anpassung beschreiben kognitive Prozesse als psychische Komponenten der Ausführungsregulation (vgl. Hacker und Sachse 2014, S. 31–43) und bilden die Grundstruktur einer vollständigen Handlung (vgl. Abbildung 2.1.2-1).

Die psychologische Tätigkeitsanalyse lässt Aussagen zu unmittelbar aussagbaren Vorgängen (Kognitionen) oder tätigkeitsleitenden Vorgängen und Repräsentationen zu. Jedoch sind nicht alle psychischen Vorgänge und Gedächtnisrepräsentationen bei einer Handlung gänzlich handlungsleitend oder handlungsveranlassend wirksam (Hacker und Sachse 2014, S. 43 verweist auf Nisbett und Wilson 1977), womit die Einschränkung der psychologischen Tätigkeitsanalyse auf einzelne psychologische Aspekte begründet werden kann.

Hierarchie und Struktur von Arbeitstätigkeiten

Die menschliche Handlung nimmt als „Einheit einer Tätigkeit“ innerhalb der Psychologie von Tätigkeiten eine bedeutende Rolle ein. Handlungen und Operationen (Teilhandlungen) sind in den *hierarchischen Aufbau* von Arbeitstätigkeiten eingebettet und bilden die kleinste psychologische Einheit einer willensmäßig gesteuerten Tätigkeit. Handlungen werden durch ihr Ziel und die bewusste Antizipation eines Resultats, im Gegensatz zu Teilhandlungen oder Operationen, als selbstständiger Bestandteil einer Tätigkeit eingeordnet. Operationen werden durch Auslösebedingungen („Wenn-Dann-Bedingungen“) reguliert und beinhalten in der hierarchischen Ordnung mehrere Bewegungen bzw. psychische Einzelprozesse. Bewegungen werden durch Muskelaktionen des Menschen realisiert und bilden ebenfalls ein unselbstständiges Element der Arbeitstätigkeit. Sie verfügen über keine eigenen Ziele und Motive (vgl. Leontjew 1977, S. 102 f.; Hacker und Sachse 2014, S. 44 f.).

Einzig die Anwendung des differenzierten Aufbaus einer Arbeitstätigkeit durch die Elemente Handlung, Operation, Bewegung und Muskelaktion erfüllt **keine vollständige Charakterisierung** einer Tätigkeit oder die Ansprüche einer vollumfänglichen Tätigkeitsstruktur. Auch wenn vereinzelte Anliegen der Arbeitsplanung (Bsp.: Prognose von Ausführungszeiten) durch diese Zergliederung begünstigt werden, sind keine Rückschlüsse auf das subjektive Arbeitserlebnis, die Auswirkung einer Tätigkeit auf die Persönlichkeit der Arbeitsperson oder die psychischen Vorgänge, welche bei der Ausführung einer Arbeitstätigkeit stattfinden, uneingeschränkt möglich. Jedoch bieten diese Vorgänge bzw. Komponenten der psychischen Handlungsregulation einen praktischen Mehrwert zur **Integration psychischer Vorgänge** bei der Beschreibung und der Analyse von Arbeitstätigkeiten (vgl. Hacker und Sachse 2014, S. 44 ff.).

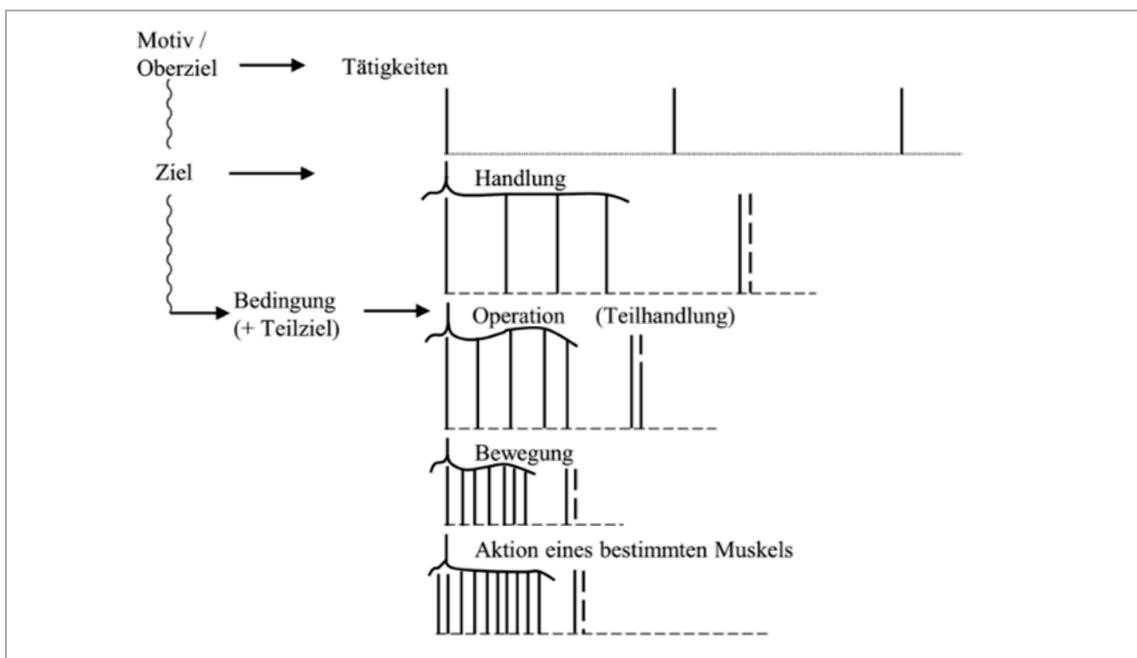


Abbildung 2.1.2-2: Hierarchischer Aufbau von Tätigkeiten
(Darstellung aus Hacker und Sachse 2014, S. 45)

2.1.2.2 Basistheorien des Arbeitshandelns und des Arbeitslernens

Das menschliche Handeln wird im Kontext der menschlichen Arbeitstätigkeit, gekennzeichnet durch die Einbettung in einen wirtschaftlichen Prozess und einem Arbeitsauftrag als Ausgangspunkt, in den folgenden Abschnitten als „Arbeitshandeln“ verstanden und erläutert. Es werden Theorien und Ansätze dargelegt, die das *Arbeitsverhalten* sowie das *Arbeitshandeln* wissenschaftlich analysieren und beschreiben. Zudem werden Zusammenhänge zwischen den Theorien zur Arbeitshandlung und den Ansätzen zur Analyse des Arbeitslernens abgebildet.

Folgende Ansätze sind als theoretische Grundlagen des *Arbeitshandelns* zu verstehen und lassen sich nach Nerdingen et al. (2011) zusammenfassen (vgl. Nerdingen et al. 2011, S. 301 ff.):

- Tätigkeitstheoretische Ansätze (Regulationsprozesse und Strukturen von Tätigkeiten)
- Verhaltenstheoretische Ansätze (klassische und operante Konditionierung, Beobachtungslernen)

- Kognitionspsychologische Ansätze
- Handlungstheoretische Ansätze

Die Ausführungen des vorherigen Kapitels zur Arbeitshandlung (vgl. Kapitel 2.1.2.1) im Kontext der Arbeitstätigkeit beziehen die grundlegenden Annahmen und Perspektiven der *tätigkeitstheoretischen Ansätze*⁵ zur Beschreibung und Analyse des Arbeitshandelns ein.

Tätigkeitstheoretische Ansätze

Tätigkeitstheoretische Ansätze betrachten neben kognitiven Aspekten des Handelns auch motivationale und soziale Aspekte. Nach der Tätigkeitstheorie von Leontjew (1977, 1979) stehen Tätigkeiten für die Wechselwirkung zwischen Menschen und deren Umwelt („Ringstruktur der Tätigkeit“). Die Ausführung einer Tätigkeit ist auf eine Bedürfnisbefriedigung ausgerichtet und somit motivgetrieben. Leontjew nennt hierbei stets die Begriffspaare „Ziel und Handlung“ und „Motiv und Tätigkeit“, welche ähnliche Wechselbeziehungen beschreiben (Hacker und Sachse 2014, S. 44 verweist auf Leontjew 1979, S. 102). Durch die Interaktion mit der Umwelt können Tätigkeiten darüber hinaus gestaltende und persönlichkeitsfördernde Elemente für den Menschen bereitstellen.

Der zuvor dargestellte hierarchische Aufbau von Arbeitstätigkeiten (vgl. Kapitel 2.1.2.1) entspricht dem Grundgedanken der *makrostrukturellen Betrachtung* von Arbeitstätigkeiten nach Leontjew (1977, 1979). Entsprechend der erwähnten Begriffspaarung „Motiv und Tätigkeit“, werden (Arbeits-) Tätigkeiten durch Motive ausgelöst (Bsp.: Ausführung von Arbeitstätigkeiten zur Existenzsicherung).

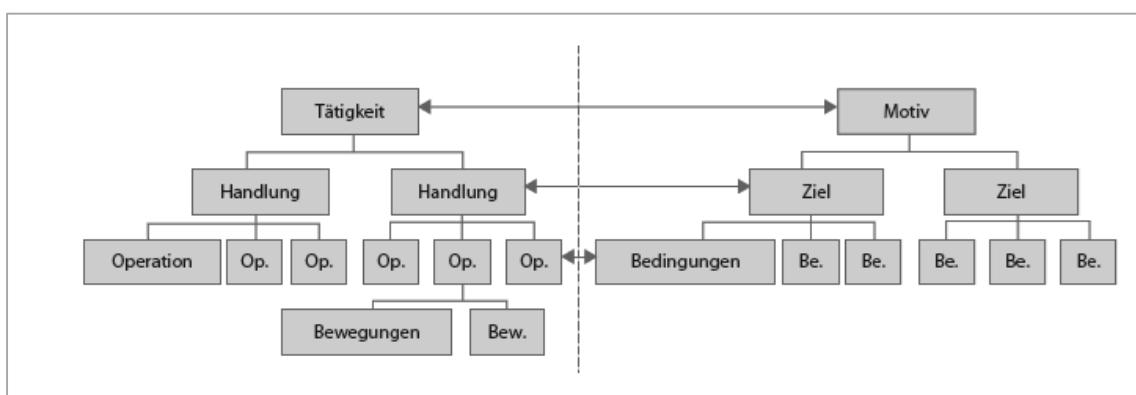


Abbildung 2.1.2-3: Makrostruktur der Tätigkeit - Auslöser für Tätigkeiten und Handlungen
(Darstellung aus Nerdinger et al. 2011, S. 321)

Die Realisierung der Tätigkeit erfolgt durch die Abfolge von Handlungen, Operationen und Bewegungen beziehungsweise Muskelaktionen. Handlungen werden durch Operationen (Teihandlungen) umgesetzt und sind einem bewussten Ziel untergeordnet. Für die Operationen gelten individuelle Bedingungen. Die untersten beziehungsweise kleinsten und sichtbaren

⁵ Die bisherigen Ausführungen zu den psychischen Aspekten des Handelns orientieren sich insbesondere an den Erkenntnissen von Leontjew (1977, 1979) und Rubinstejn (1984). Weitere gewichtige Erkenntnisbeiträge bezüglich der tätigkeitstheoretischen Ansätze liefern die Arbeiten von Tomaszewski (1978, 1981).

Einheiten der Tätigkeit sind die menschlichen Bewegungen. Hervorzuheben ist hierbei die Annahme, dass Tätigkeiten durch Motive beziehungsweise Handlungen durch Ziele initiiert und gesteuert werden (vgl. Antriebs- und Ausführungsregulation). Aufbauend auf diesen Annahmen beschreibt Hacker (1998, 2005; 2014) die Regulationssysteme der Arbeitstätigkeit.

Während die makrostrukturelle Betrachtung der Arbeitstätigkeit eine hierarchische Ordnung beschreibt, zielt die *Ringstruktur der Tätigkeit* (Nerdinger et al. 2011, S. 321 f. verweist auf Leontjew 1977) auf eine prozessuale Beschreibung der Arbeitstätigkeit ab. Grundgedanke hierbei ist die Entstehung von Wechselwirkungen zwischen Menschen (Subjekt) und ihrer Umwelt (Objekt), hervorgerufen durch die Ausführung von Tätigkeiten. Der Mensch greift durch die Tätigkeit in die Umwelt ein und kann dort eine Veränderung bewirken. Analog hierzu wirkt die Umwelt über die ausgeübte Tätigkeit auf den Menschen ein und kann dort wiederum Veränderungen hervorrufen (Bsp.: Kompetenz- und Persönlichkeitsentwicklung) (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 320-323).

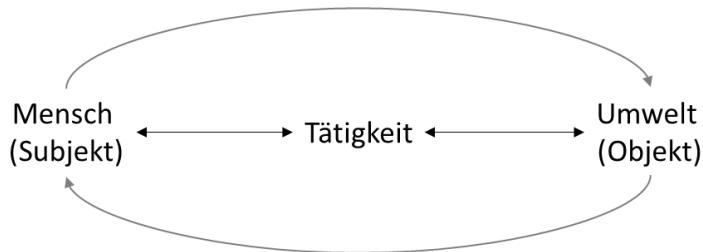


Abbildung 2.1.2-4: Ringstruktur der Tätigkeit
(Darstellung nach Nerdinger et al. 2011, S. 322)

Verhaltenstheoretische Ansätze

Mit Bezug zum Behaviorismus (vgl. klassisches und operantes Konditionieren, Beobachtungslernen) adressieren verhaltenstheoretische Ansätze des Arbeitshandelns die Veränderung des menschlichen Arbeitsverhaltens. Lernen wird demnach oftmals mit einer erkennbaren Verhaltensänderung verknüpft. Basierend auf einer Modellierung des menschlichen Verhaltens (S-R- bzw. S-O-R-Modell)⁶ wird das Verhalten als Reaktion auf wahrnehmbare Reize unter Einbezug individueller Wahrnehmungen sowie der individuellen Verarbeitungen und Bewertungen des Menschen beschrieben. Trotz der Erweiterung des klassischen Ansatzes einer reinen Reiz-Reaktions-Beziehung um die individuelle Interpretation des Menschen bzw. der intervenierenden Variablen, gelten diese Ansätze zur Verhaltensmodellierung in ihrer Reichweite als beschränkt. Zwar lässt sich passives Verhalten, verstanden als Reaktion auf äußere Reize, mit diesem Ansatz erklären, jedoch bestehen Defizite bei der Betrachtung des aktiven und zielgeleiteten Verhaltens des Menschen. Zu diesen Aspekten des menschlichen Verhaltens leisten kognitions- und handlungstheoretische Ansätze einen erklärenden Beitrag.

Auf Grundlage der S-R- bzw. S-O-R-Modellierung lassen sich verhaltenstheoretischen Ansätze beziehungsweise verhaltensorientierte Lerntheorien (klassische und operante Konditionierung,

⁶ S: Stimulus („Stimulierung durch äußere Reize“), R: Reaktion, O: intervenierender Organismus des Menschen

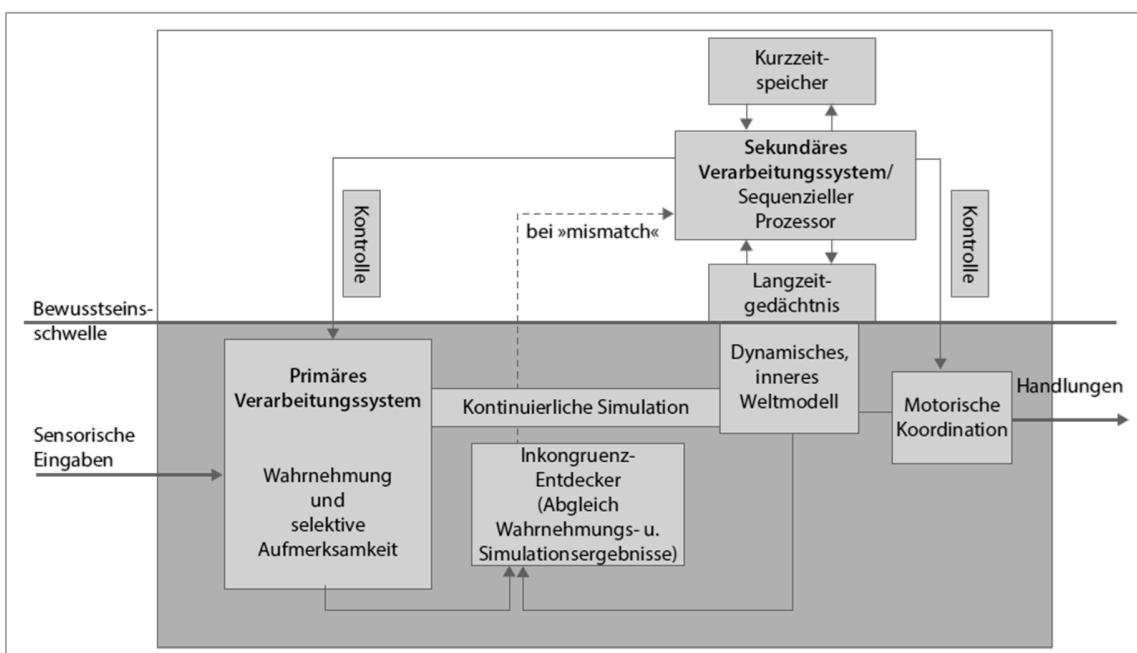
Beobachtungslernen) abbilden (vgl. Kapitel 2.1.1). Die klassische Konditionierung zielt auf einen Zustand ab, indem ein inzwischen konditionierter Reiz die gleiche, nunmehr konditionierte, Reaktion bei einem Menschen auslöst, wie es zuvor durch den unkonditionierten Reiz erfolgte. Die operante Konditionierung beschreibt die Entstehung einer Verhaltensänderung durch die Wirkung positiver und negativer Konsequenzen der vollzogenen Handlung. Hierbei wird davon ausgegangen, dass sich bei positiven Konsequenzen die Auftretenswahrscheinlichkeit des Verhaltens erhöht und sich bei negativen Konsequenzen verringert (vgl. Skinner 1938). Mit engem Bezug zu den behavioristischen Ansätzen erweitert der Ansatz des Beobachtungslernens beziehungsweise des sozialkognitiven Lernens (Nerdinger et al. 2011, S. 306 verweist auf Bandura 1986) die Ansätze zur Konditionierung um kognitive Elemente. Grundgedanke hierbei ist, dass Menschen die Verhaltensweisen anderer Menschen beobachten und diese nachahmen. Eine Verstärkung der eigenen (eigene Belohnung) oder der Modellperson unterstützt die Verhaltensänderung beim Beobachtungs- bzw. Modelllernen (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 302-306).

Kognitionspsychologische Ansätze

Kognitionspsychologische Ansätze dienen der Analyse und Beschreibung der Vorgänge des menschlichen Denkens. Insbesondere die Aufnahme und Verarbeitung von Informationen durch den Menschen rücken hierbei in den Mittelpunkt der Betrachtung. Zur Analyse kognitiver Prozesse, die sich nach diesen Ansätzen auf das menschliche Erleben und Verhalten auswirken, wird der Mensch als ein System der Informationsverarbeitung dargestellt. Als Prozesse der Informationsverarbeitung werden die Aufnahme, die Weiterleitung und die Verarbeitung von Informationen definiert. Das System der Informationsverarbeitung setzt sich aus dem Gedächtnis, einem zentralen Prozessor und dem Rezeptor- sowie Effektorsystem, welche die vier wesentlichen Systemkomponenten bilden, zusammen (Nerdinger et al. 2011, S. 306 verweist auf Newell 1972). In einer kombinierten und vernetzten Darstellung bilden diese Komponenten ein Rahmenmodell für die Beschreibung der Informationsverarbeitung auf prozessualer und struktureller Ebene. Die Informationsaufnahme erfolgt durch die Rezeptoren des Menschen (sensorisches System). Nach der Weiterleitung der Information zu einem Prozessor werden dort schematisch Operationen zur Verarbeitung, Speicherung (Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis) und Kodierung durchgeführt. Auf die Informationsverarbeitung, die eine Reihe von Operationen beinhaltet, erfolgt durch das Effektorsystem ein bestimmtes Handeln oder Verhalten (Repräsentation). Repräsentationen werden hierbei nicht als einmalige Ergebnisse eines Prozesses zur Informationsverarbeitung eingestuft. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass das sensorische System während der Informationsverarbeitung stets neue Informationen aufnimmt, welche die Repräsentationen beeinflussen und verändern können.

Der Ansatz nach Rasmussen (1986) erweitert dieses Rahmenmodell zur menschlichen Informationsverarbeitung und betont das (bewusste) menschliche Verhalten beziehungsweise das Handeln bei Arbeitsprozessen (Nerdinger et al. 2011, S. 307 f. verweist auf Rasmussen 1986). Rasmussen geht von einer bewussten Handlungssteuerung bei Arbeitshandlungen aus, welche zu einer selektiven Informationsaufnahme des Menschen führt. Für den Arbeitsprozess werden durch ein „primäres Verarbeitungssystem“ relevante Informationen aktiv aufgenommen und verarbeitet. Eine kontrollierte Selektion der Informationen wird bedingt durch eine dynamische,

innere Repräsentation (Weltmodell) des aktuellen Zustandes. Auf dieses dynamische, innere Weltmodell greift das primäre Verarbeitungssystem bei der Wahrnehmung und der selektiven Verarbeitung von Informationen zurück. Dieser Prozess läuft weitestgehend automatisch und unbewusst ab. Oberhalb der Bewusstseinsschwelle werden die Wahrnehmungen, die Aufmerksamkeit und die Zielbildung (primäres Verarbeitungssystem) für den Informationsverarbeitungsprozess durch einen „symbolbasierten sequenziellen Prozessor“ bzw. das „sekundäre Verarbeitungssystem“ kontrolliert. Der Prozessor weist zudem eine informationelle Kopplung mit dem Kurz- und Langzeitgedächtnis auf. Im Kurzspeicher sind Informationen enthalten, die aktuell vom Prozessor bearbeitet werden und somit im Mittelpunkt der Aufmerksamkeitsausrichtung stehen. Die Kapazität des Kurzspeichers ist stark begrenzt und weist eine sequenzielle Informationsverarbeitung auf. Dieser Speicher wird auch als „Arbeitsgedächtnis“ bezeichnet. Bei der Verarbeitung von Informationen innerhalb des Arbeitsgedächtnis wird zudem das Konzept der **mentalnen Modelle** relevant. Hierbei handelt es sich um individuelle Realitätsabbildungen, welche sich durch ihre reduzierte Komplexität der eingeschränkten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses anpassen und dort verarbeitet werden können. Der Langzeitspeicher bzw. das Langzeitgedächtnis dienen der dauerhaften Speicherung von Informationen (Wissen), die in unterschiedlichen Formaten im Gedächtnis repräsentiert werden können. Diese unterschiedlichen Repräsentationsformate haben Einfluss auf die Nutzung und die Aneignung der Informationen bzw. des Arbeitswissens. Das sekundäre Verarbeitungssystem mit seiner Prozessoreinheit übernimmt neben der Kontrolle des primären Verarbeitungssystems auch die Kontrolle der „motorischen Koordination“, welche als weitere Modellkomponente auf der unbewussten Verarbeitungsebene mit dem inneren Weltmodell verknüpft ist (vgl. Abbildung 2.1.2-5).



schraffierter Bereich = unbewusste Informationsverarbeitung, nicht schraffierter Bereich = bewusste Informationsverarbeitung

Abbildung 2.1.2-5: Modell zur menschlichen Informationsverarbeitung

(Darstellung aus Nerdinger et al. 2011, S. 308)

Das beschriebene Rahmenwerk der menschlichen Informationsverarbeitung und die Spezifizierung des Ansatzes nach Rasmussen finden, wie auch viele verwandte Ansätze, ihren Anwendungsschwerpunkt in der Gestaltung und der Analyse von Mensch-Maschine-Systemen. Hierbei steht die berufsbezogene Interaktion zwischen Menschen und Maschinen im Vordergrund. Häufige Anwendungsfälle sind die Bedienung, Überwachung und Steuerung sowie die Instandhaltung von technischen Systemen und Anlagen. Eine besondere praktische Implikation bieten die Ansätze der menschlichen Informationsverarbeitung bei der Informationsdarstellung bzw. Informationsaufbereitung (Display) sowie bei der Konzeption von Unterstützung- bzw. Assistenzsystemen.

Die kognitionspsychologische Betrachtung des Arbeitshandelns wird durch komplexere Strukturen der Handlungsplanung, die u.a. die Bildung von Zwischenzielen erfordern, hinsichtlich ihres erklärenden Beitrags begrenzt. Insbesondere handlungstheoretische Ansätze ermöglichen bei komplexeren Handlungsstrukturen eine umfassendere Betrachtung und Analyse von Arbeitshandlungen.

Handlungstheoretische Ansätze

Handlungstheorien betonen den volitiven und somit aktiven sowie zielgerichteten, motivierten Charakter der menschlichen Arbeitshandlung. Es erfolgt eine Abgrenzung von verhaltenstheoretischen Ansätzen, die durch den Zusammenhang zwischen äußeren Reizen und den darauffolgenden Reaktionen des Menschen ein reaktives Verhalten beschreiben. Handlungstheoretische Ansätze dienen insbesondere der Beschreibung, Erklärung sowie der Vorhersage menschlicher Arbeitshandlungen. Eine zentrale Annahme dieser Theorien stammt aus der Kybernetik. Das Prinzip der Rückkopplung, welches in der Kybernetik i.d.R. einen technischen Regelvorgang beschreibt (Ist-Wert erfassen, Ist-Wert mit Soll-Wert vergleichen, Abweichungen identifizieren, Abweichungen ausgleichen), wird auf die menschliche Handlung übertragen und als Grundlage für koordinierte, gezielte Handlungen benannt (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 311 f.). Als Vergleichsgrundlage für die eigene Handlung dient die innere Vorstellung bzw. das Wissen bezogen auf das zu erreichende Teil- oder Endergebnis. Diese inneren Repräsentationen zur Handlungssteuerung setzen kognitive Grundlagen voraus, die ebenfalls Gegenstand der kognitionspsychologischen Ansätze sind (z.B.: mentale Modelle). Hacker und Sachse (2014) diskutieren im Zusammenhang mit der internen Repräsentation die Entstehung und Verwendung „innerer Modelle“ (vgl. Hacker und Sachse 2014, S. 42). Durch den engen Bezug zum aktiven, situationsbezogenen, menschlichen Verhalten vertreten handlungstheoretische Ansätze neben Aspekten der Kognitionspsychologie ebenso Annahmen der behavioristischen Theorien des Arbeitshandelns. Handlungstheorien betonen jedoch die regulative Funktion der Kognitionen bei der menschlichen Handlung. Demnach reguliert der Mensch seine Handlung durch sein Denken. Einen hohen praktischen Mehrwert generieren handlungstheoretische Ansätze dadurch, dass sie die Lücke zwischen Kognitionen (nicht sichtbar) und sichtbaren motorischen Aktivitäten zu schließen versuchen.

Aus der Erweiterung des vereinfachten behavioristischen Reiz-Reaktions-Modells (vgl. S-R-Modell) ist mit dem *Test-Operate-Test-Exit-Modell (TOTE-Modell)* ein Basiskonzept der Handlungstheorien entstanden (Nerdinger et al. 2011, S. 312 verweist auf Miller et al. 1973). Der Grundgedanke der Kybernetik sollte auf psychologische Untersuchungen des menschlichen Arbeitshandelns übertragen werden. Hierbei wurde ein motiviertes und zielstrebiges Verhalten unterstellt, das im Kontext einer Arbeitssituation auftritt und erklärt werden sollte. Das TOTE-Modell führt zur Erklärung der menschlichen (Arbeits-)Handlung eine *hierarchische Organisation* des Verhaltens ein:

- Test 1 (T): Es erfolgt der Vergleich zwischen Ist- und Soll-Situation.
- Operation (O): An den ersten Vergleich schließt sich eine Veränderung der Umwelt (Operation) an.
- Test 2 (T): Die „neue“ Ist-Situation, hervorgerufen durch die vorangehende Operation, wird ebenfalls mit einer Soll-Vorgabe verglichen.
- Exit (E): Die Test- und Operate Einheiten werden so lange wiederholt, bis der Soll-Zustand erreicht wurde. Danach wird der Zyklus verlassen (Exit).

Ergänzend zu den TOTE-Einheiten besteht im Kontext der menschlichen Arbeitshandlung das Konzept der Pläne sowie der Verhaltensstrategien und -taktiken. Pläne beschreiben vor allem die Reihenfolge, in der Handlungen bzw. Operationen auszuführen sind. Während sich Taktiken auf die Ausübung kleinerer Verhaltenseinheiten beziehen, definieren Verhaltensstrategien allgemeingültigere Pläne zur Ausführung großer Handlungsketten. Im Zusammenhang mit den kognitiven Prozessen, die sich bei den handlungstheoretischen Ansätzen insbesondere auf die innere Repräsentation von Handlungswissen beziehen, wird beim TOTE-Modell der Begriff „Bild“ bzw. „image“ eingeführt.

Trotz der Kritik, dass die Abfolge der TOTE-Einheiten einem geschlossenen Kreislauf ähnelt und somit auftretende Umwelteinflüsse nicht ausreichend berücksichtigt sowie die fehlende strenge Ausrichtung auf die zu erreichenden Ziele und Rückmeldungen, bildet das TOTE-Modell ein wichtiges Konzept der Handlungstheorien ab. Einen erweiterten Ansatz, mit Bezug zu den Elementen des TOTE-Basiskonzeptes, bildet die Handlungsregulationstheorie.

Die Ansätze zur *Handlungsregulationstheorie*, in Anlehnung an Hacker (1998, 2005; 2014) bzw. Oesterreich (1981) und Volpert (1983), stellen für eine effektive Analyse von Arbeitstätigkeiten das Verständnis der psychischen Regulation von Tätigkeiten in den Mittelpunkt der Betrachtung. Grundlegend herrscht die Annahme, dass Arbeitshandeln und -verhalten durch Ziele geleitet, gesteuert bzw. reguliert wird. Eine Handlung beinhaltet demnach Aktivitäten der Zielbildung, der Orientierung unter Einbezug der Umgebungsbedingungen, den Entwurf eines Handlungsplans und dessen Ausführung sowie die Kontrolle des durch die Ausführung erreichten End- bzw. Zwischenresultates. Diese Prozessschritte stellen keine prinzipiell voneinander abzugrenzenden regulativen Phasen dar, sondern werden als miteinander verbundene Handlungsvorgänge verstanden.

Neben der Definition von einzelnen Prozessschritten einer (vollständigen) Handlung, beschreibt die Handlungsregulationstheorie eine **hierarchisch-sequenzielle Struktur** der Handlungsregulation. Handlungen werden demnach durch zyklische Vergleichs- bzw. Vorwegnahme-Veränderungs-Rückkopplungseinheiten (VVR-Einheiten) organisiert, die sich stets auf das Handlungsziel beziehen. Inhaltlich entsprechen die VVR-Einheiten den TOTE-Einheiten, verstärken jedoch den umweltverändernden Charakter der Handlung sowie den Bezug auf Zwischen- und Endziele. Wie bereits bei der Einführung der TOTE-Einheiten zu erkennen war, ist bei den VVR-Einheiten ebenfalls der Grundgedanke eines Rückkopplungsmechanismus der Kinematik vertreten. Das gedachte Ziel wird mit dem tatsächlichen Resultat verglichen und auf Übereinstimmung geprüft. Bei positiver Rückmeldung (Zwischenziel und Resultat stimmen überein) wird die Handlung fortgesetzt. Erfolgt keine positive Rückmeldung (Zwischenziel und Resultat stimmen nicht überein) wird die zyklische Einheit wiederholt. Inwieweit die einzelnen VVR-Einheiten miteinander verknüpft sind, hängt von der hierarchischen Organisation bzw. von den Hierarchieebenen der Handlungsregulation ab. Die höheren Ebenen der Handlungsregulation generieren, organisieren und steuern die Teilhandlungen (Operationen) der niedrigeren Ebenen. Auf der untersten Ebene (Handlungsausführung durch Bewegungseinheiten) ist die geordnete Abfolge von Handlungsschritten zu beobachten. Handlungen lassen sich somit von den Zielen der jeweiligen Hierarchieebene ableiten und werden nacheinander geordnet (sequenziell) abgearbeitet. Daher wird von einer hierarchisch-sequenziellen Struktur der Handlungsregulation gesprochen.

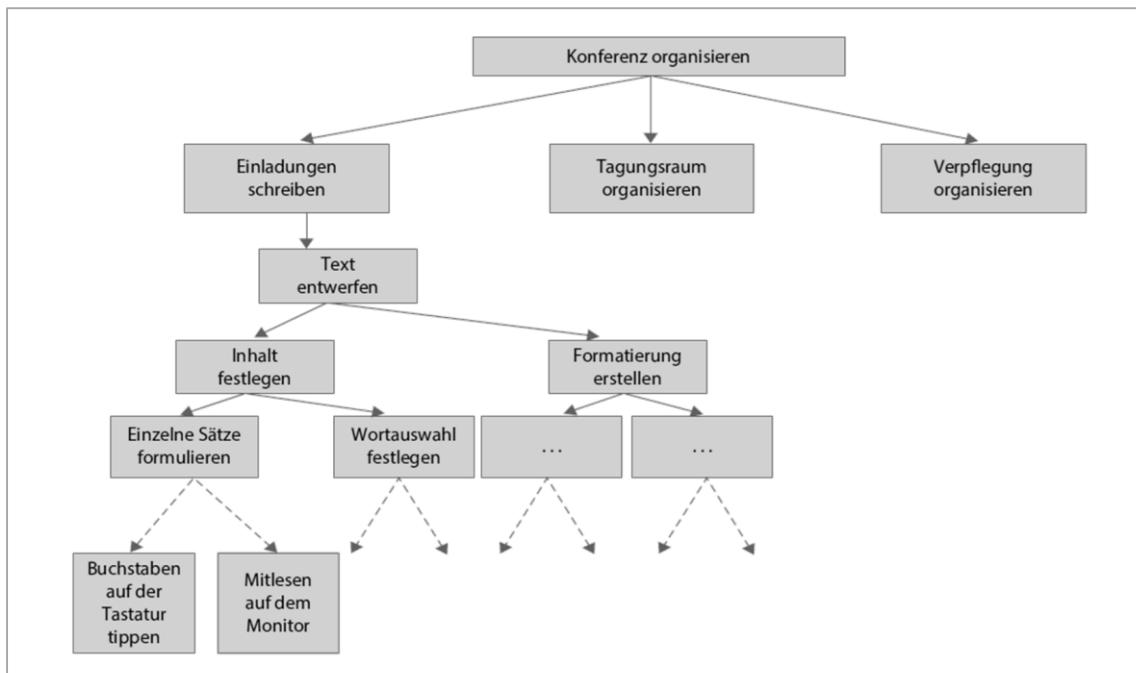


Abbildung 2.1.2-6: Beispiel zur hierarchisch-sequenzielle Struktur von Arbeitshandlungen
(Darstellung aus Nerdinger et al. 2011, S. 316)

Ergänzend zu der strukturellen Betrachtung der Arbeitshandlungen werden verschiedene **Regulationsniveaus der Handlungsregulation** eingeführt (zunächst drei Regulationsebenen (vgl. Haacker 1980, S. 103 ff.), später fünf Regulationsebenen (vgl. Oesterreich 1981, S. 139 ff.). Auf dem obersten Regulationsniveau erfolgt die Regulation von komplexen, kognitiven Vorgängen. Hier

entstehen u.a. Pläne und Strategien, die Teil einer kognitiven und intellektuellen Handlungsvorbereitung sind. Auf dem mittleren Regulationsniveau erfolgt die Verknüpfung von Wahrnehmungen (Perzeption), Urteilen und flexibel verfügbaren Handlungsschemata, die finale Handlungspläne beinhalten. Auf die Wahrnehmung (Signal) erfolgt ein begrifflicher Impuls, der mit einem Handlungsschema bzw. einer Bewegungsroutine verknüpft wird. Auf dem untersten Niveau findet die **sensomotorische**⁷ Regulation von Operationen statt. Hier erfolgt die Steuerung der motorisch koordinierten Bewegungen zur Ausführung einzelner Handlungsschritte. Die automatisierten Bewegungen dieser Ebene werden unbewusst gesteuert und organisiert. Die Regulation dieser eher unbewussten und automatisierten Abläufe erfolgt häufig ohne große Anstrengungen und ist mit dem Prinzip des primären Verarbeitungssystems nach Rasmussen (vgl. kognitionspsychologische Ansätze des Handelns) vergleichbar. Abbilder der Bewegungen, bereitgestellt durch das menschliche Gedächtnis, sowie die interne und externe Rückmeldung zur motorischen Bewegungskoordination steuern die sensomotorischen Vorgänge. Im Gegensatz zu den Regulationsvorgängen der beiden oberen Regulationsniveaus (bewusstseinspflichtig bzw. bewusstseinfähig, Teil der psychischen Tiefenstruktur) bilden die Vorgänge der sensomotorischen Regulationsebene den Teil der Oberflächenstruktur des Handelns ab und gelten als unmittelbar beobachtbar.

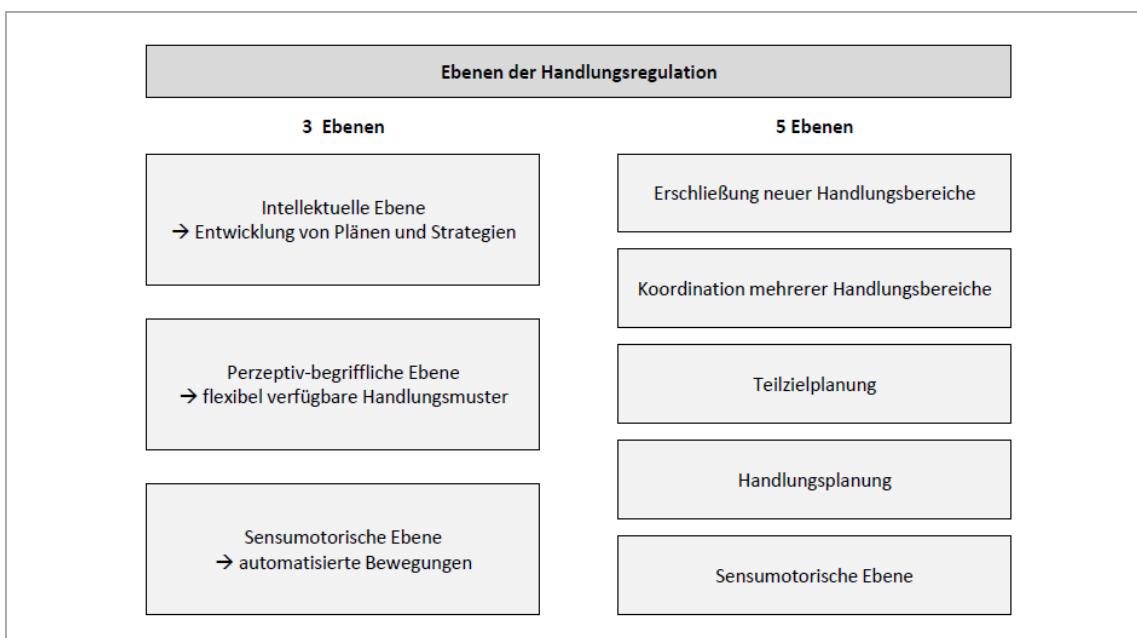


Abbildung 2.1.2-7: Ebenen der Handlungsregulation
(vgl. Schelten 2005, S. 34 ff.)

Aufbauend auf den drei Ebenen bzw. Niveaus der Handlungsregulation wurden ergänzende Ansätze wie das Fünf- bzw. Zehn-Ebenen-Modell der Handlungsregulation entwickelt (vgl. Oesterreich 1981, S. 280 ff.). Hierbei erfolgt zunächst eine detaillierte Betrachtung der Aktivitäten zur

⁷ Sensomotorik: Bezeichnet die durch Reize hervorgerufene Gesamtaktivität in sensorischen und motorischen (Sinneswahrnehmungen und Bewegungsabläufe) Teilsystemen des Nervensystems und Körpers einschließlich der resultierenden Muskelaktivität (vgl. Fröhlich 2002, S. 398).

Handlungsvorbereitung bzw. der Handlungsplanung (Fünf-Ebenen-Modell). Vorgänge der inneren, psychischen Handlungssteuerung werden weniger stark fokussiert. Die Erweiterung von fünf auf zehn Ebene der Handlungsregulation erfolgte durch eine Differenzierung innerhalb der einzelnen Stufen zwischen uneingeschränkten und eingeschränkten bzw. restriktiven Regulationen einer Arbeitstätigkeit (z.B.: Ebene 1 entspricht einer „nicht restriktiven Stufe“, Ebene 1R entspricht einer „restriktiven Stufe“ mit invarianten Arbeitsbedingungen) (vgl. Schelten 2005, S. 39 f.). Unabhängig von der Handlungsregulationstheorie formuliert Rasmussen (1986) mit den drei Ebenen der kognitiven Regulation des Arbeitsverhaltens (*knowledge-based, rule-based, skill-based*) einen entsprechenden Ansatz.

Die dargelegten Mechanismen und Eigenschaften der Handlungsregulation beziehen sich insbesondere auf Tätigkeiten, deren Ziele und Ausführung weitestgehend bekannt bzw. vorgegeben sind. Dadurch entsteht eine **Einschränkung der Anwendbarkeit** der Handlungstheorie bezogen auf die Art der Tätigkeit. Bei innovierenden sowie dialogischen und interaktiven Tätigkeiten werden andersartige Regulationsmechanismen vermutet, die nicht ohne Einschränkungen auf die bisher dargelegten Konzepte der Handlungsregulation adaptierbar sind bzw. zu denen bisher nur unzureichende Erkenntnisse vorliegen (Nerdinger et al. 2011, S. 318 f. verweist auf Lauche 2001; Hacker W. in Kleinbeck 2010). Praktische Anwendung und wissenschaftliche Relevanz erfährt die Handlungsregulationstheorie insbesondere bei Fragestellungen der Arbeitsanalyse und der Arbeitsgestaltung sowie im Bereich der Aus- und Weiterbildung (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 319 ff.).

Bedeutsame Instrumente wie das *Tätigkeitsbewertungssystem (TBS)* sowie das *VERA- und RHIA-Verfahren* bauen auf Aspekten der Handlungsregulationstheorie auf. In Anlehnung an die prozess- und strukturorientierten Aspekte der Handlungsregulation ermöglicht das TBS eine Analyse und Bewertung von Arbeitstätigkeiten (Ulich 2005, S. 150 ff. verweist auf Hacker und Richter 1980; Hacker 1983). Aufbauend auf den Ebenen der Handlungsregulation wurde ein „Verfahren zur Ermittlung von Regulationserfordernissen in der Arbeitstätigkeit“ (VERA-Verfahren) entwickelt, das die Analyse von Denk-, Planungs- und Entscheidungsanforderungen unterstützt (vgl. Schelten 2005, S. 33). Das VERA-Verfahren wurde später durch das RHIA-Verfahren (Verfahren zur Überprüfung der Regulationshindernisse in der Arbeitstätigkeit) ergänzt. Diese Ergänzung dient der gezielten Analyse der Belastungen des Menschen bei der Durchführung von Arbeitstätigkeiten, die in Form von Regulationshindernissen und -überforderungen auftreten (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 319 ff.).

Neben diesem Beitrag zur Analyse von Arbeitstätigkeiten und deren Regulationserfordernissen bietet die Handlungsregulationstheorie ebenso **praktische Beiträge zur Arbeitsgestaltung**. In Anlehnung an den dargestellten prozessualen Charakter einer (Arbeits-) Handlung wird der Anspruch der Vollständigkeit bei der Gestaltung von Aufgaben und Anforderungen übertragen. Eine vollständige Aufgabe kennzeichnet sich demnach durch das selbständige Setzen von Zielen, die Aktivitäten zur Handlungsvorbereitung und der Durchführungsplanung sowie die Handlungsausführung inklusive der Rückkopplungsmechanismen und der finalen Bewertung des Resultats. Eine behutsame Erhöhung der Regulationsanforderungen, beispielsweise durch die Erweiterung

der Handlung- und Entscheidungsfreiheit, kann zu einer Weiterentwicklung der individuellen Handlungskompetenz und somit zu der Persönlichkeitsentwicklung des Menschen beitragen.

Grundlage für Regulation der eigenen Handlung sind psychische Repräsentationen der zu erreichenden Ziele oder Pläne (operative Abbildsysteme). Innere Abbilder der zu erreichenden Ziele bzw. Teilziele nehmen eine handlungsregulierende Funktion ein und bilden als kognitive Grundlage der menschlichen Arbeitshandlung ein wesentliches Konzept der Handlungsregulationstheorie. Die psychische Repräsentation eines (Teil-) Ziels unterstützt die Antizipation eines Arbeitsergebnisses und somit auch Rückkopplungsvorgänge, die den Soll- und Ist-Zustand bezüglich eines Ergebnisses gegenüberstellen. Zudem werden Bedingungen zur Ausführung der Handlung sowie Maßnahmen zur Transformation vom Ist- in den Soll-Zustand repräsentiert. Hierdurch wird sowohl die Ausführung als auch die Planung der Handlung unterstützt. Diese operativen Abbildsysteme sind die Voraussetzung für ein zielgerichtetes Handeln (vgl. Antriebs- und Ausführungsregulation) und bieten ebenfalls, als Element der handlungstheoretischen Ansätze, einen gewichtigen praktischen Mehrwert bei der **Gestaltung von Lern- und Trainingsprozessen** (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 320).

Implikationen für das Arbeitslernen

Die dargestellten Theorien bilden eine Grundlage für die Analyse sowie die Beschreibung von Arbeitshandlungen und finden sich in ebenso in verschiedenen Ansätzen zur Beschreibung des menschlichen Lernens wieder. Exemplarisch können an dieser Stelle vereinfachte **Grundformen des Lernens** (vgl. Bunk 1991, S. 44) genannt werden, die unter Einbindung der Theorien zur Arbeitshandlung Lernvorgänge multiperspektivisch beschreiben (Betonung der informationstheoretischen, verhaltenspsychologischen, abbildtheoretischen und der handlungstheoretischen Perspektive).

Der informationstheoretische Aspekt stellt die Prozesse der Informationsverarbeitung (Aufnahme, Speicherung, Verarbeitung) in den Vordergrund und orientiert sich somit an den Annahmen der kognitionspsychologischen Ansätze zur Beschreibung von Arbeitshandlungen. Lernen erfolgt hierbei durch die Bereitstellung von Informationen (beispielsweise durch eine lehrende Person) und die sich anschließenden Prozesse der Informationsverarbeitung (durch eine lernende Person). Die Repräsentation des Gelernten erfolgt durch den Abruf der bereits verarbeiteten Informationen.

Die verhaltenspsychologische Perspektive des Lernens konzentriert sich auf die Veränderung des Verhaltens eines Menschen bzw. einer lernenden Person. Das Verhalten wird hierbei geprägt durch die Reaktion auf äußere Reize (vgl. S-R- bzw. S-O-R-Modellierung) und eine Verhaltensänderung, die einen Prozess des Lernens bzw. des Erfahrungsaufbaus beschreibt.

Lernen unter dem abbildtheoretischen Aspekt betont die Entstehung und die Verwendung von inneren Abbildern bei der Ausführung einer Handlung. Durch Beobachtungen sowie durch Lern- und Denkprozesse und auf Basis von Erfahrungen entwickelt eine lernende Person Abbilder der auszuführenden Handlung (vgl. mentales Modell, interne Repräsentation). Im Lernprozess wird ein Abbildungsvorrat aufgebaut, der für die geistige Vorwegnahme (Antizipation) der manuellen

Arbeitshandlung aktiviert wird (gedankliche Problembehandlung und Korrektur). Erst im Anschluss an diese kognitiven Prozesse schließt sich die Ausführung der realen Handlung an.

Der handlungstheoretische Aspekt des Lernens stellt ein aktives Verhalten und somit das Konzept der vollständigen Handlung in den Vordergrund. Wahrnehmen, Denken und Tun werden miteinander verknüpft und bilden mit den Vorgängen der Selbstkontrolle (Reflexion der eigenen Handlung) einen Regelkreis (vgl. TOTE- und VVR-Einheiten).

Diese exemplarische Darstellung der Verknüpfungen zwischen den Theorien der Arbeitshandlung und den Ansätzen zur Beschreibung des (Arbeits-) Lernens dient der Betonung der gegenseitigen Bedingung des Handelns und des Lernens. Mit der Prämisse, dass die dargelegten Theorien vermutlich nur punktuell und nicht ganzheitlich aufklären, findet die Anwendung der Erkenntnisse zur menschlichen Handlung Relevanz bei der Beschreibung von Lernprozessen und ist somit bedeutsam für die Gestaltung bzw. das Initiieren von Lernvorgängen (vgl. Arbeitsunterweisung).

Anwendung der Handlungsregulationstheorie auf das Arbeitslernen

Insbesondere die dargestellten Aspekte der Handlungsregulationstheorie (hierarchisch-sequenzielle Struktur, Regulationsniveaus) leisten bezogen auf das Arbeitslernen einen klärenden und ordnenden Beitrag für die Berufs- und Arbeitspädagogik. Arbeiten wird demnach als ein vorausschauendes, zielgerichtetes, bewusstes und hierarchisch-sequenziell organisiertes Handeln bezeichnet. Die Planung, Ausführung und Kontrolle kennzeichnen die Vollständigkeit einer Handlung. Lernen ist nach dieser Theorie hauptsächlich auf die Entwicklung einer Handlungsregulation ausgelegt. Die Anforderungen an die Lernvorgänge werden durch die zu erlernenden Arbeitstätigkeiten bestimmt. Industriell-gewerbliche Arbeitstätigkeiten und ihre spezifischen Lernerfordernisse lassen sich gemäß ihrer Ausrichtung an Planungs- und Denkprozesse den Regulationsniveaus der Handlungsregulationstheorie zuordnen (vgl. Fünf-Stufen-Modell). Die beschriebenen Weiterentwicklungen durch das VERA- und RHIA-Verfahren ermöglichen eine Analyse der zu erwartenden psychischen Anforderungen und Belastungen einer Arbeitstätigkeit (RHIA/VERA-Büro für Büroarbeitsplätze, RHIA/VERA-Produktion für Produktionsarbeitsplätze). Den Ansätzen zu den Regulationsniveaus der Handlungsregulationstheorie folgend, lassen sich zudem arbeitspädagogische Lerntheorien einordnen. Vorgänge der unteren Regulationsniveaus, geprägt durch die sensumotorische Regulation und die Handlungsplanung, lassen sich mit der Lerntheorie des *Berufsmotorischen Lernens* nach Schelten (1995, 2005) verknüpfen (vgl. Schelten 1995, S. 41 ff., 2005, S. 44 ff.). Eine vergleichbare Lerntheorie für komplexere Arbeitstätigkeiten, welche den oberen Niveaus (Teilzeitplanung und Koordination) zugeordnet werden kann, ist nicht bekannt (vgl. Schelten 2002). Im Hinblick auf die inhaltliche Ausrichtung der vorliegenden Untersuchungen werden die Theorie zum berufsmotorischen Lernen sowie die Ansätze einer handlungsregulatorisch-orientierten Arbeitsunterweisung in den folgenden Kapiteln tiefergehend ausgeführt.

2.1.3 Erlernen berufsmotorischer Fertigkeiten

Auf der Ebene der sensumotorischen Regulation und der Handlungsplanung (vgl. Regulationsniveaus der Handlungsregulationstheorie) erfolgt die Steuerung motorisch koordinierter Bewegungsabläufe. Eine sichere, genaue und bewegungsökonomische Ausführung repräsentiert eine *gekonnte Berufsfertigkeit*. Für das Erlernen dieser überwiegend ausführungsorientierten Arbeitstätigkeiten bzw. Berufsfertigkeiten liegt eine arbeitspädagogische Lerntheorie nach Schelten (1983) vor, die originär den Fertigkeitserwerb in der Berufsausbildung adressiert, jedoch überdies auf Qualifizierungsvorgänge außerhalb der Berufsausbildung anwendbar ist. Im Wesentlichen besteht der Unterschied zwischen diesen beiden Anwendungsfällen darin, dass die Berufsausbildung auf „eine breit angelegte Vermittlung von Fertigkeiten über einen längeren Zeitraum hinweg“ ausgelegt ist. Außerhalb der Berufsausbildung steht das Erlernen von spezifischen, deutlich abgrenzbaren Fertigkeiten in einer relativ kurzen Zeit bei möglichst hohem Beherrschungsgrad im Vordergrund (vgl. Schelten 2005, S. 44).

Die Theorie des berufsmotorischen Lernens, relevante Grundlagen sowie Begriffe der Berufsmotorik werden im folgenden Abschnitt erläutert und im weiteren Verlauf dieser Arbeit hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Analyse berufsmotorischer Lernvorgänge sowie für die Gestaltung von Arbeitsunterweisungen diskutiert.

2.1.3.1 Grundlagen und Begriffe

Der Begriff *Motorik* beschreibt „die Gesamtheit aller Bewegungsabläufe und ihrer individuellen Eigenarten“ (vgl. Fröhlich 2002, S. 304). Demnach richtet sich die Berufsmotorik im Speziellen an Bewegungsabläufe, die im Kontext des beruflichen Handelns entstehen. Handlungen bilden hierbei die kleinste psychologische Einheit (Wahrnehmung, Verarbeitung, Bewegungsausführung) einer willensmäßig gesteuerten Tätigkeit (vgl. Kapitel 2.1.2.1). Die beiden Wortverbindungen *Sensumotorik*⁸ und *Psychomotorik*⁹ beschreiben den Grundgedanken, dass menschliche Bewegungen nicht einzig durch Muskeln und Sehen gesteuert bzw. ausgelöst werden, sondern vielmehr durch *Verknüpfungen mit Sinnes-, Empfindungs-, Vorstellungs- und Willensleistungen*. Eine eindeutige Abgrenzung der Begriffe ist nicht möglich. Der Begriff der Psychomotorik findet überwiegend Anwendung in der Sportpädagogik, während die Arbeitspädagogik häufig von der Sensumotorik spricht (vgl. Bunk 1991, S. 83).

Motorisches Lernen als ein Begriff der Bewegungslehre steht für die Aneignung motorischer Kompetenzen und somit für die Aneignung von Bewegungshandlungen bzw. Bewegungsfertigkeiten (vgl. Meinel und Schnabel 2007, S. 475). Das **berufsmotorische Lernen** ist ausgerichtet auf das Erlernen von Berufsfertigkeiten und beschreibt den Erwerb, das Verfeinern, Festigen und variabel Verfügbarmachen von Berufsfertigkeiten (Schelten 2005, S. 44 f. verweist auf Meinel und Schnabel 1977, S. 223).

⁸ Sensumotorik: lateinisch *sensus* (Sinn, Empfindung), *motio* (Bewegung)

⁹ Psychomotorik: griechisch-lateinische Bezeichnung (Psyche, Seele); Beschreibt den psychischen, seelischen Einfluss auf menschliche Bewegungen.

Das Verständnis von **Berufsfertigkeiten** orientiert sich an der allgemeineren Definition der motorischen Fertigkeiten. Motorische Fertigkeiten beschreiben als Bewegungsfertigkeiten die motorische Realisierung einer Handlung bzw. Teilhandlung, die durch längere Übungsarbeit erworben, gefestigt und z.T. automatisiert wurde (vgl. Meinel und Schnabel 2007, S. 150). Eine *gekonnte Fertigkeit* läuft scheinbar automatisch, ohne bewusste Steuerung und Kontrolle der Ausführenden ab. Berufsfertigkeiten bezeichnen motorische Fertigkeiten, welche innerhalb oder außerhalb einer Berufsausbildung erworben werden (vgl. Schelten 2005, S. 44 f.).

2.1.3.2 Koordinations- und Lernphasen

Aus den einleitenden Begriffserläuterungen des vorherigen Abschnitts wird abgeleitet, dass die Ausführung einer beruflichen Tätigkeit beziehungsweise einer Arbeitstätigkeit das Erlernen entsprechender Berufsfertigkeiten voraussetzt. Das Erlernen von Fertigkeiten wird nach Schelten (1983, 2005) in verschiedene Koordinationsphasen (Rahmen-, Detail- und Mikrokoordination) beziehungsweise in inhaltlicher Übereinstimmung mit Meinel und Schnabel (1977, 1998, 2007) in unterschiedliche Lernphasen (Grob-, Feinkoordination und Stabilisierung der Feinkoordination) unterteilt. Diese Phasen beschreiben dabei weniger einen zeitlichen Ablauf, sondern dienen vielmehr der Beschreibung definierter Merkmale des inneren und äußeren Verhaltens der Lernenden, welches sich innerhalb der einzelnen Phasen voneinander unterscheidet. Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Phasen des (berufs-) motorischen Lernens in reduzierter Form dargestellt (vgl. Schelten 2005, S. 54 ff.; Meinel und Schnabel 2007, S. 163 ff.).

Rahmen- und Grobkoordination

Zu Beginn eines Lernvorgangs sollen Lernende die Ausführungsreihenfolge der Bewegungselemente erfassen. Im Vordergrund steht die Ordnung jener Bewegungen durch erste Übungen, welche die Lernenden als erfolgreich empfinden. Tiefergehende Einzelheiten zur Bewegungsausführung stehen zunächst nicht im Vordergrund. Lernende sollen zunächst in der Lage sein eine spezifische Fertigkeit unter günstigen Bedingungen auszuführen. Diese Phase des Lernens kann als die *Entwicklung einer Rahmenkoordination* (vgl. Schelten 2005, S. 65 ff.) bezeichnet werden (vgl. *Entwicklung einer Grobkoordination* nach Meinel und Schnabel 2007, S. 165 ff.). In diesem Stadium des Lernens ist die Ausübung der Bewegungsfertigkeit noch durch Bewegungsfehler gekennzeichnet. Die Vorstellung der Bewegungsabfolge (äußeres Soll-Bild, motorisches Programm) ist noch wenig detailliert und dient überwiegend der Zielantizipation. Sie entspricht einem groben Schema der Bewegungsabfolge. Die Vorstellung von den zu erwartenden Rückempfindungen bei der Bewegungsausführung (inneres Soll-Bild) sind noch wenig differenziert, resultatorientiert und überwiegend visuell geprägt. Lernende sind in dieser Phase des Lernens noch nicht fähig ihre Bewegungen vorausschauend zu regeln oder auf Störungen präventiv zu reagieren.

Detail- und Feinkoordination

Mit zunehmender Übungsdauer beginnen sich die als korrekt deklarierten Bewegungen bei den Lernenden durch wiederholte Durchführung als Bewegungsmuster zu festigen. Lernende führen unter günstigen, störungsfreien Bedingungen die Bewegungen annähernd fehlerfrei und mit ei-

ner hohen Beständigkeit aus. In dieser Phase wird von der Entwicklung einer Detail- bzw. Feinkoordination gesprochen. Es entwickelt sich ein Feinschema der Bewegungsabfolge und eine differenzierte Vorstellung der Rückempfindungen. Diese werden neben den visuellen Anteilen durch kinästhetische Anteile ergänzt. Findet die Ausführung unter den gewohnt günstigen Bedingungen statt, sind Lernende zu einer vorausschauenden Handlungsregelung und zur Reaktion auf erste Störungen fähig.

Verfestigte Fein- und Mikrokoordination

Mit dem Erreichen der Detail- bzw. Feinkoordination entsteht mit fortschreitender Übungsarbeit der Aufbau der Mikrokoordination bzw. das Verfestigen der Feinkoordination. Lernende in diesem Stadium weisen eine zunehmend autonome Ausführung der Bewegungsfertigkeit auf und können sogar zusätzliche Bewegungen integrieren. Die Ausführungen erscheinen sicher, präzise und schnell. Die zu erlernende Fertigkeit wird zum *Besitz* der Lernenden. Durch die fortschreitende Übung konnte die Feinkoordination so weit verfestigt werden, dass der Bewegungsvollzug auch unter ungewohnten und schwierigen Bedingungen erfolgen kann. Neben der Entwicklung einer stabilen Feinkoordination können die neu erlernten Bewegungsmuster auf neuartige Situationen übertragen und angewandt werden. Die Detailkoordination ist variabel verfügbar und flexibel einsetzbar. Lernende haben eine sehr detaillierte und differenzierte Vorstellung der Bewegungsabfolge entwickelt. Gegenüber der kinästhetischen nehmen die Anteile der visuellen Sinneswahrnehmung ab. Die Vorstellungen der zu erwartenden Rückempfindungen sind sehr differenziert entwickelt. Der Aufbau einer Detailkoordination erfordert i.d.R. jahrelange Übung und kann somit im Rahmen einer Berufsausbildung nur selten entstehen. Die notwendige Übungsdauer hängt u.a. von der Komplexität des Bewegungsmusters sowie von dem motorischen Ausgangsniveau und der Einstellung der Lernenden ab (vgl. Kapitel 2.1.4.4: Personenbezogene Einflussfaktoren).

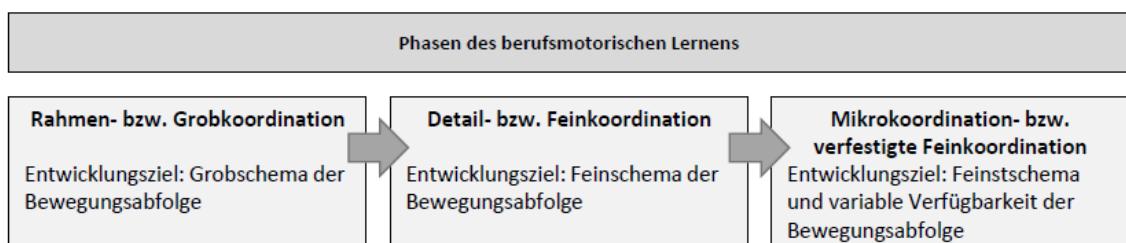


Abbildung 2.1.3-1: Phasen des berufsmotorischen Lernens
(Darstellung in Anlehnung an Schelten 2009b, S. 137)

2.1.3.3 Lernzielstufen

In Anlehnung an die Inhalte der zuvor beschriebenen Koordinations- und Lernphasen lassen sie hierarchisch geordnete Lernziele des berufsmotorischen Lernens ableiten und den einzelnen Phasen zuordnen (vgl. Schelten 2009b, S. 141 ff.).

Geleiteter und eigenständiger Nachvollzug

Zum Aufbau einer Rahmenkoordination lassen sich zwei Lernziele formulieren. Zunächst erfolgt die unmittelbare Nachahmung eines demonstrierten Bewegungsmusters durch die Lernenden. Dieser *geleitete Nachvollzug* einer Berufsfertigkeit erfolgt unter ständiger Beobachtung und

Steuerung durch Ausbildende bzw. Lehrende. Hierbei folgen die Lernenden, bei definierten Durchführungsbedingungen (Auswahl der Arbeitsmittel und -verfahren), den unmittelbaren Anleitungen der Lehrenden. Gestaltungsspielraum bezüglich der eigenen Ausführungen besteht für die Lernenden nicht.

Das Koordinationsverhalten in dieser Phase ist durch undifferenziertes Steuerungs- und Regelungsverhalten sowie unvollständige, häufig durch Neuorientierung abgebrochene, Bewegungsabläufe gekennzeichnet. Das Erlernen der Fertigkeit erfolgt schrittweise durch die Definition von Teilhandlungen, die noch nicht zu einem gesamten Bewegungsvollzug zusammengesetzt werden.

Die Stufe bzw. das Lernziel des *eigenständigen Vollzugs* kennzeichnet sich dadurch, dass die Lernenden zwar weiterhin unter festgelegten Durchführungsbedingungen auf die externe Kontrolle und die Verwendung detaillierter Dokumentationen zum Arbeitsinhalt (Ausbildungsunterlagen) angewiesen sind, jedoch nicht mehr ständig davon Gebrauch machen und nur bei Bedarf in Anspruch nehmen. Das angelegte Grobschema der Bewegungsabfolge beschreibt ein erstes, eigenes Abbild des Bewegungsvollzugs der Lernenden bezüglich der angestrebten Fertigkeit. Der Handlungsablauf wirkt zunehmend gefestigt. Anfängliche Bewegungsschemata und tastende Aktivitäten, wie es beim geleiteten Nachvollzug beobachtet werden kann, sind nur noch selten vorhanden. Der Bewegungsablauf erfordert weiterhin eine bewusste Steuerung und Regelung, wodurch vereinzelte Unterbrechungen während der Ausführung auftreten können. Der Bewegungsablauf wirkt instabil, wenig konstant und ungenau bei eingeschränkter Bewegungspräzision.

Sichere Ausführung

Erreichen Lernende die Stufe der *sicheren Ausführung* erfolgt die Bewegungsausführung ohne eine externe Kontrolle und ohne den Gebrauch von Arbeitsdokumentationen bzw. Ausbildungsunterlagen. Die Bedingungen zur Durchführung des Handlungsvollzugs werden nicht mehr detailliert festgelegt und im Vergleich zu den vorhergehenden Lernzielstufen erfolgt der Lernvorgang in einer offeneren Situation. Demnach erfolgt die Tätigkeitsausführung der Lernenden selbstbestimmt und innerhalb eines vorgegebenen Tätigkeitsbereichs. Einzelne Bewegungen sowie der Umgang mit den vorhandenen Arbeitsmitteln haben sich auf dieser Stufe deutlich weiterentwickelt und verfeinert. Die Berufsfertigkeit beginnt zur Gewohnheit zu werden. Unsicherheiten bei der Ausführung der Fertigkeit sowie Unterbrechungen im Bewegungsablauf sind nicht mehr festzustellen. Die Maßnahmen zur Steuerung und Regelung des Bewegungsablaufs werden von den Lernenden in den Arbeitsablauf integriert sowie erste eigene Arbeitserfahrungen gewonnen. Unter gewohnten Bedingungen erfolgt der Bewegungsablauf präzise, beständig und bewegungsökonomisch. Sowohl der Umfang als auch das Tempo der Bewegungsausführung entsprechen der Zielvorstellung. Wurden mehrere Bewegungsumfänge erlernt, erfolgt die Verknüpfung der einzelnen Abläufe (Sequenzen) zu einer harmonischen Gesamtfolge. Der Ablauf der Bewegung wird auf dieser Stufe von den Lernenden bewusst wahrgenommen. Somit ist die Ausführung der Bewegungsfertigkeit weiterhin bewusstseinspflichtig.

Beherrschung

Erreichen Lernende die Stufe der *Beherrschung* ist die zu bewältigende Arbeitsaufgabe offen. Bei der Bewältigung von umfangreichen Arbeitsaufgaben werden Handlungsspielräume genutzt und planende sowie vorbereitende Tätigkeitsanteile nehmen zu. Neben der weitestgehend selbstständigen Definition der Durchführungsbedingungen werden eigene Handlungsalternativen entwickelt, wodurch Störungen im Arbeitsablauf antizipiert und überwunden werden können. Lernende haben zudem ein Gespür bezüglich der wirtschaftlichen und qualitativen Bewertung der Handlungsalternativen entwickelt. Auf der Stufe der Beherrschung wird von einer gekonnten Fertigkeit gesprochen. Lernende haben ein *Feinstschema der erlernten Bewegungsabfolge* entwickelt und sind zur vollständigen, inneren Vorwegnahme einer detaillierten Arbeitshandlung (inneres Bild) fähig. Äußerlich sind die Bewegungen der Lernenden durch eine hohe Präzision, eine hohe Konstanz sowie durch eine hohe Bewegungsgeschwindigkeit gekennzeichnet. Die Bewegungen erscheinen entspannt und mühelos. Da die Bewegungsfertigkeit als gekonnte Fertigkeit zum festen Besitz der Lernenden wird, kann selbst nach einer temporären Inaktivität der Lernenden das frühere Leistungsniveau wieder erreicht werden. Die Steuerung und Regelung der inzwischen automatisiert ablaufenden Bewegungsmuster erfolgt zunehmend unbewusst. Die erlernte Bewegungsfertigkeit kann auf ähnliche Arbeitssituationen übertragen werden und ist flexibel einsetzbar.

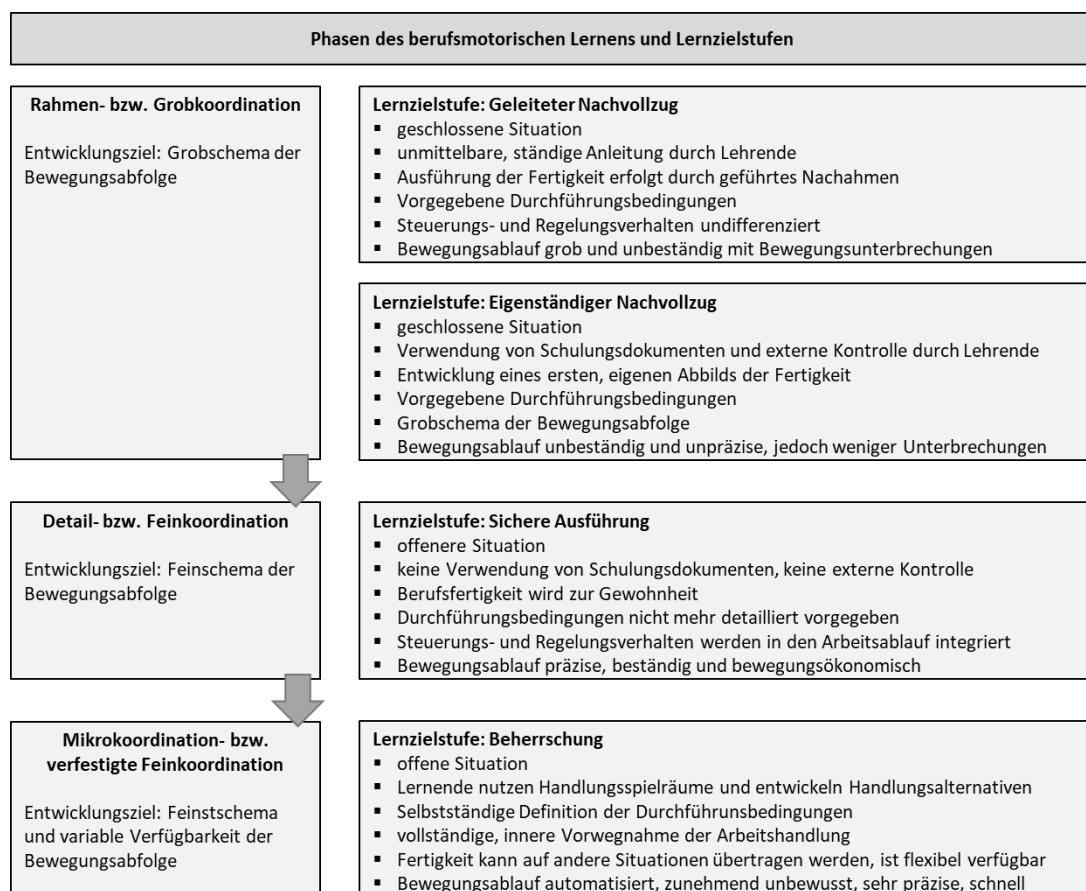


Abbildung 2.1.3-2: Zuordnung der Lernzielstufen
(Darstellung in Anlehnung an Schelten 2009b, S. 141 ff.)

Das hier dargestellte Konzept der Lernzielstufen unterstützt die Definition eines **Beherrschungsgrads** einer zu erlernenden Berufsfertigkeit, wie es im Zuge einer Berufsausbildung oder bei der Konzeption einer Arbeitsunterweisung notwendig wird. Des Weiteren lassen sich in Anlehnung an die dargestellten Merkmale der einzelnen Stufen, Aussagen bezüglich der **Vermittlungstiefe** einer zu erlernenden Berufsfertigkeit treffen. Somit werden anknüpfende Analysen der Resultate eines Lernvorgangs bzw. Analysen des Lernvorgangs selbst ermöglicht.

2.1.3.4 Zusammenfassung

Beim Erlernen berufsmotorischer Fertigkeiten durchlaufen Lernende verschiedene Phasen. Der sich im Lernverlauf verbessernden Koordination können Lernzielstufen zugeordnet werden. Die dargestellten Ansätze der Lernphasen und Lernzielstufen liefern charakteristische Merkmale des Lernverlaufs sowie des (Koordinations-) Verhaltens der Lernenden beim Erlernen einer Berufsfertigkeit.

Im Allgemeinen wird dem berufsmotorischen Lernen unter den Weiterentwicklungen der betrieblichen Arbeitsgestaltung eine abnehmende Bedeutung zugewiesen. Komplexere Arbeitstägigkeiten, deren Anforderungen den Stufen der Koordination mehrerer Handlungsbereiche sowie der Teilzeitplanung zugeordnet werden, repräsentieren eine moderne Berufsarbe (vgl. Schelten 2009b, S. 150 f.). Für die vorliegende Untersuchung, die sich an den vorherrschenden branchen- und produktsspezifischen Merkmalen der Untersuchungsumgebung orientiert, wird dem Erlernen berufsmotorischer Fertigkeiten weiterhin eine hohe Relevanz und Verbreitung zugewiesen. Als Methode zur Unterweisung berufsmotorischer Fertigkeiten eignet sich die Vier-Stufen-Methode, die einen systematisch aufgebauten Lehr- und Lernvorgang betont. Die Vier-Stufen-Methode sowie weitere Ansätze und Praktiken der Arbeitsunterweisung werden im folgenden Kapitel dargestellt.

2.1.4 Methoden und Medien der Arbeitsunterweisung

Mit der Absicht Lernen im Kontext der Arbeitstätigkeit zu initiieren, zu strukturieren und zu gestalten werden Arbeitsunterweisungen durchgeführt. Arbeitsunterweisungen werden unter dem erziehungspraktischen Aspekt der Arbeitspädagogik dem Gegenstand der Qualifizierung von Mitarbeitenden bzw. den betrieblichen Qualifizierungsmaßnahmen zugeordnet (vgl. Kapitel 2.1.1.5). Das Ziel von Arbeitsunterweisungen besteht darin alle notwendigen Kenntnisse, Verrichtungen sowie Haltungen für den Erwerb einer Arbeitstätigkeit zu vermitteln (vgl. Schelten 2005, S. 10 ff.) beziehungsweise die Befähigung einer Person zur Bewältigung einer Arbeitstätigkeit zu gewährleisten (vgl. Bunk 1991, S. 75). Dabei finden Lernaktivitäten durch die Teilnahme an entsprechenden Veranstaltungen statt (Bsp.: Schulungen und Umschulungen, betriebliche Weiterbildungsmaßnahmen). Veranstaltungen der Berufsausbildung stellen das Erlernen von Fähigkeiten und Fertigkeiten in den Vordergrund, welche zur Ausübung eines Berufes notwendig sind. Maßnahmen der betrieblichen Weiterbildung beziehen sich auf die Entwicklung von benötigten Qualifikationen beziehungsweise Kompetenzen, die sich an eine Berufsausbildung anschließen. Im angloamerikanischen Raum werden die Lernaktivitäten der betrieblichen Aus- und

Weiterbildung häufig unter dem Begriff des *Trainings* zusammengefasst. Berufliches Training zielt im Allgemeinen auf Verbesserungen bei der Ausführung beruflicher Tätigkeiten ab und beschreibt eine systematische Aneignung von Wissen, Fähigkeiten oder Einstellungen (Nerdinger et al. 2011, S. 426 verweist auf Goldstein 2002). Die Gestaltung und Analyse der Lernaktivitäten orientieren sich an den Ansätzen der kognitiven und verhaltensbezogenen Lerntheorien (vgl. Kapitel 2.1.2) sowie am *Instructional System Design* (ISD), wodurch eine pädagogisch-psychologisch fundierte und systematische Konzeption der Lernaktivitäten sichergestellt werden soll (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 426 f.).

2.1.4.1 Grundlagen und Begriffe der Arbeitsunterweisung

Grundsätzlich unterscheidet sich der Begriff der Arbeitsunterweisung in seiner Semantik kaum vom Begriff des Unterrichts. Beide Begriffe beschreiben ein *nachdrückliches Lehren*, welches auf eine systematische Vermittlung eines Lehrgutes abzielt und dieses möglichst nachhaltig zum Eigentum der Lernenden transformiert. Im Kontext des Lehrens einer Arbeitstätigkeit mit der Fokussierung auf berufspraktische Aspekte hat sich in der Arbeitspädagogik der Begriff der Unterweisung im Sinne einer systematischen Anleitung zum Erwerb einer Arbeitstätigkeit etabliert. Dabei beschreibt die Arbeitsunterweisung sowohl den Vorgang der Unterweisung selbst sowie die dazugehörigen Maßnahmen für den Tätigkeitserwerb (vgl. Schelten 2005, S. 92 f.). Ziel der Unterweisung ist die Abbildung eines organisierten Lehrens und Lernens, welches Mitarbeitende (i.d.R. ungelernte, jedoch ebenso ausgebildete Personen) innerhalb eines definierten Zeitrahmens dazu befähigt eine Arbeitsaufgabe/-tätigkeit in der geforderten Qualität und Quantität zu absolvieren (vgl. Bunk 1991, S. 75).

Struktur und Elemente

Für eine zu erlernende Arbeitstätigkeit werden mehrere **Unterweisungseinheiten** gebildet, die den spezifischen **Unterweisungsgang** einer Arbeitstätigkeit darstellen. Eine Unterweisungseinheit besteht aus einer einführenden, einer begleitenden und einer abschließenden Unterweisung (vgl. Schelten 2005, S. 92).

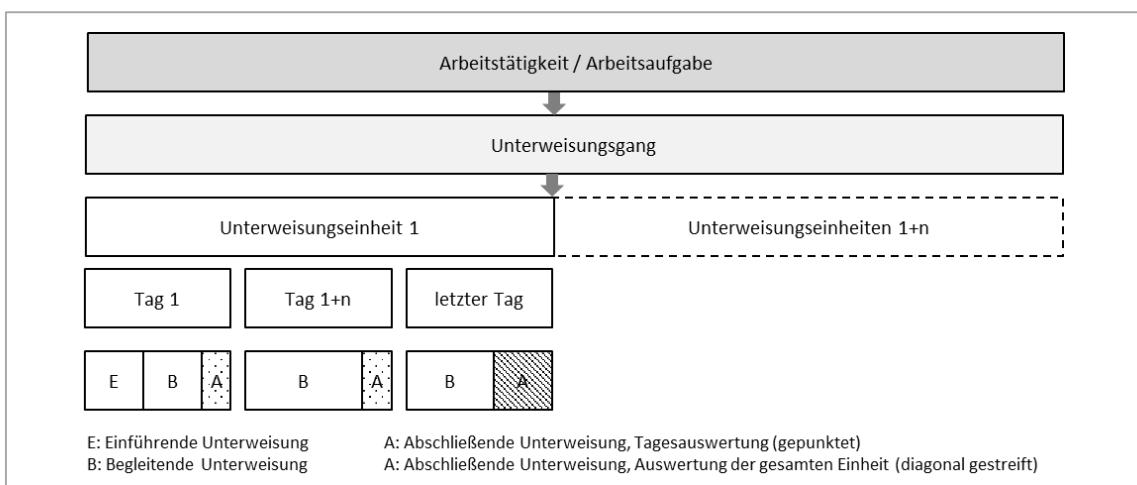


Abbildung 2.1.4-1: Struktur einer Unterweisung
(Darstellung in Anlehnung an Schelten 2005, S. 94)

Während die einführende Unterweisung der Befähigung zur bewussten Durchführung der Übungsarbeit (Erstübung) dient, zielt die begleitende Unterweisung auf die aktive, korrigierende Betreuung der sich anschließenden Übungsarbeit ab. Die abschließende Unterweisung ist auf die Evaluation der jeweiligen Übungsarbeit ausgerichtet. Innerhalb einer Übungsreihe kann hierbei zunächst die Beurteilung von einzelnen Übungstagen erfolgen (Zwischenkontrolle), woran sich eine Gesamtbeurteilung zum Ende der Übungsreihe anschließt.

Die Möglichkeit zur Interaktion zwischen den lehrenden und den lernenden Personen sowie die Interaktion der lernenden Personen untereinander wird maßgeblich durch die **Sozialformen** (Einzel-, Partner- und Gruppenunterweisung) einer Unterweisung determiniert. In der Praxis wird häufig im Zuge der einführenden Unterweisung die Gruppenunterweisung, für die begleitende Unterweisung die Einzelunterweisung und für die abschließende Unterweisung sowohl die Einzelunterweisung (individuelle Evaluation) als auch die die Gruppenunterweisung (kollektive Evaluation) als Sozialform gewählt (vgl. Schelten 2005, S. 92-95).

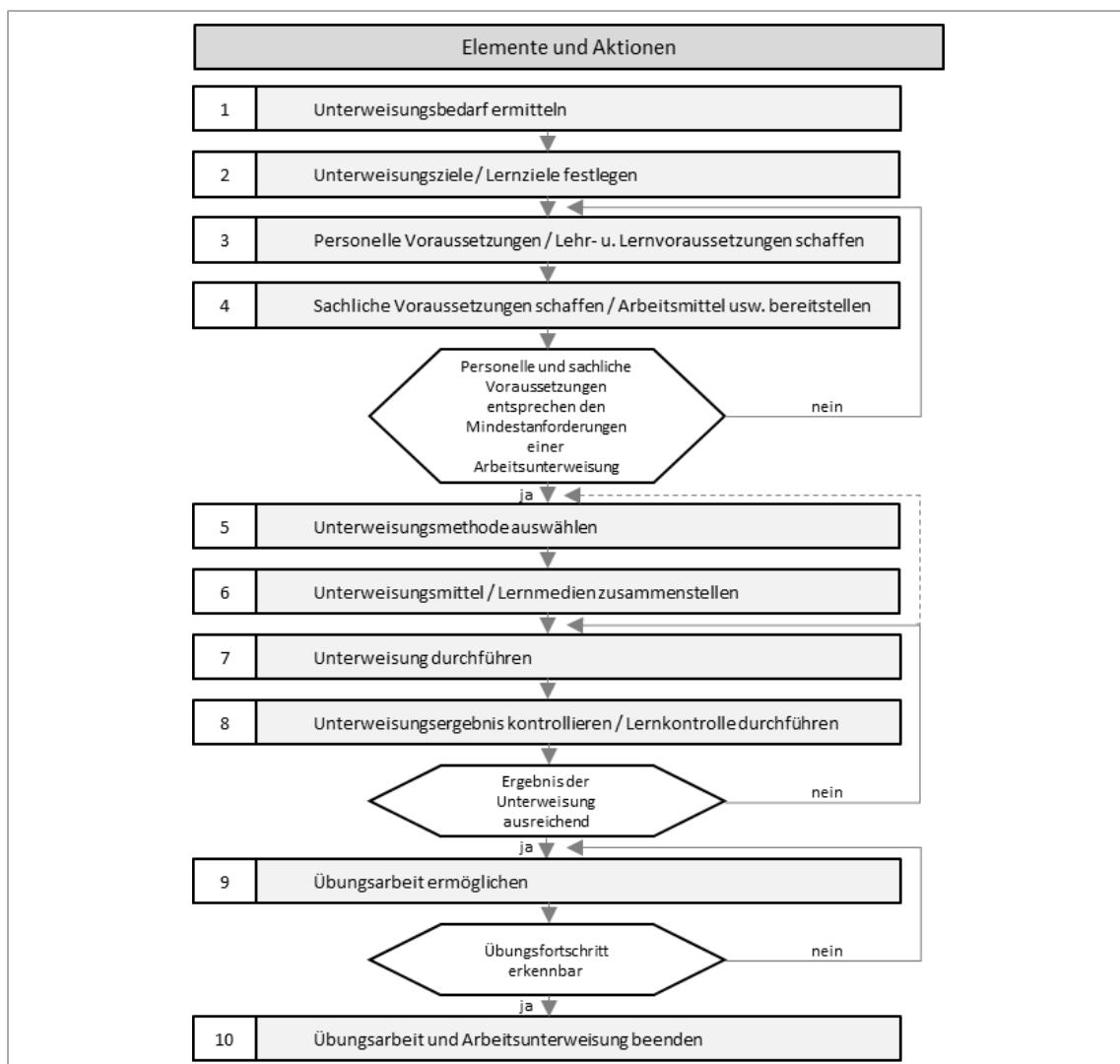


Abbildung 2.1.4-2: Standardprogramm der Arbeitsunterweisung (Darstellung in Anlehnung an Bunk 1991, S. 74)

Ergänzend zu den verschiedenen Arten, Einheiten und Sozialformen der Unterweisung definiert REFA in einem *Standardprogramm der Arbeitsunterweisung* relevante Elemente der *Vorbereitung*, *Durchführung* und der *Beendigung* die innerhalb einer vollständigen, systematischen Arbeitsunterweisung einbezogen werden sollten (vgl. Bunk 1991, S. 75 ff.). Zwar sind durch die spezifischen Voraussetzungen verschiedener Arbeitstätigkeiten nicht unbedingt alle aufgeführten Elemente des Programms relevant (Maximalprogramm), bieten jedoch eine Struktur für die Gestaltung und Überprüfung von Arbeitsunterweisungen. Schrittweise werden, nach der Ermittlung eines Unterweisungsbedarfs, die Ziele der Unterweisung definiert sowie die persönlichen und fachlichen Voraussetzungen geschaffen. In diesem Zusammenhang sind v.a. die Bildung von Lernzielen, die Organisation bzw. Auswahl geeigneter Personen (Lehrende und Lernende) sowie die Bereitstellung von Dokumentationen, Arbeitsplätzen und Arbeitsmittel vorgesehen. Im Anschluss erfolgt die Auswahl der Unterweisungsmethoden und die Zusammenstellung bzw. Konzeption der entsprechenden Unterweisungsmittel (Lernmedien). An diese vorbereitenden Schritte der Arbeitsunterweisung schließt sich die Unterweisung selbst an. Im Anschluss erfolgt die Kontrolle der Unterweisung sowie die Durchführung und Bewertung der Übungsarbeit. Abhängig von den Resultaten dieser Kontrollen kann die Übungsarbeit bzw. die Arbeitsunterweisung abgeschlossen werden (vgl. Abbildung 2.1.4-2).

Elemente der Unterweisungsvorbereitung

Die *Arbeitszergliederung* (vgl. Bunk 1991, S. 150 ff.) bzw. die *Unterweisungsgliederung* (vgl. Schelten 2005, S. 110 ff.) unterteilt als Element der Unterweisungsvorbereitung die zu unterweisende Arbeitstätigkeit in lernfähige Abschnitte. Diese methodische Aufbereitung der Arbeitsvorgänge sieht neben der Zerlegung des Gesamtorgangs in einzelne Teiltätigkeiten (Arbeitsschritte), die Beschreibung der dazugehörigen (Handlungs-) Abläufe sowie eine entsprechende Begründung zu dem gewählten Arbeitsablauf vor. Der Umfang eines Lern- bzw. Arbeitsabschnitts sollte sich dabei an der kognitiven Aufnahmefähigkeit der Lernenden orientieren und sich durch natürliche Pausen von anderen Lernabschnitten abgrenzen. Die Hinweise zum Arbeitsablauf beziehen sich insbesondere auf die Ausführung einzelner Bewegungen und Handlungen, welche zum sicheren und fehlerfreien Gelingen der Arbeit beitragen. Ablaufhinweise von besonderer Wichtigkeit werden als Kernpunkte bezeichnet. Zusätzlich sieht die Arbeitszergliederung eine Begründung des gewählten Arbeitsablaufs vor. Hierbei werden die Folgen einer abweichenden Vorgehensweise dargestellt und das Verständnis für den vorgegebenen Ablauf gestärkt (Bsp.: Betriebsunfall oder Schaden).

Die methodische Zergliederung der Arbeitstätigkeit ist als vorbereitende Maßnahme bei der Anwendung der Vier-Stufen-Methode üblich und wird als unterstützende Dokumentation in den Stufen der Vorführung und der Ausführung verwendet. Die Erstellung der Unterweisungsgliederung bzw. der Arbeitszergliederung gilt hinsichtlich des pädagogischen Beitrags als besonders bedeutsam, da sich die erstellende Person (Bsp.: angehende Lehrende) beim Erarbeiten und Beschreiben der einzelnen Lernabschnitte systematisch mit den Unterweisungsgegenständen auseinandersetzt (vgl. Schelten 2005, S. 114).

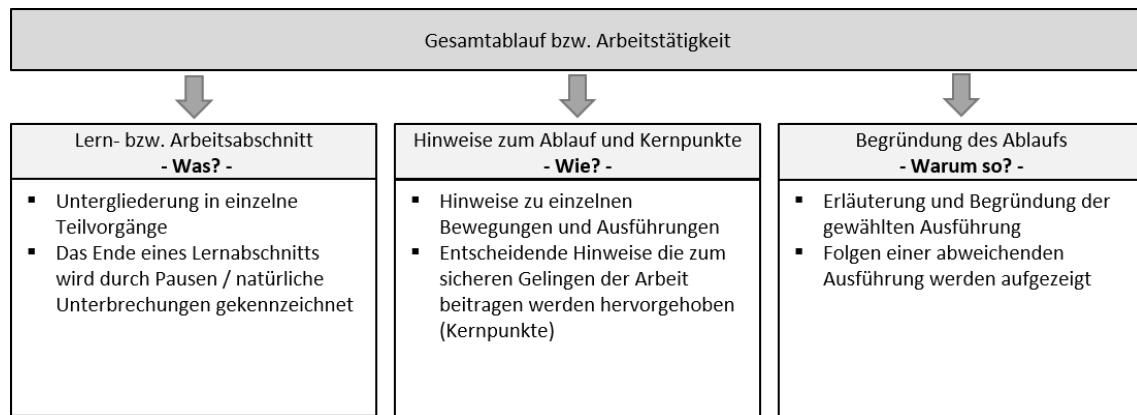


Abbildung 2.1.4-3: Zergliederung eines Arbeitsablaufs
(zusammengetragen aus Bunk 1991, S. 151; Schelten 2005, S. 111)

In Ergänzung zur Arbeitszergliederung können im Rahmen einer *Tätigkeitsanalyse* neben den Angaben zur Arbeitsbeschreibung (*Was?*) und den Bewegungsabläufen (*Wie?*), Untersuchungen zu relevanten Sinneswahrnehmungen bei der Ausführung einer Tätigkeit durchgeführt werden (vgl. Schelten 2005, S. 123 ff.). Diese Sinneswahrnehmungen sind verantwortlich für die Steuerung und Regelung der Bewegungsabläufe. Zudem werden im Zuge der Tätigkeitsanalyse arbeitsplatzspezifische Kenntnisse (Hintergrundwissen) sowie Qualitätskriterien und Verfahren zur Fehleranalyse bzw. Fehlerbehebung integriert. Die Erstellung der Tätigkeitsanalyse dient der Konzeption eines Unterweisungsplans und gilt als Grundlage für eine analytische Arbeitsunterweisung.

Durchführung und Methodik

Arbeitsunterweisungen werden in diversen Arbeitsumgebungen sowie unter vielfältigen personalen und sachlichen Voraussetzungen durchgeführt. In Anpassung an die unterschiedlichen Gegebenheiten beim Erwerb einer Arbeitstätigkeit haben sich verschiedene Methoden der Unterweisung etabliert. Eine *Methode* definiert in diesem Kontext einen geplanten Pfad, welcher eine lernende Person beim Aneignen bzw. bei der Bewältigung einer neuen Arbeitsaufgabe leitet (vgl. Schelten 2005, S. 95).

Frühe Verfahren der Arbeitsunterweisung wie die Beistellehre und das Imitationslernen (vgl. Kapitel 2.1.1.1) werden als Vorstufen beziehungsweise als vorpädagogische Verfahren der ganzheitlichen Unterweisungsmethoden eingeordnet. Durch das *Beistellverfahren* oder beim *Absehen* erhalten Lernende durch die Beobachtung der Durchführung einer Arbeitstätigkeit ein rein visuelles Abbild der Tätigkeit. Es werden keine taktilen oder kinästhetischen Informationen vermittelt. Eine ergänzende, verbale Beschreibung bleibt ebenfalls aus. Bei diesem unsystematischen, meist ungeplanten Verfahren liegt im Gegensatz zum Imitationslernen (geplantes Vor- und Nachmachen) ein ungeplantes Vormachen vor. Das Lernen durch Vor- und Nachmachen ist als Weiterentwicklung des Absehens einzuordnen. Hierbei ergänzt der Lehrende („Könner“) die Ausführung der Arbeitstätigkeit durch verbale Hinweise und gliedert die Ausführung in einzelne Abschnitte. Insbesondere bei anspruchsvoller Bewegungsabläufen wird das Ausführungstempo verringert und kritische Aspekte werden hervorgehoben. In Anlehnung an das ent-

standene Bild und die Struktur der Arbeitstätigkeit, welche durch das geplante Vormachen vermittelt wurden, können Lernende im Anschluss zur Übungsarbeit übergehen (vgl. Schelten 2005, S. 95 f.).

Bei der Betrachtung ganzheitlicher Unterweisungsmethoden lassen sich Unterschiede hinsichtlich der Ausrichtung und Zielsetzung definieren, die in erster Näherung einen strukturierenden sowie ordnenden Charakter besitzen. Nach Schelten (2005) sind sowohl der *Beteiligungsgrad* der Lernenden und der Lehrenden als auch der dominante *Lernbereich* bzw. *Lerninhalt* praktikable Differenzierungsmerkmale unter den Methoden der Arbeitsunterweisung (vgl. Schelten 2005, S. 96 ff.). Somit lassen sich, abhängig vom Beteiligungsgrad der Lernenden und der Lehrenden, Unterweisungsmethoden den Lernbereichen und Merkmalen einer Arbeitstätigkeit spezifisch zuordnen. Beschreibt eine Arbeitstätigkeit einen überwiegend psychomotorischen¹⁰ Lernbereich gelten die *Anweisung* sowie der *Algorithmus* (Rolle der Unterweisenden/Lehrenden betont) und die *Vier-Stufen-Methode* (Betonung beider Rollen, Lernende und Lehrende) als exemplarische Vertreter dieser Kategorie der Unterweisungsmethoden. Jenen Arbeitstätigkeiten, die überwiegend kognitive Lernbereiche adressieren, lassen sich die Methoden des *Vortrags* (Betonung der Unterweisenden, Lernende rezeptiv), des *Lehrgesprächs* (Betonung beider Rollen) sowie die *Fallmethode* (Betonung der Rolle der Lernenden) als Unterweisungsmethoden zuordnen. Dem Überschneidungsbereich des kognitiven und des psychomotorischen Lernens werden die *Leittextmethode*, die *Simulations-/ Trainingsmethode*, das *Planspiel* sowie die *Projektmethode* als geeignete Unterweisungsmethoden zugewiesen. Bei allen genannten Methoden dieses Lernbereiches wird die Rolle der Lernenden betont.

Die Vier-Stufen-Methode stellt in ihrer Grundform eine bedeutsame, weit verbreitete Unterweisungsmethode für überwiegend psychomotorische Lernbereiche dar. Gemeinsam mit der Methode der analytischen Arbeitsunterweisung, der handlungsregulatorischen Methode sowie der Leittextmethode beschreibt die Vier-Stufen-Methode, wegen der spezifischen Ausrichtung auf psychomotorische Lernbereiche, eine besondere Relevanz für die vorliegenden Untersuchungen und wird in den folgenden Kapiteln tiefergehend betrachtet. Weitere Methoden werden an dieser Stelle komprimiert dargestellt (vgl. Schelten 2005, S. 97 ff.):

- Eine *Anweisung* beschreibt die schriftliche oder mündliche Anordnung, eine grundsätzlich bekannte und beherrschte Arbeitstätigkeit in einer bereits geläufigen oder veränderten Form auszuführen (vgl. Bunk 1991, S. 59 ff.). Als begleitendes Dokument hat sich eine formularartige Beschreibung der adressierten Arbeitstätigkeit etabliert. Das häufig als „Arbeitsunterweisung“ bezeichnete Formular liefert in ihrem Hauptteil eine Beschreibung des relevanten Arbeitsschrittes, Informationen über Arbeitsmittel und die Arbeitsorganisation sowie geforderte Ausbringungsmengen und Hinweise zur Arbeitssicherheit. Anweisungen sollen durch verständlich formulierte Anordnungen *ein Verstehen* der Mitarbeitenden sicherstellen. Bei neuen Mitarbeitenden, die häufig über geringes Vorwissen verfügen, stellt die Anweisung

¹⁰ psychomotorisch: Beschreibt die motorischen Aspekte des psychischen Geschehens (vgl. Fröhlich 2002, S. 352).

keine adäquate Unterweisungsmethode dar. In solchen Fällen sollten weiterführende arbeitspädagogische Maßnahmen eingeplant werden.

Algorithmen lassen sich von Arbeitsanweisungen nicht eindeutig trennen. Gegenstand ist eine möglichst detaillierte und schriftliche Darstellung aller Operationen, welche zur Bewältigung einer Arbeitsaufgabe in einer definierten Reihenfolge („schrittweise“) durchgeführt werden. Somit besteht eine Dokumentation zur Handlungsvorschrift bezogen auf eine eindeutig zugeschnittene Arbeitsaufgabe (vgl. Schelten 2005, S. 98; Bunk 1982, S. 186 ff.).

- *Simulationen* sollen unter Einsatz der Einrichtung eines Simulators die Nachahmung betrieblicher Ernstsituationen ermöglichen. Es werden Verhaltensweisen trainiert, die aus wirtschaftlichen, technischen, organisatorischen oder sicherheitsbezogenen Gründen nicht oder nur bedingt in der betrieblichen Realsituation abgebildet werden können. Durch eine didaktisch aufbereitete Darstellung bestimmter Arbeitstätigkeiten und Arbeitsbedingungen an einem Simulator können Mitarbeitende entsprechende Verhaltensweisen erwerben bzw. ihre Handlungssicherheit erhöhen.

Das *Planspiel* gilt als verwandte Methode der Simulation und richtet sich an die Abbildung komplexer Entscheidungssituationen. Es werden Sachkenntnisse, Arbeitsmethoden sowie ein ganzheitliches, vorausschauendes und vernetztes Denken vermittelt, wodurch den Teilnehmenden selbst unter schwierigsten Bedingungen eine strukturierte Entscheidungsfindung ermöglicht werden soll. Planspiele basieren häufig auf der Abbildung realer Situationen, die modellhaft nachgebildet werden (vgl. *Simulation*).

- Ein ganzheitliches Lernen, im Sinne der Berücksichtigung sowohl psychomotorischer, kognitiver als auch affektiver Lernbereiche, begünstigt die *Projektmethode*. Bei dieser Methode wird ein „lebensechtes und praktisches Vorhaben“ zu großen Teilen durch die Lernenden selbst verantwortet. Hierzu gehören i.d.R. Aktivitäten der Planung, Zieldefinition, Durchführung und Beurteilung, welche eine projekthafte Vorgehensweise kennzeichnen.
- Bei einem *Vortrag* nehmen Lernende eine überwiegend rezeptive Rolle ein. Die Lehrenden stellen möglichst zielgruppenorientiert einen Sachverhalt dar und erläutert diesen. Hierbei können sich Unterweisende auf eine mündliche sowie textuelle Darstellungsform beschränken oder zusätzliche Demonstrationen und bildhafte Darstellungen integrieren.
- Das *Lehrgespräch* beinhaltet im Vergleich zum Vortrag eine deutlich aktiveren Rolle der Lernenden. In einem Dialog mit den Unterweisenden (Gesprächsleitung) werden Lernende findend beteiligt. Teilnehmende des Lehrgesprächs, die i.d.R. über entsprechende Vorkenntnisse verfügen, werden unter Einflussnahme der Gesprächsleitung durch den Lernstoff geführt und nehmen bei der Erarbeitung inhaltlicher Resultate eine aktive Rolle ein.
- Bei der *Fallmethode* bearbeiten Lernende überwiegend selbstständig komplexe Aufgabenstellungen (Fälle), die häufig aus der Arbeits- bzw. Berufspraxis stammen. Aufgebautes Wis-

sen soll im Kontext definierter Gegebenheiten angewandt und eine Problemlösung erarbeitet werden. Insbesondere durch die erforderliche Problemidentifikation, die vorausgehende Lösungsvermutung sowie durch die Lösungsentwicklung wird bei der Fallmethode das analytische Denken der Lernenden geschult.

Auf affektive Lernbereiche mit der Ausrichtung auf Einstellungen und Werthaltungen wird bei der hier vorliegenden Darstellung der Unterweisungsmethoden nur bedingt eingegangen. Es wird stets ein ganzheitlicher Ansatz beschrieben, der sich von einzelnen Techniken oder Mikromethoden der Arbeitsunterweisung abgrenzt. Mikromethoden wie *Hinweisen*, *Vorzeigen*, *Berichtigen* oder *Fragen* stehen für didaktische Einzelmaßnahmen, welche in ganzheitliche Methoden integriert werden können und während einer Unterweisung stattfinden.

Lernkontrolle und Trainingsevaluation

Die Beurteilung der *Arbeits- bzw. Übungsergebnisse* einer lernenden Person beschreibt ein bedeutendes Strukturelement der Arbeitsunterweisung. Durch Lernkontrollen soll der Bezug zwischen dem aktuellen Wissensstand (Grad der Befähigung) und den definierten Lernzielen gewährleistet werden. Grundsätzlich können Lernkontrollen mündlich, schriftlich oder handlungsorientiert erfolgen. Dabei können formelle oder informelle Prüfungsformen eingesetzt werden.

Durchführung einer Lernkontrolle		
(A) mündlich	(B) schriftlich	(C) handlungsorientiert
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abfragen (informell) ▪ Prüfung (formell) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ konventionelle / herkömmliche Prüfungsarbeiten ▪ programmierte / geschlossene Aufgabenstellungen ▪ freie / offene Aufgaben- und Fragestellungen ▪ Tests (standardisierte, kriteriumsbezogene und informelle Tests) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Experimente ▪ Werk- und Arbeitsaufgaben

Abbildung 2.1.4-4: Arten der Lernkontrolle
(Darstellung in Anlehnung an Bunk 1991, S. 209)

Die Durchführung der Lernkontrolle und somit die Beurteilung des Lernerfolgs kann sowohl durch Lehrende (Fremdkontrolle) als auch durch Lernende selbst (Selbstkontrolle) erfolgen. Aus der Perspektive der Arbeitspädagogik empfiehlt sich die Integration der Selbstkontrolle in den Lernprozess, da sich hierdurch für Lernende die Möglichkeit zur Selbststeuerung bietet. Umfangreiche Lernkontrollen werden meist als Prüfungen durch Lehrende durchgeführt. Lernkontrollen sollten stets humanitär, gerecht, objektiv und in Anlehnung an zuvor definierte Lernziele gestaltet sein. Zudem sollte sichergestellt werden, dass die Resultate der Kontrollen mit den Lernenden besprochen und in die Konzeption nachfolgender Lernaktivitäten integriert werden (vgl. Bunk 1991, S. 209 ff.).

Neben der Beurteilung der Übungs- bzw. der unmittelbaren Lernergebnisse der Lernenden sollten angewandte Methoden und Konzepte der Arbeitsunterweisung, im Sinne einer Qualitätssicherungsmaßnahme, ebenfalls kritisch betrachtet und beurteilt werden (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 446 f.). Als potentielle Orientierungsmöglichkeit für die Beurteilung der Unterweisungsmaßnahmen schlagen Nerdinger et al. (2011) die Darstellung der *vier Evaluationsebenen für Trainingseffekte* nach Kirkpatrick (1996) vor. Grundgedanke ist hierbei, dass Trainings- bzw. Lernaktivitäten aus unterschiedlichen Perspektiven analysiert werden sollten. Die subjektive Reaktion der Lernenden (Bsp.: Zufriedenheit) bildet die Ebene der *Trainingsbewertung* ab. Fähigkeiten, Kenntnisse sowie Einstellungen, die sich Lernende durch die Lernaktivität aneignen konnten, werden in Form von operationalisierten Variablen analysiert und beschreiben die Ebene der *Lernresultate*. Auf das Arbeitshandeln übertragene Verhaltensänderungen werden auf der Ebene der *Transferleistungen* betrachtet. Hier steht die Anwendung und Übertragung des Gelernten auf eine Arbeitssituation im Vordergrund. Des Weiteren werden Trainingseffekte auf organisationaler Ebene evaluiert (*Ebene der organisationalen Effekte*). Diese Ebene dient der Beurteilung der Erreichung operationalisierter Lernziele, welche eine Organisation mit der Initiierung der Lernaktivitäten anstrebt.

Konzepte wie die dargestellten *Evaluationsebenen* stehen stellvertretend für den Grundgedanken, dass die Beurteilung betrieblicher Lernaktivitäten nicht einzig auf das unmittelbare Lernresultat ausgerichtet sein sollte. Zur Qualitätssicherung betrieblicher Bildungsmaßnahmen wird eine differenzierte, mehrperspektivische Betrachtung der Lernaktivitäten empfohlen.

2.1.4.2 Einsatz und Gestaltung von Medien zur Arbeitsunterweisung

Werden im Rahmen einer Arbeitsunterweisung Medien als Lern- bzw. Unterweisungsmittel eingesetzt, unterstützen medienpädagogische Aspekte und Erkenntnisse bei der Auswahl und Gestaltung der (Lern-) Medien. Ausgehend von Erläuterungen zum Begriff der Medien und einer Auswahl an Klassifizierungsmöglichkeiten wird im folgenden Abschnitt die Wirkung von Medien auf Lernende sowie die Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen diskutiert.

Grundlagen und Begriffe

Medien vermitteln im Sinne einer Informationsübertragung verschiedene Zeichen (Bsp.: Buchstaben und Bilder) zwischen Subjekten und/oder Objekten (vgl. Horz 2009, S. 104). Sie werden nach Schanze (2002) in ihrer Gesamtheit als *Kommunikationsmittel* bezeichnet. Werden Bilder, Texte, Zahlen oder Töne (bilden die Elemente der Multimedia-Konfiguration) zur Kommunikation genutzt, wird vom Einsatz der *Basismedien* gesprochen (vgl. Schanze 2002, S. 199 f.). Eine Kategorisierung oder Ordnung unterschiedlicher Medien sowie das Begriffsverständnis variieren häufig in Abhängigkeit von der betrachtenden Wissenschaftsdisziplin. Exemplarisch kann die Unterscheidung zwischen *Primär-, Sekundär- und Tertiärmedien* sowie die Differenzierung bezüglich der Reichweite (Individual- und Massenkommunikation) und der integrierten Interaktionsmöglichkeiten (*interaktive und nicht-interaktive Medien*) genannt werden. Zudem lassen sich Medien hinsichtlich ihrer Vorgänge zur Informationsübertragung und Informationsspeicherung unterscheiden. Als *Übertragungsmedien* werden Medien bezeichnet, die hauptsächlich der zeit-

kritischen Übertragung von Informationen dienen. Mit der Hauptfunktion der dauerhaften Speicherung von Informationen werden *Speichermedien* eingesetzt (vgl. Nieding et al. 2015, S. 12 ff. verweist auf Winterhoff-Spurk 2004). Das heute vorherrschende Verständnis von Medien bezieht sich überwiegend auf *technologiebasierte Informationsträger und Informationsvermittler* (Bsp.: Computer, Fernseher). Seit Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgt die Informationsvermittlung zunehmend digital (Bsp.: E-Mail, Internet) und wird durch netzwerk- und computerbasierte Informationsprozesse realisiert. Diese Entwicklung beschreibt die Entstehung der *quartären bzw. digitalen Medien* (vgl. Horz 2009, S. 140 f.).

Klassifizierung von Lernmedien der Arbeitsunterweisung

Im Kontext der Arbeitsunterweisung definiert Bunk (1991) Medien als Lernmittel (Unterweisungsmittel), die innerhalb eines beruflichen Lernprozesses eine vermittelnde Funktion erfüllen. Diese Lernmittel bilden das Bindeglied zwischen Lehrenden und Lernenden. Der Lernprozess soll durch den Einsatz von Medien unterstützt (aktiviert) und veranschaulicht werden. Zudem wird eine Erhöhung der Lernmotivation bei den Lernenden beabsichtigt. Im Hinblick auf den Einsatz im Rahmen von Arbeitsunterweisungen schlägt Bunk (1991) eine Differenzierung der Medien anhand der *menschlichen Sinne* oder ihrer eigentlichen *Funktion im Lernprozess* vor (vgl. Bunk 1991, S. 205 f.):

Sinnesansprache:

- *visuell, auditiv*: Sehen, Hören
- *audiovisuell*: Kombination aus Sehen und Hören (Bsp.: Video)
- *olfaktorisch, gustatorisch, taktil*: Riechen, Schmecken, Fühlen (häufig durch natürliche Medien erzeugt)
- *kinästhetisch*: Bewegungsempfindung (häufig durch Arbeitsvorrichtungen und -medien erzeugt)

Funktion im Lernprozess:

- *Demonstration*: Medien unterstützen die Anschauung und Wahrnehmung (Bsp.: Abbildungen, Tonaufnahmen, Video)
- *Arbeitsmittel*: Medien werden in die Handlung der Lernenden eingebunden (Bsp.: Lesen von Büchern und Texten, Erstellen und Wiedergeben von Ton- und Videoaufnahmen, Arbeitsproben, Lernprogramme, Mehr-Medien-Systeme)
- *Motivation*: Bewirken eine Erhöhung der Lernmotivation bei den Lernenden (Bsp.: Reize durch Fragen, Widersprüche oder Unvollständigkeiten sowie Erstübungen mit Arbeitsmitteln und Arbeitsvorrichtungen)

In ihrer praktischen Anwendung können Medien gleichzeitig mehrere der genannten Funktionen erfüllen und multisensorische Reize bewirken.

Multimediale Lernumgebungen

Im Zusammenhang mit computergestützten (Lern-) Medien wird häufig der Begriff *Multimedia* verwendet, wobei multimediale Lernmittel nicht ausschließlich aus digitalen Medien bestehen, sondern zunächst durch die Ansprache mehrerer Sinnesmodalitäten gekennzeichnet sind. Zudem wird Multimedia neben der Multimodalität häufig eine Interaktivität mit dem Medium zugeordnet. Diese Interaktionsmöglichkeiten werden i.d.R. in Form von Softwareanwendungen bzw. computergestützten Lernmedien umgesetzt (vgl. Horz 2009, S. 113 f.).

Nach Schelten (2009a) lassen sich bei Multimedia drei charakteristische Komponenten definieren. Ein Computer dient dabei als zentrale Medienstation zur Verbindung dieser Komponenten. Zunächst werden Informationen dargestellt (Präsentationskomponente). Die Informationsdarstellung kann beispielsweise durch Text, Ton, Animationen oder virtuelle Realitäten erfolgen. Die zweite Komponente beschreibt die Einflussnahme der Lernenden auf den Umgang mit einem Multimediaangebot. Lernende können beispielsweise Einfluss auf das Lerntempo, die Schwierigkeit oder die Lernkontrolle nehmen (Ablaufsteuerungskomponente). Die dritte und für Multimedia besonders charakteristische Komponente stellt die Interaktion zwischen den Lernenden und dem Lernmedium dar. Lernende erhalten beispielsweise Rückmeldungen auf getätigte Eingaben oder erkennen die Auswirkungen von Entscheidungen (Simulation) (vgl. Schelten 2009a, S. 71 f.).

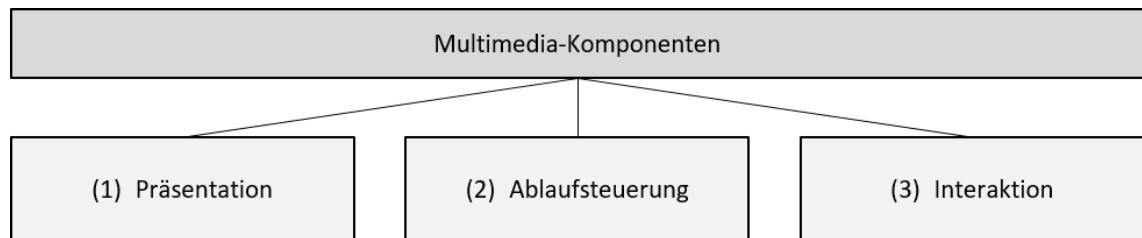


Abbildung 2.1.4-5: Multimedia-Komponenten
(Darstellung nach Schelten 2009a, S. 72)

Der Einsatz von Multimedia in Lernprozessen soll die Entstehung und Automatisierung von *Schemata* unterstützen (vgl. Nieding et al. 2015, S. 54 ff.). Ein Schema bezeichnet in diesem Kontext ein kognitives Datenkonstrukt, das Informationen über Situationen, Objekte oder Ereignisse abstrahiert und einheitlich darstellt. Die Konstruktion der Schemata wird auf die kognitiven Prozesse der *Elaboration* und der *Induktion* zurückgeführt (Nieding et al. 2015, S. 59 verweist auf Wouters et al. 2007). Elaboration beschreibt die Verbesserung der Lernleistung durch Verknüpfung neuer Informationen mit vorhandenem Vorwissen. Die Generalisierung der Lernerfahrungen führt zur Konstruktion abstrakter Schemata, die auf neuartige Aufgaben übertragen werden können (Induktion). Durch intensive Übungsarbeit sollen die konstruierten Schemata im Lernprozess automatisiert werden. Wie bei der Konstruktion der Schemata lassen sich bei den Vorgängen zur Automatisierung zwei kognitive Prozesse beschreiben. Bei der *Komplilierung* ist die automatische Aktivierung (Auslösung) eines spezifischen Schemas mit Bedingungen verknüpft. Entspricht eine Lernaufgabe den Schemabedingungen wird das (Handlungs-) Schema ausgelöst. Der kognitive Prozess der *Verstärkung* bezieht sich auf die Eintrittswahrscheinlichkeit eines au-

tomatisierten Schemas. Wurde ein Schema erst kürzlich automatisiert besteht eine vergleichsweise geringe Wahrscheinlichkeit, dass dieses Schema unter bestimmten Bedingungen aktiviert wird. Der Prozess der Verstärkung soll diese Wahrscheinlichkeit der Aktivierung erhöhen.

Die Auswahl der Medien bzw. Lernmittel sollte stets in Anlehnung an die ausgewählte Unterweisungsmethode erfolgen. Bezuglich der Gestaltung und Anwendung von Lernmedien wird unter Berücksichtigung des Lernprozesses, der Lernumgebung sowie der Eigenschaften der Lernenden insbesondere das *Instructional Design*, die *Cognitive Load Theorie* und die *kognitive Theorie des multimedialen Lernens* einbezogen. Theoretische Grundlagen zum Instruktionsdesign sowie zu kognitiven Vorgängen und Belastungen beim Lernen mit Medien werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

Wirkung und Gestaltung von Lernmedien

Das *Instructional System Designs* (ISD) bietet Orientierung bei der inhaltlichen Gestaltung von Lernaktivitäten bzw. Arbeitsunterweisungen und der Konzeption sowie der Auswahl von Lernmedien. Die instruktionale Gestaltung der Arbeitsunterweisung bzw. der eingesetzten Lernmedien soll durch die Berücksichtigung emotionaler, motivationaler und kognitiver Lernanforderungen eine möglichst effiziente Erreichung der Lernziele gewährleisten (vgl. Horz 2009, S. 106). Zum grundsätzlichen Vorgehen einer instruktionalen Gestaltung (vgl. Gagné et al. 1992) gehört sowohl eine Analyse der Eigenschaften der Lernenden als auch eine Analyse der Lernsituation. Ableitend daraus erfolgt eine lernzielspezifische Betrachtung der didaktischen Prozesse. Bezogen auf den Einsatz von Lernmedien folgt daraus der Anspruch, dass die Medien der Arbeitsunterweisung abhängig von den individuellen Eigenschaften der Lernenden und von der individuellen Lernsituation ausgewählt und gestaltet werden.

Als eine prominente Theorie des (multi-) medialen Lernens bietet die *Cognitive Load Theorie* (CLT) (vgl. Sweller und van Merriënboer 2005; Sweller et al. 2011) Gestaltungshinweise und grundlegende Hilfestellungen für den Einsatz von Lernmedien. Die Cognitive Load Theorie stützt sich als kognitionspsychologischer Ansatz des medialen Lernens auf die Erkenntnisse (vgl. Baddeley 1992) zur individuell begrenzten Verarbeitungskapazität des menschlichen Arbeitsgedächtnisses (vgl. Nieding et al. 2015, S. 54). Die Theorie versucht Zusammenhänge zwischen dem medialen Lernen und dem in seiner Kapazität begrenzten Arbeitsspeichergedächtnis darzustellen. Der Theorie folgend treten beim Lernen *drei Arten kognitiver Belastungen* auf (vgl. Horz und Ulrich 2015, S. 27 f.):

- *Intrinsic Load*: Die intrinsische Belastung entsteht durch die Verarbeitung der Lerninhalte selbst.
- *Extraneous Load*: Die extrinsische Belastung entsteht durch die Verarbeitung von Elementen der Lernumgebung, die zur eigentlichen Darstellung der Lerninhalte nicht notwendig sind.
- *Germane Load*: Eine lernbezogene Belastung entsteht durch kognitive Prozesse der Lernenden (Verstehen und Behalten der relevanten Informationen, Aufbau kognitiver Konstrukte bzw. Schemata).

Ableitend aus der CLT sollte bei der Konzeption und beim Einsatz von Lernmedien eine übermäßige Belastung durch externe Elemente generell vermieden werden (Extraneous Load). Die intrinsische und lernbezogene Belastung ist insbesondere abhängig von den *inhaltlichen sowie lernprozessbezogenen Kompetenzen der Lernenden*. Je mehr fachliches und lernprozessbezogenes Vorwissen die Lernenden besitzen, desto geringer wird die intrinsische und lernbezogene Belastung ausfallen.

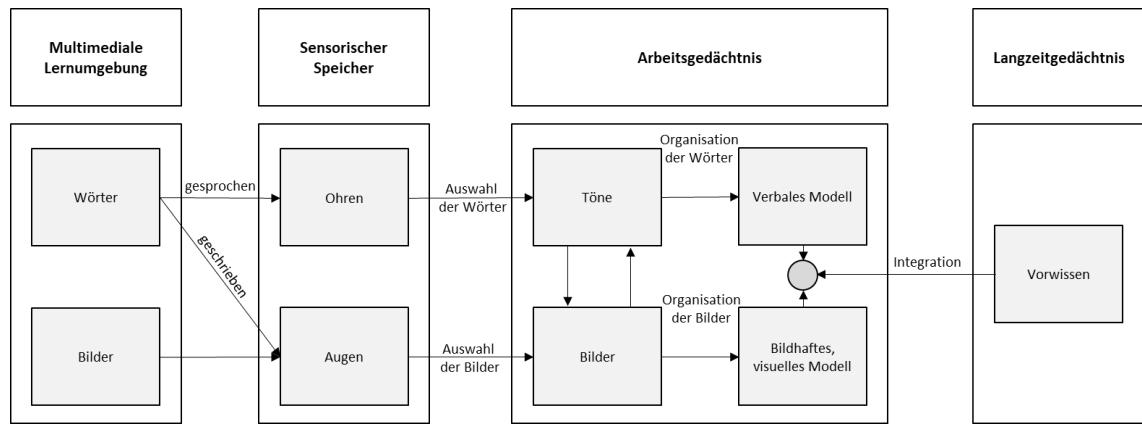


Abbildung 2.1.4-6: Kognitive Theorie des multimedialen Lernens (CTML)
(Darstellung in Anlehnung an Mayer und Moreno 2003, S. 44)

Aufbauend auf den Erkenntnissen zur Cognitive Load Theorie formuliert Mayer (2005) in seiner kognitiven Theorie des multimedialen Lernens (CTML - Cognitive Theory of Multimedia Learning) empirische belegte Effekte, die bei Lernvorgängen in multimedialen Lernumgebungen zu beobachten sind und Rückschlüsse auf eine lernförderliche Gestaltung zulassen (vgl. Horz 2009, S. 114 ff.; Horz und Ulrich 2015, S. 33 f.):

- **Split-Attention-Effekt:** Erfolgt eine gleichzeitige Darstellung von schriftlichen Texten und dazugehörigen statischen oder dynamischen Bildern, müssen Lernende ihre Aufmerksamkeit zwischen den beiden Informationsquellen aufteilen bzw. wechseln. Der Lernerfolg wird im besonderen Maße verringert, wenn eine Kombination aus schriftlichen Texten und Animationen bzw. Filmen dargeboten wird. Auf Grund der begrenzten kognitiven Kapazitäten werden bei diesem Szenario häufig einzelne Informationen einer Informationsquelle ignoriert. Texte sollten daher in Kombination mit Animationen oder Filmen in gesprochener Form umgesetzt werden. Zudem sollten generell Redundanzen zwischen geschriebenen und gesprochenen Texten vermieden werden (Redundanzprinzip).
- **Räumliche und temporale Kontiguitätseffekte:** Von einer niedrigen Kontiguität wird gesprochen, wenn sich aufeinander bezogene Medien einer multimedialen Lernumgebung in einer großen räumlichen und/oder zeitlichen Distanz zueinander präsentieren. Es entstehen Suchprozesse bei den Lernenden. Das Lernergebnis verbessert sich, wenn beispielsweise Texte und Bilder physisch integriert dargestellt werden. Die räumliche bzw. temporale Distanz zwischen verschiedenen Medien sollte in einer multimedialen Lernumgebung immer möglichst niedrig ausfallen (hohe Kontiguität der Medien).

- *Modalitätseffekte*: Dieser Effekt beschreibt einen höheren Lernerfolg beim Einsatz gesprochener Texte gegenüber schriftlich integrierter Texte. Demnach sollten Texte in einer multimedialen Lernumgebung möglichst in gesprochener Form eingebunden werden (Bsp.: instruktionale Bilder/Animationen in Kombination mit auditiv präsentierten Texten).
- *Effekte der individuellen Informationsverarbeitung*: Nach den bisher dargelegten Effekten, insbesondere nach dem Split-Attention-Effekt, erscheint eine Kombination aus gesprochenen Texten und Bildern den Lernerfolg uneingeschränkt zu begünstigen. Die Auswirkungen des Split-Attention-Effektes reduzieren sich jedoch deutlich bei einer geringen bzw. begrenzten Lernzeit. Zudem erweisen sich schriftlich präsentierte Texte als vorteilhaft hinsichtlich der Kontrolle und Steuerung der Informationsaufnahme. Es wird vermutet, dass insbesondere bei komplexen Texten diese Kontrollfunktion Vorteile im Lernprozess induziert.

Basierend auf den Effekten des multimedialen Lernens der CTML fassen Mayer und Moreno in weiteren Arbeiten, u.a. in ihrer ergänzenden kognitiv-affektiven Theorie des multimedialen Lernens (CATLM – Cognitive-Affective Theory of Learning with Multimedia) (vgl. Moreno und Mayer 2007), weitere Gestaltungmaßnahmen zur Reduzierung der kognitiven Belastung beim multimedialen Lernen zusammen (Horz 2009, S. 118 f. verweist auf Mayer und Moreno 2003):

- *Off-Loading*: Wie bereits mit dem Modalitätseffekt beschrieben wurde, sollten Kanäle der Informationsverarbeitung nicht überlastet werden. Wird der visuelle Sinneskanal durch eine textuelle oder bildhafte Information überlastet, sollte eine auditive Präsentationsform angeboten werden.
- *Pretraining und Segmenting*: Eine gleichzeitige Überlastung des visuellen und des auditiven Kanals durch intrinsische bzw. kognitive Prozesse kann durch medienbezogenes Vorabtraining (*Pretraining*) oder durch Unterteilung der mediengestützten Präsentation in kleinere Einheiten (*Segmenting*) reduziert werden.
- *Weeding und Signaling*: Entsteht eine kognitive Überlastung durch extrinsische Belastungen (vgl. extraneous load), sollten dem Lernvorgang nicht zwingend zuträgliche Zusatzinformationen bzw. -materialien entfernt werden (*Weeding*). Alternativ können Elemente von zentraler Bedeutung für die Lernumgebung hervorgehoben (Bsp.: durch farbliche Kodierung) werden (*Signaling*).
- *Aligning und Eliminating*: Entsteht die kognitive Überlastung durch intrinsische Belastungen, wird eine Restrukturierung und Vereinfachung der Lernumgebung (*Aligning*) oder die Eliminierung redundanter Lerninhalte (*Eliminating*) empfohlen (vgl. Weeding).
- *Synchronizing und Individualizing*: Wird die Überlastung der kognitiven Kapazitäten der Lernenden durch die mentale Integration der multimedialen Informationen hervorgerufen, kann bei geringer Kontiguität der Medien eine verbesserte Mediensynchronisation (*Synchronizing*)

die Belastung reduzieren. Zudem kann eine auf die Lernenden individuell abgestimmte Lernumgebung (Vorwissen, visuelle Fähigkeiten) einer kognitiven Überlastung entgegenwirken (*Individualizing*).

Die Gestaltung und Analyse von Lernaktivitäten sollte grundsätzlich unter Einbezug der Ansätze der kognitiven und verhaltensbezogenen Lerntheorien (vgl. Kapitel 2.1.2.2) sowie des *Instructional System Designs* (ISD) stattfinden. Auf diese Weise soll eine pädagogisch-psychologisch fundierte und systematische Konzeption der Lernaktivitäten sichergestellt werden (vgl. Nerlinger et al. 2011, S. 426 f.).

2.1.4.3 Klassische Methoden und ergänzende Ansätze der Unterweisung

Aus den dargestellten Methoden der Arbeitsunterweisung lassen sich einzelne Methoden hervorheben, die sich wegen ihrer Ausrichtung auf psychomotorische (teilweise auch kognitive) Lernbereiche in der betrieblichen Praxis etabliert haben. Grundsätzlich lassen sich Verfahren mit formalen Stufen (**Stufen-Ansätze**) sowie Verfahren, die auf einer Tätigkeitsanalyse basieren (**Analyse-Ansätze**) als klassische Methoden der Arbeitsunterweisung benennen und voneinander abgrenzen.

Mit dem Hintergrund einer Arbeitsorganisation, die sich an der kurzyklischen und strukturierten Abfolge von Arbeitstätigkeiten orientiert, haben sich Methoden wie die Vier-Stufen-Methode und die analytische Arbeitsunterweisung als planmäßige und strukturierte Methoden der Unterweisung bewährt. Bis heute finden diese klassischen Methoden im Umfeld derartiger Arbeitsorganisationen bzw. bei einer Fokussierung auf die Vermittlung und Beherrschung von Fertigkeiten (insbesondere bei Montageaufgaben) ihre Verwendung in der betrieblichen Praxis (vgl. Bunk 1991, 138 ff.; Schelten 2005, 109 ff.).

Vier-Stufen-Methode

Die Entstehung der Vier-Stufen-Methode ist auf das im Zweiten Weltkrieg entstandene Programm der amerikanischen Industrie „Train Within Industry“ (TWI) zurückzuführen. Die daraus abgeleitete Vorgehensweise einer Unterweisung von Mitarbeitenden („Job Instruction Training“) wurde im Jahre 1951 in die REFA-Lehre übernommen und bildet die Basis der Vier-Stufen-Methode (vgl. Bunk 1991, S. 142 ff.; Schelten 2005, S. 114 ff.).

Die Anwendung der Vier-Stufen-Methode wird empfohlen, wenn das Unterweisungsziel die fehlerfreie und sichere Ausführung einer Arbeitstätigkeit beschreibt, welche zudem definierte **Voraussetzungen** erfüllt. Bei der zu erlernenden Arbeitstätigkeit sollte es sich demnach um eine manuelle Tätigkeit (Montagetätigkeit) handeln, die einem definierten Ablauf beziehungsweise einem Schema folgt. Hierbei sollte die Arbeit vollständig definiert und durch Wiederholungen der Abläufe auf einen automatisierten Bewegungsablauf ausgerichtet sein. Der Arbeitsablauf sollte einer einfachen und kurzyklischen Struktur folgen. Zudem sollte eine unmittelbare Verbindung zwischen den menschlichen Händen, den zu verwendenden Werkzeugen und dem Werkstoff vorliegen. Im Allgemeinen bezieht sich die Methode auf manuelle, konstante und reproduzierbare Tätigkeiten, die möglichst keine individuellen oder variablen Anteile besitzen.

Der Anwendung der Vier-Stufen-Methode geht in der Regel eine Gliederung und strukturierte Beschreibung der zu erlernenden Arbeit voraus (vgl. *Arbeitszergliederung*). Das Vorgehen gliedert sich in vier aufeinanderfolgende Abschnitte (Stufen), welche die Aktivitäten der Vorbereitung, der Vorführung, der Ausführung sowie die Übungsphase und den Abschluss der Unterweisung beschreiben.

Auf der Stufe der *Vorbereitung* findet die Vorbereitung der Lernenden durch die Unterweisenden statt. Hierbei werden die Lernenden zunächst mit der Situation und dem Ablauf vertraut gemacht. Um ein zielorientiertes Lernen zu gewährleisten, erfolgt zudem die Abstimmung der geplanten Lernziele. Ebenso werden die Kriterien für eine erfolgreiche Zielerreichung definiert sowie erste Einzelheiten zur Arbeitsaufgabe und der zu verwendenden Arbeitsmittel vorgestellt. Um die Lerninhalte den individuellen Kenntnissen der lernenden Person anzupassen und den Lernprozess effizienter zu gestalten, werden relevante Vorkenntnisse aus vorhergehenden Tätigkeiten bzw. Arbeitserfahrungen durch die Unterweisenden abgefragt. Im weiteren Verlauf der Vorbereitungsphase soll durch die Darstellung der Beweggründe und des Nutzens der Arbeit die Motivation der Lernenden gesteigert werden. Zum Abschluss ist es die Aufgabe der Unterweisenden die Wahrnehmung (Sehen, Hören) und die Möglichkeit zum Nachvollzug der späteren Arbeitsvorführung für die Lernenden sicherzustellen.

In Anlehnung an die zuvor erstellte Untergliederung der Arbeit in einzelne Lernabschnitte erfolgt auf der zweiten Stufe die schrittweise *Vorführung* der zu erlernenden Tätigkeit durch die Unterweisenden. Es erfolgt zunächst ein Vormachen, bei dem die eigenen Bewegungen und der Einsatz von Werkzeugen demonstriert wird (erste Vorführungsart). Erst im weiteren Verlauf der Vorführungsphase werden zusätzliche Erläuterungen und Detailinformationen den Vorführungen der unterweisenden Person beigefügt (zweite Vorführungsart). Im fortgeschrittenen Stadium der Vorführung wird die Geschwindigkeit der Ausführung erhöht und die Aufmerksamkeit auf hervorzuhebende Kernpunkte gerichtet (dritte Vorführungsart).

Die wiederholte *Ausführung* der einzelnen Lernabschnitte durch die Lernenden selbst folgt ebenfalls einer differenzierten Schrittfolge. Der erste Ausführungsversuch erfolgt völlig frei und ohne den Anspruch auf zusätzliche verbale Erläuterungen durch die lernende Person (erste Ausführungsart). Eingriffe durch die Unterweisenden dienen lediglich der Sicherstellung des Gelingens der Ausführung. Im Anschluss an den ersten erfolgreichen Ausführungsversuch soll die lernende Person die eigene Vorgehensweise verbal erläutern (zweite Ausführungsart). Analog zur höchsten Stufe der Vorführung wird im weiteren Verlauf der Arbeitsausführung auf eine zunehmend flüssige und zügige Ausführung geachtet. Lernende wiederholen den gesamten Arbeitsablauf erneut und weisen verbal auf erfolgsrelevante Aspekte (Kernpunkte) der Ausführung hin (dritte Ausführungsart). Die zweite und dritte Stufe der Vier-Stufen-Methode werden häufig durch unmittelbares Nachmachen der Lernenden nach der Vorführung der Unterweisenden zusammengefasst.

Auf der vierten Stufe erfolgt die selbstständige Übungsarbeit der Lernenden. Die Unterweisenden begleiten dabei den schrittweisen Übergang zum *selbstständigen Üben*. Auf dem Weg zu einer in großen Teilen automatisierten Ausführung werden die bisherigen Lernerfolge gewürdigt

und der zeitliche Umfang der bevorstehenden Übungsarbeit besprochen. Lernende können in dieser Phase die eigenen Ausführungen sukzessive optimieren und auf eine ökonomische Arbeitsbewältigung hinarbeiten. Die Unterweisenden beobachten dabei den Übungsfortschritt, erläutern mögliche Leistungsstillstände („Plateaus“) und unterstützen ein erfolgreiches Voranschreiten der Lernenden im Übungsprozess. Zum Ende der Unterweisung erfolgt ein formeller Abschluss unter Hervorhebung des Lernerfolgs (Lernerfolgserlebnis).

Vier-Stufen-Methode				
4. Stufe: Abschluss	Betonung: Lernende / Unterweisende	Inhalt: Übung und Abschluss a.) Lernfortschritte würdigen b.) Selbständiges Üben c.) Übungen begleiten und unterstützen	d.) Lernerfolgserlebnis schaffen	e.) Unterweisung beenden
3. Stufe: Ausführung	Betonung: Lernende	Inhalt: Nachvollzug und Ausführung bzw. Nachmachen a.) 1. Ausführungsart (erste „freie“ Versuche) b.) 2. Ausführungsart (verbale Erläuterung der eigenen Ausführung) c.) 3. Ausführungsart (weitere Ausführungen und Betonung der Kernpunkte)		
2. Stufe: Vorführung	Betonung: Unterweisende	Inhalt: Vorführung und Erklärung der Lernabschnitte a.) 1. Vorführungsart (Was?) b.) 2. Vorführungsart (Was, Wie, Warum so?) c.) 3. Vorführungsart (Kernpunkte betonen)		
1. Stufe: Vorbereitung	Betonung: Unterweisende	Inhalt: Voraussetzungen schaffen a.) Befangenheit nehmen b.) Lernziele abstimmen c.) Vorkenntnisse abfragen	d.) Interesse wecken	e.) Wahrnehmung und Nachvollzug absichern

Abbildung 2.1.4-7: Vier-Stufen-Methode
(zusammengetragen aus Bunk 1991, S. 142 ff.; Schelten 2005, S. 114 ff.)

Bei der Anwendung der Vier-Stufen-Methode sollte auf eine flexible Handhabung und Gestaltung sowie auf ein aktives Verhalten der Lernenden geachtet werden (vgl. Bunk 1991, S. 149). Bei besonders einfachen Tätigkeiten kann die Phase der Vorführung verkürzt werden und die lernende Person früher zum Nachmachen bzw. Üben übergehen. Ebenso können besonders komplexe Tätigkeiten eine ausführlichere Vorführungsphase notwendig machen. Wichtig ist hierbei eine flexible Handhabung der Methode. Zudem sollte der Umfang der Tätigkeiten berücksichtigt werden. Bei sehr umfangreichen Abläufen wird eine weitere Unterteilung in Einzeltätigkeiten und eine lernabschnittsweise Unterweisung empfohlen. Zunächst werden hierbei einzelne Abschnitte isoliert voneinander unterwiesen und im weiteren Verlauf der Unterweisung schrittweise zu einem Gesamtablauf wieder zusammengefügt (vgl. analytische Arbeitsunterweisung). Die Unterweisenden sollten bei der Unterweisung durchgängig auf eine aktive Beteiligung der Lernenden achten. Die Lernenden sollte zum intensiven Beobachten und Nachvollziehen der Vorführung angeregt werden sowie die eigenen selbständigen Tätigkeitsausführungen verbal ergänzen. Dadurch können **observative, motorische und verbale Trainingselemente** in die Arbeitsunterweisung integriert werden.

Die Vier-Stufen-Methode wird als eine Lehrmethode beurteilt, die vordergründig auf das effektive Erlernen einer Tätigkeit ausgerichtet ist (vgl. Schelten 2005, S. 119 f.). Durch die verbindliche Vorführung der Unterweisenden und den ebenfalls geleiteten, kontrollierten Nachvollzug der

Lernenden kann unter dem Aspekt der Handlungsregulation nur eine in ihrer Reichweite begrenzte Handlungsregulation von den Lernenden aufgebaut werden. Für den Aufbau einer komplexeren Handlungsregulation ist ein höheres Maß an Selbstständigkeit und Selbststeuerung der Lernenden notwendig. Zudem beschränkt sich die Methode hauptsächlich auf Arbeitstätigkeiten, welche durch eine Vorführung und einen geleiteten Nachvollzug erlernt werden können (vgl. Voraussetzungen der Arbeitstätigkeit).

Analytische Arbeitsunterweisung

Das Prinzip der analytischen Arbeitsunterweisung ist auf Forschungsarbeiten von Seymour (1968, 1966) zum Erlernen von Fertigkeiten („Skills“) im industriellen Umfeld zurückzuführen (Schelten 2005, S. 123 ff.; Bunk 1991, S. 158 verweisen auf Seymour 1966, 1968). Ausgangspunkt einer systematischen (analytischen) Arbeitsunterweisung ist nach Seymour die Analyse der zu erlernenden Tätigkeit bei einer feingliedrigen Betrachtung der enthaltenen **Fertigkeiten** und der zugehörigen **Kenntnisse**. Hierfür werden die Arbeitsmethoden und die Wahrnehmungsfertigkeiten erfahrener Arbeitskräfte erhoben und als Grundlage der Tätigkeitsanalyse verwendet. Sollten entsprechende Untersuchungen und Dokumentationen aus dem Bereich der Arbeitsplanung bereits vorliegen, können diese ebenfalls als Ausgangspunkt der Tätigkeitsanalyse dienen. Zudem wird die Arbeitstätigkeit in einzelne Abschnitte zerlegt und somit einzelne, isolierte Lernabschnitte definiert. Unter Betrachtung der Resultate dieser Analysetätigkeiten wird ein systematischer Unterweisungsvorgang abgeleitet sowie ggf. die Konzeption notwendiger Vorübungen vorgenommen.

Bei der Analyse der *Fertigkeiten*, welche Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung einer Arbeitstätigkeit sind, werden insbesondere die Bewegungsabläufe und Wahrnehmungen einer erfahrenen, geübten Person analysiert. Für die Analyse der Wahrnehmungen wird untersucht, welche sensorischen Kanäle (Bsp.: visueller, auditiver, olfaktorischer, taktiler sowie kinästhetischer Kanal) bei der gekonnten Ausführung einzelner Teilschritte oder der Gesamtarbeit von geübten Arbeitspersonen eingesetzt werden. Es ist zu beobachten, dass geübte Personen bei der Tätigkeitsausführung meist eine ausgeprägte Hand-Augen-Koordination aufweisen, wodurch hohe Ausführungsgeschwindigkeiten ermöglicht werden. Neben der visuellen Wahrnehmung (Bsp.: Prüfen und Koordinieren) sind häufig auch haptische und auditive Sinneswahrnehmungen bei der Tätigkeitsausführung relevant. Geübte Personen nutzen diese Sinne um beispielsweise anhand charakteristischer Geräusche und Haptik die korrekte Durchführung eines Arbeitsschrittes, die richtige Bedienung und den Zustand der Werkzeuge oder die exakte Positionierung eines Werkstückes zu prüfen. Die Aneignung der tätigkeitsspezifischen Wahrnehmungsfertigkeiten ist Voraussetzung für die Steuerung bzw. Regelung der Bewegungsabläufe und somit Gegenstand der Unterweisung. Insbesondere beim Erlernen motorischer Fertigkeiten sollten jene Sinneswahrnehmungen bekannt sein, die einen steuernden oder regelnden Einfluss auf die Ausführung der Tätigkeit besitzen. Ziel der Unterweisung ist ein optimierter Einsatz der menschlichen Sinne, wie es bei der erfahrenen und geübten Person zu beobachten ist. Aus den Bewegungsabläufen und den korrespondierenden Wahrnehmungen der geübten Person lassen sich für die Lernenden spezifische und detaillierte Vorgaben bezüglich der Ausführung einer Tätigkeit definieren.

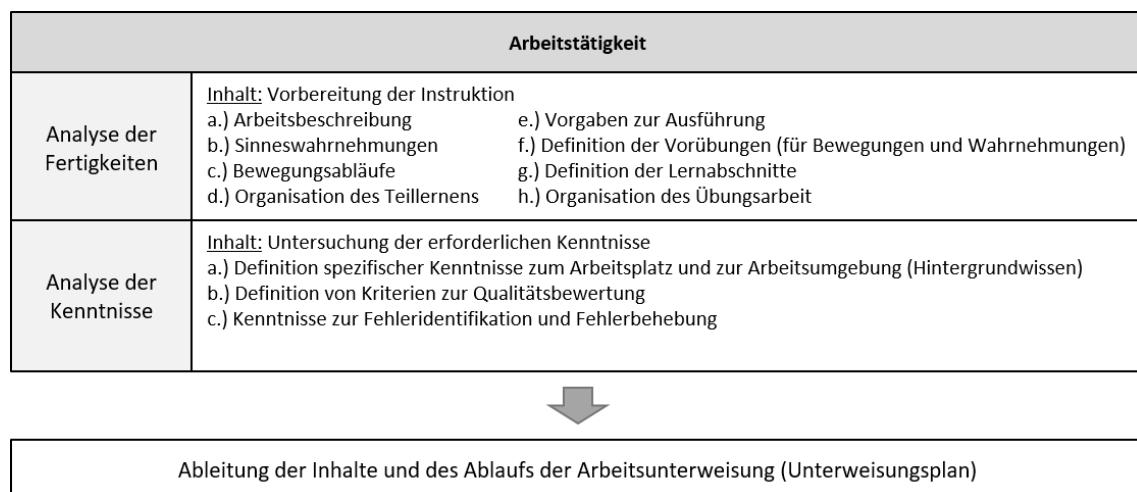


Abbildung 2.1.4-8: Inhalte der Tätigkeitsanalyse zur Unterweisungsvorbereitung
(vgl. Schelten 2005, S. 123 ff.)

Neben der Untersuchung und Beschreibung der notwendigen Fertigkeiten ist die Definition relevanter *Kenntnisse* Teil der Tätigkeitsanalyse. Hierbei kann es sich um konkretes Wissen bezüglich eines Arbeitsplatzes (z.B.: Bezeichnung sowie Bedienung von Maschinen und Werkzeugen) oder um zusätzliche Informationen wie die Inhalte der vor- und nachgelagerten Prozesse handeln, welche die Einordnung der eigenen Tätigkeit in einen Gesamtzusammenhang ermöglichen. Des Weiteren können Kriterien zur qualitativen Bewertung der eigenen Arbeit sowie der Beschaffenheit des Werkstückes vermittelt werden. Kenntnisse, die Lernende dazu befähigen Fehler zu erkennen und im Fehlerfall adäquat zu reagieren, sind ebenfalls ein Bestandteil der Tätigkeitsanalyse und Gegenstand der Unterweisung. Aus den Aktivitäten der Tätigkeitsanalyse lässt sich ein Unterweisungsplan („Unterweisungsprogramm“) ableiten, der die Inhalte und den Ablauf der analytischen Arbeitsunterweisung definiert.

Die Durchführung der analytischen Arbeitsunterweisung folgt i.d.R. einem chronologischen Ablauf und dem aus der Tätigkeitsanalyse abgeleiteten Unterweisungsplan. Nach der Vermittlung des Hintergrundwissens bezüglich der Arbeitsumgebung sowie des Arbeitsplatzes werden Vorübungen für einzelne Bewegungsabläufe und Wahrnehmungsfertigkeiten durchgeführt. Im Anschluss erfolgt zunächst die Unterweisung einzelner Lernabschnitte (isoliertes Teillernen) und im späteren Verlauf das schrittweise Erlernen zusammengesetzter Abschnitte bis zur ganzheitlichen Ausführung der Gesamttätigkeit (progressives Teillernen). Parallel zur Vermittlung der relevanten Fertigkeiten werden während der Phase des isolierten Teillernens notwendige Kenntnisse zur Qualitäts- und Fehleranalyse vermittelt. Sowohl beim isolierten als auch beim progressiven Teillernen wird die Annäherung an die Arbeitsgeschwindigkeit einer geübten Arbeitsperson angestrebt. Zum Ende der analytischen Arbeitsunterweisung erfolgt die wiederholte Durchführung der Gesamtarbeit unter Einhaltung der Vorgabezeiten und Qualitätsanforderungen (Ausdauerübung). Diese Maßnahme erfolgt in Anlehnung an eine Ausführung unter betrieblichen Bedingungen, welche häufig eine erfolgreiche Ausführung der Gesamtarbeit über einen längeren Zeitraum beschreiben.

Tabelle 2.1.4-1: Konzept und Ablauf der analytischen Arbeitsunterweisung
(zusammengetragen aus Bunk 1991, S. 162; Schelten 2005, S. 130)

Analytische Arbeitsunterweisung	
1.	Vermitteln der spezifischen Kenntnisse zum Arbeitsplatz und zur Arbeitsumgebung (Hintergrundwissen)
2.	Vorübungen (falls definiert) durchführen (Bewegungen und Wahrnehmungen)
3.	<p>a.) <u>Isoliertes Lernen einzelner Lernabschnitte</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ erfolgt nach den Vorgaben zur Arbeitsausführung und den Wahrnehmungsfertigkeiten einer erfahrenen, geübten Person → Aneignung der Fertigkeiten ▪ das isolierte Teillernen wird bis zur Erreichung der Vorgabezeit (determiniert durch eine geübte Person) durchgeführt → Aneignung der Arbeitsgeschwindigkeit <p>b.) <u>Vermittlung der Kenntnisse</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ erfolgt parallel bzw. flankierend zum isolierten Teillernen ▪ Vermittlung der Kriterien zur Qualitätsbewertung ▪ Vermittlung der Kenntnisse zur Fehleridentifikation und Fehlerbehebung
4.	<p><u>Erlernen zusammengesetzter Lernabschnitte (progressives Teillernen)</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ isolierte Lernabschnitte werden sukzessive zu größeren Übungseinheiten bis hin zur Gesamtarbeit zusammengesetzt ▪ das Erlernen bzw. die Durchführung der Gesamtarbeit wird bis zur Erreichung der Vorgabezeit (determiniert durch eine geübte Person) durchgeführt → Aneignung der Arbeitsgeschwindigkeit
5.	Wiederholte Durchführung der Gesamtarbeit („Ausdauerübung“) bis zur Ausführung unter betrieblichen Bedingungen

Bei der Anwendung der analytischen Arbeitsunterweisung sind in den Phasen der Vorübungen und des isolierten Teillernens die zweite und dritte Stufe der Vier-Stufen-Methode vertreten. Hier erfolgen die Aktivitäten der *Vorführung* sowie der *Nachvollzug* und die *eigene Ausführung* der Lernenden. Unterschiede sind jedoch beim Abschluss der beiden Unterweisungsmethoden festzustellen. Während die Lernenden zum Ende der Vier-Stufen-Methode überwiegend alleine arbeiten bzw. üben, sieht die analytische Arbeitsunterweisung ein durchgehend geplantes und durch die Unterweisenden begleitetes Üben vor. Obwohl die Vier-Stufen-Methode sowohl ein Teillernen als auch das ganzheitliche Erlernen einer Arbeitstätigkeit ermöglicht, erfolgt der praktische Einsatz häufig mit dem Schwerpunkt auf einer ganzheitlichen Vorgehensweise. Das Teillernen bildet einen Grundgedanken der analytischen Arbeitsunterweisung ab und wird bei der Anwendung dieser Methode stets durchgeführt. Zudem grenzt sich die analytische Arbeitsunterweisung durch ihre ausgeprägte Ausrichtung auf einen optimierten Einsatz der menschlichen Sinne inhaltlich von der Vier-Stufen-Methode ab. Durch eine detaillierte Arbeitsbeschreibung und Arbeitsanalyse sowie die stringent systematische und geplante Vorgehensweise konnten bereits positive Effekte bezüglich der Unterweisungswirksamkeit sowie der Lernzeit beobachtet werden (Schelten 2005, S. 133 f. verweist auf Seymour 1966). Die ausführlichen Analysen und Beschreibungen sind jedoch häufig mit einem erheblichen Aufwand und dem Einbezug von arbeitspädagogischen Fachkräften verbunden. Daher richtet sich der praktische Einsatz der analytischen Arbeitsunterweisung in vielen Fällen nach dem Umfang der Arbeitstätigkeit bzw. nach der zu erwartenden Unterweisungsdauer.

Wie die Vier-Stufen-Methode beschränkt sich die analytische Arbeitsunterweisung auf das Erlernen von Arbeitsabläufen mit einer einfachen, kurzyklischen Struktur und führt somit zum Aufbau einer Handlungsregulation mit beschränkter Reichweite. Die Integration von Freiheitsgraden und Möglichkeiten zur Selbststeuerung der Lernenden ist bei einer konsequenten methodischen Anwendung nicht gegeben, wodurch der Aufbau einer komplexeren Handlungsregulation nicht gefördert wird. Der Einsatz der Lehrmethode richtet sich hauptsächlich an das effektive Erlernen manueller (sensumotorischer) Tätigkeiten, die auf einen möglichst automatisierten Bewegungsablauf ausgerichtet sind.

Anknüpfend an die Weiterentwicklung der Arbeitsorganisationen sowie die Entwicklung integrativer Ansätze zum Arbeiten und Lernen innerhalb der Betriebe (vgl. *Humanisierung der Arbeit*) haben sich neben den klassischen Unterweisungsmethoden (Stufen- und Analyseansätze) ergänzende Ansätze entwickelt. Diese Ansätze sollen eine Arbeitsunterweisung bei anspruchsvollen sowie langzyklischen Montagetätigkeiten unterstützen und damit den Merkmalen neuerer Arbeitsorganisationen entsprechen. Ein bedeutender Aspekt ist hierbei die Ausrichtung auf die Entstehung innerer Abbilder der auszuführenden Handlung bei den Lernenden. Das Erlernen von Bewegungsabläufen findet demnach nicht ausschließlich über das Nachahmen einer beobachteten Handlung statt, sondern insbesondere durch den Aufbau eines inneren, geistigen Abbildes der Handlung durch Anschauungen oder Erlebnisse bei der Tätigkeitsausführung (vgl. *mentales Modell*). Zudem betonen neuere Unterweisungsmethoden die Integration von verbalen Trainingsformen. Vorgänge zur Bildung von inneren Abbildern durch Anschauungen sowie Verbindungsformen zwischen der Arbeitshandlung und der menschlichen Sprache sollten bei der Gestaltung von Lernmedien hervorgehoben werden (vgl. Bunk 1991, S. 174).

Handlungsregulatorische Ansätze der Unterweisung

Mit Orientierung an der Theorie der Handlungsregulation (vgl. Kapitel 2.1.2) konzentrieren sich handlungsregulatorische Unterweisungsansätze an dem Aufbau innerer Vorstellungen einer Arbeitstätigkeit, die bei der Tätigkeitsausführung durch Lernende eine steuernde und leitende Funktion einnehmen. Hervorzuheben sind nach Schelten (2005) *psychoregulativ- und sprachakzentuierte* Unterweisungsmethoden sowie die *kognitive Unterweisung*, die sich auf komplexere Arbeitstätigkeiten bezieht. *Kombinierte Unterweisungskonzepte* beschreiben die Einbindung handlungsregulatorischer Ansätze in klassische Unterweisungsmethoden (vgl. Schelten 2005, S. 138 ff.).

Psychoregulativ akzentuierte Unterweisungsverfahren vertreten den Grundgedanken, dass Wechselwirkungen zwischen psychischen, vegetativen sowie motorischen Vorgängen bestehen (systemtheoretisch) und sich somit Veränderungen stets auf alle genannten Vorgänge sowie Bereiche auswirken. Diesem Gedanken folgend ist die Beeinflussung beziehungsweise die Verbesserung des motorischen Verhaltens einer Person ebenso abhängig von der Einflussnahme auf psychische sowie vegetative Vorgänge, welche i.d.R. den Ausgangspunkt einer Beeinflussung bilden. Diese Beeinflussung wird praktisch durch die Durchführung mentaler, observativer, verbaler und aktiver (motorischer) Trainingsmaßnahmen realisiert, welche die Grundformen (vgl.

Bunk 1991, S. 175 ff.; Schelten 2005, S. 138 ff.) des psychoregulativ akzentuierten Lernens bilden.

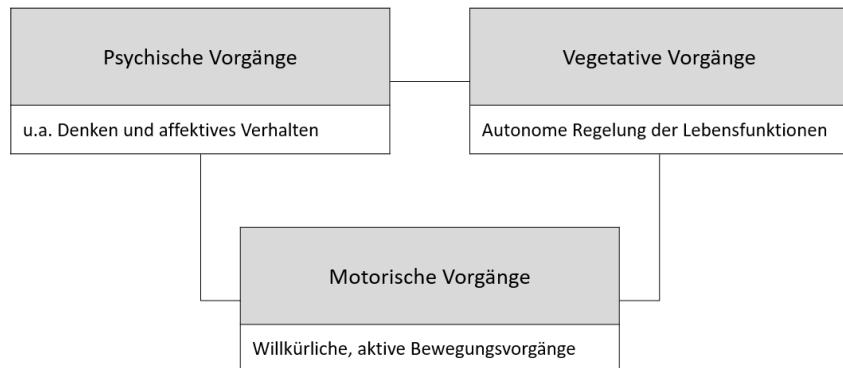


Abbildung 2.1.4-9: Psychoregulative Bereiche
(Darstellung nach Bunk 1991, S. 175)

Ausgehend von dem inneren psychischen Modell der zu erlernenden Arbeitstätigkeit (vgl. Kapitel 2.1.2), das zunächst durch Anschauung, Denken sowie Sprechen von den Lernenden gebildet und durch geistige Wiederholungen gefestigt wird, werden die Vorgänge der psychischen Regulation in die Arbeitsunterweisung integriert.

Eine geplante, wiederholte Beobachtung der Tätigkeitsausführung durch Unterweisende bildet die Hauptaktivität des *observativen Trainings*. Während der Beobachtung mit einer „inneren Beteiligung“ der Lernenden findet der Einbezug der relevanten Muskelgruppen statt, die bei der aktiven Tätigkeitsausführung mitwirken (ideomotorisches Prinzip¹¹). Das *mentale Training* richtet sich an die Denk- und Vorstellungstätigkeiten, die für die erfolgreiche Ausführung der Arbeitstätigkeit notwendig sind (kognitives und imaginatives Training). Kognitive Trainingsanteile sind durch ein gezieltes, wiederholtes Durchdenken der Arbeitstätigkeit geprägt. Das *imaginative Training* beschreibt die sich wiederholende innere Vorstellung der Ausführung einer Arbeitstätigkeit. Insbesondere komplexe Bewegungsabläufe oder Arbeitsfolgen sollten mehrfach durchdacht bzw. imaginativ („vor dem geistigen Auge“) durchlaufen werden. *Verbales Training* integriert Tätigkeiten des Sprechens in den Lernprozess. Der Einbezug der Sprache kann durch Kommunikation (Sprechen mit anderen), durch Verbalisieren (lautes Mitsprechen) der eigenen Tätigkeitsausführung sowie durch Sprechen mit sich selbst (Selbstgespräch bzw. Selbstinstruktion) erfolgen. Besonders bei komplexen Bewegungsabfolgen können Verbalisierungen und Selbstinstruktionen die bewusste Regelung der eigenen Handlung unterstützen. Das *aktive Training* ist als motorisches Training zu verstehen, das ein geplantes und gezieltes Üben der Bewegungen zur Ausführung der Arbeitstätigkeit vorsieht.

Die einzelnen Grundformen bzw. Trainingsformen des psychoregulativ akzentuierten Lernens lassen sich in die Planung und Durchführung klassischer Methoden (Vier-Stufen-Methode und analytische Arbeitsunterweisung) der Arbeitsunterweisung integrieren. In diesen Fällen wird

¹¹ Durch Sehen oder Vorstellen einer Bewegung wird eine Tendenz (mit nachweislicher elektrischer Muskelaktivität) zur Bewegungsausführung erwirkt (vgl. Rohmert et al. 1974, S. 98 ff.).

von einem „*kombinierten Unterweisungskonzept*“ bzw. von einer „*kombinierten Unterweisung*“ gesprochen. Nach einem Ansatz von Warnecke und Kohl (1979), der an dieser Stelle exemplarisch eine kombinierte Unterweisung darstellt, wurden psychoregulativ akzentuierte Trainingsformen, das Konzept des Teillernens aus der analytischen Arbeitsunterweisung, das planmäßige Lernen der Stufen-Methode sowie der Einsatz von Lernmedien in einem Unterweisungskonzept kombiniert. Durch diese Kombinationsform konnte die Wirksamkeit der Unterweisung gegenüber dem Einsatz der Vier-Stufen-Methode (Kontrollgruppe) deutlich gesteigert werden (Bunk 1991, S. 180 ff. verweist auf Warnecke und Kohl 1979).

Ähnlich dem psychoregulativ akzentuierten Ansatz adressieren sprachakzentuierte bzw. verbale Unterweisungsansätze die Entstehung innerer Abbilder der Arbeit, welche regulierend beim späteren Handlungsvollzug wirken. Ansätze des sprachgestützten Trainings (vgl. Witzgall) orientieren sich dabei an dem Lernmodell nach Galperin (1973), das nach einer Orientierungsphase, welche inhaltlich weitestgehend der ersten Stufe der Vier-Stufen-Methode entspricht, die verbale Beteiligung der Lernenden und Lehrenden betont. Die Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand erfolgt zunächst sowohl motorisch-aktiv als auch in kommunikativer Form zwischen den Lernenden und den Unterweisenden. Daran schließt sich eine rein verbale, abstrakte Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand durch die Lernenden an („halblautes Sprechen“). Der sich anschließende innere Handlungsvollzug bezieht die Sprache in Form eines „inneren Sprechens“ der Lernenden ein. Der Spracheinsatz entwickelt sich von einer kommunikativ-äußerer Form zu einer innerlich-verbalisierten Form. Erst nach diesen Etappen, die auch als „Verinnerlichungsphase“ bezeichnet werden, erfolgt die motorische Ausführung bzw. die Anwendung der erlernten Arbeitstätigkeit. Während der äußeren Handlung erfolgt anhand des inneren Abbilds die Kontrolle des entstandenen Resultats (Bunk 1991, S. 188 f. verweist auf Witzgall und Galperin 1973).

Der stellvertretende Ansatz zur kombinierten Unterweisung nach Witzgall greift die Darstellungen nach Galperin zum sprachakzentuierten Training auf und betont mentale Trainingsanteile. Während mehrerer Lernsequenzen (observative Sequenzen in einer Lernumgebung, aktive Lernsequenzen am Arbeitsplatz) wandelt sich der Spracheinsatz beim Erlernen der Arbeitstätigkeit von einer ausführlichen äußeren Kommunikation zu einem inhaltlich reduzierten, innerlichen Sprechen. Der Einbezug der Sprache soll die innere Beteiligung der Lernenden sichern sowie eine Verbindung zwischen dem inneren Abbild der Arbeitstätigkeit und der äußeren aktiven Handlung ermöglichen (vgl. Bunk 1991, S. 190 ff.; Schelten 2005, S. 140).

Die kognitive Unterweisung richtet sich an den Anforderungen komplexer Arbeitstätigkeiten aus. Planerische sowie koordinative Aufgaben erfordern eine Betonung der kognitiven Durchdringung der zu erlernenden Arbeitstätigkeit. Die selbstständige Erstellung von generischen Vorgehensweisen und notwendigen Planungs- und Entscheidungsprozessen durch die Lernenden verstehen sich als Gegenstand der kognitiven Unterweisung und können beispielsweise durch den Einsatz heuristischer Denkhilfen unterstützt werden. Die Verwendung dieser tätigkeitsspezifischen Denkhilfen beschreibt im Rahmen der handlungsregulatorischen Unterweisung eine gezielte Ausrichtung auf die Bildung umfangreicher sowie komplexer Handlungsregulationen,

wie es die Ausübung anspruchsvoller Arbeitstätigkeiten erfordert. Eine konsequente Weiterführung und Umsetzung dieser Ausrichtung beschreibt die *Leittextmethode*. Die Leittextmethode betont das Selbstlernen und regt durch den Einsatz schriftlicher Unterweisungsunterlagen systematisch die kognitive Durchdringung der Arbeitstätigkeit durch die Lernenden an. Mit dieser Zentrierung auf die Lernenden verlagert sich der Aufgabenschwerpunkt der Lehrenden in Richtung der beratenden, begleitenden und unterstützenden Tätigkeiten (vgl. Schelten 2005, S. 141 ff.).

Einordnung der Methoden

Bezogen auf die Handlungsregulation konzentrieren sich klassische Methoden der Arbeitsunterweisung (Analyse- und Stufenansätze) im Kern auf die Entstehung eines inneren Abbildes und weniger auf die kognitive Durchdringung der Arbeitstätigkeit. Der auf Reproduktion ausgerichtete Handlungsvollzug sieht eine direkte Einflussnahme und Steuerung der Unterweisenden vor. Das hierbei entstehende spezifische Handlungsprogramm ist, auch durch fehlende abstrahierende Komponenten, in seiner Reichweite beschränkt. Durch den systematisch betonten Einsatz psychoregulativ- und sprachakzentuierter Bestandteile (observative, mentale und verbale Trainingselemente) erweitern die ergänzenden Ansätze zur Arbeitsunterweisung die Reichweite der entstehenden Handlungsprogramme. Eine zunehmend stringente Ausrichtung an der kognitiven Durchdringung und der Entstehung einer uneingeschränkten Handlungsregulation beschreiben die Ansätze der kognitiven Unterweisung sowie die Leittextmethode (weiterführende Ausprägung).

Entsprechend der hier dargestellten inhaltlichen Ausrichtungen der verschiedenen Unterweisungsmethoden ist eine Zuordnung der Methoden bezüglich der adressierten Regulationsniveaus der Handlungsregulation (vgl. Kapitel 2.1.2.2) möglich. Klassische Methoden werden, selbst bei Ergänzungen durch psychoregulativ akzentuierte Bestandteile, dem unteren Regulationsniveau (sensumotorische Regulation) der Handlungsregulation zugeordnet. Den höheren Regulationsniveaus (Planung, Strategie und Koordination) werden, im Kontext der handlungsregulatorischen Unterweisung, die kognitive Unterweisung sowie die Leittextmethode zugewiesen. Zielsetzung hierbei ist der Aufbau einer umfangreichen, differenzierten Handlungsregulation wie sie bei der Bewältigung komplexer Arbeitstätigkeiten erforderlich ist (vgl. Schelten 2005, S. 157 ff.).

Sensumotorische bzw. berufsmotorische Trainings beziehen sich überwiegend auf die Konzepte der Handlungsregulationstheorie und somit auf die Entstehung eines inneren Abbildes der Arbeitstätigkeit. Dabei werden verschiedene Trainingsarten (observatives, verbales, mentales und aktives Training) miteinander kombiniert und systematisch in den Lernprozess integriert. Sensumotorische Trainingskonzepte wurden bereits erfolgreich zum Erlernen von Montagetätigkeiten (vgl. Witzgall) sowie zum Training laparoskopisch-chirurgischer Eingriffe (vgl. Immenroth 2003) erprobt (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 434).

2.1.4.4 Personenbezogene Einflussfaktoren der Arbeitsunterweisung

Mit der Absicht den Lernerfolg zu sichern beziehungsweise zu erhöhen sollten die Konzeption sowie die Durchführung von Arbeitsunterweisungen an die individuellen *Lernvoraussetzungen der Lernenden* (vgl. Bunk 1991, S. 220 f.) angepasst werden. Während die Eignung als absolute Lernvoraussetzung gilt, werden Vorkenntnisse als relative, beeinflussbare Leistungsvoraussetzung beschrieben. Lernende sollen während der Unterweisung an vorhandene Kenntnisse und Fertigkeiten anknüpfen. Daher müssen die Vorkenntnisse der Lernenden zu Beginn eines Lernprozesses erhoben und analysiert werden. Bei dieser vorbereitenden Maßnahme sollten zudem Erfahrungen bezüglich der Lernmethodik erfragt werden. Die Auswahl der Unterweisungsweise sowie der Lernmedien und der Sozialform sollte stets in Anlehnung an die Erfahrungen der Lernenden angepasst sein. Falls notwendig, sollte den Lernenden im Voraus die Möglichkeit geboten werden sich mit den angewandten Methoden, Medien und Sozialformen vertraut zu machen. Erfolgreiches Lernen und Unterweisen setzt eine Bereitschaft, ein Interesse sowie das Verständnis für eine Notwendigkeit bei den Lernenden voraus. Diese Beweggründe des Handelns stehen für die Motivation der Lernenden während eines Lernprozesses. Die Lernmotivation sowie die Bereitschaft zu lernen sind wichtige Lernvoraussetzungen und sollten durch gezielte Maßnahmen (Bsp.: Neugier wecken, ermutigen, Handlungsspielräume geben, Lernerfolge hervorheben, Medieneinsatz) möglichst aufrechterhalten beziehungsweise gesteigert werden.

Nach Nerdinger et al. (2011) lassen sich, bezogen auf die Trainings- und Lerntransfereffektivität, allgemeine personale Einflussfaktoren zusammenfassend darstellen (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 443):

- Kognitive Fähigkeiten der Lernenden (Bsp.: Intelligenz)
- Eigenschaften der Persönlichkeit (Bsp.: Gewissenhaftigkeit)
- Allgemeine Arbeitseinstellung (Bsp.: Job Involvement)
- Zielorientierung
- Kompetenzerleben (Bsp.: Selbstwirksamkeit)
- Motivation

Als besonders bedeutsame Faktoren und Prädiktoren der Lernleistung werden die *Selbstwirksamkeit* und der Einfluss der *Lernmotivation* hervorgehoben. Die Selbstwirksamkeit bzw. das Selbstwirksamkeitserleben beschreibt die innere Überzeugung der Lernenden eine Aufgabe zu erfüllen und wirkt sich positiv auf das Lernverhalten sowie die Transfermotivation (Anwendung des Gelernten auf eine Situation) aus (Nerdinger et al. 2011, S. 443 verweist auf Stajkovic und Luthans 1998). Der Lernmotivation, die insbesondere durch die Intensität, die Ausdauer und die Anstrengungen der Lernenden während einer Lernaktivität gekennzeichnet ist, wurde bereits in mehreren Untersuchungen ein wesentlicher Einfluss auf den Wissens- und Fertigkeitserwerb zugeordnet (Nerdinger et al. 2011, S. 443 verweist auf Colquitt et al. 2000). Es wird angenommen,

dass der Einfluss der Lernmotivation auf den Lernerfolg höher sein kann als der Einfluss der kognitiven Fähigkeiten der Lernenden. Es existieren jedoch Metaanalysen, welche diese Erkenntnis hauptsächlich auf die Verwendung von Selbstberichtsmaßnahmen sowie auf den Einsatz spezifischer Trainingsinhalte zurückführen (Nerdinger et al. 2011, S. 445 verweist auf Blume et al. 2010).

Neben den personalen Einflussfaktoren der Lernenden definieren Baldwin und Ford (1988) in ihrem Modell zum Trainingstransfer das *Trainingsdesign* und das *Arbeitsumfeld* als zentrale Elemente zur Sicherung des Lerntransfers. Die drei zentralen Einflussgrößen bzw. Input-Komponenten (Charakteristika der Lernenden, Trainingsdesign und Arbeitsumfeld) beeinflussen den Lerntransfer und somit die Befähigung zur Verallgemeinerung und Übertragung des Gelernten (Transferförderung). Lernende werden hauptsächlich durch das Vorwissen, die Arbeitseinstellung sowie die Motivation und spezifische Persönlichkeitsvariablen charakterisiert. Das Trainingsdesign wird durch die Lerninhalte, die Übungsgestaltung sowie die Verwendung didaktisch-methodischer Elemente definiert. Die personelle Unterstützung der Lernenden sowie die Organisation und allgemeine Rahmenbedingungen des Lernens charakterisieren das Arbeitsumfeld (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 444 f.).

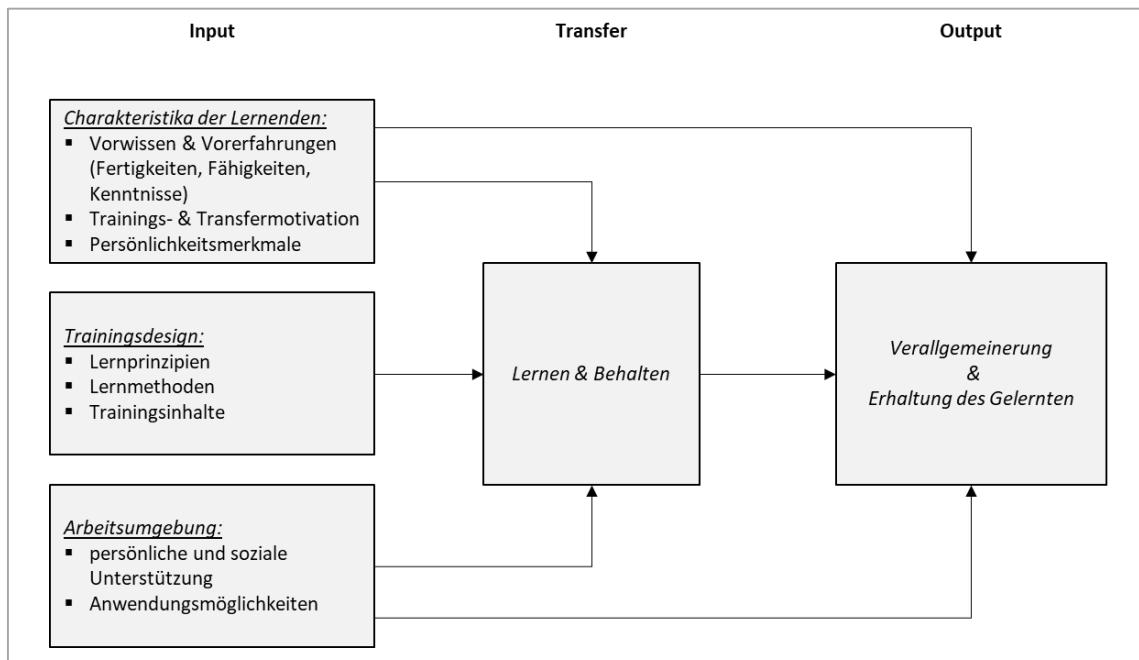


Abbildung 2.1.4-10: Einflussfaktoren des Trainingstransfers
(Darstellung in Anlehnung an Baldwin und Ford 1988, S. 65; Nerdinger et al. 2011, S. 444)

Insbesondere bei der Gestaltung und dem Einsatz multimedialer, computergestützter Lernformen wird eine differenzierte und adaptive Trainingsgestaltung mit Orientierung an den personalen Einflussgrößen der Lernenden erwartet (vgl. Nerdinger et al. 2011, S. 443). Mit einem speziellen Bezug zu den personalen Einflussfaktoren in multimedialen Lernumgebungen lassen sich zusätzliche relevante Eigenschaften der Lernenden formulieren (vgl. Nieding et al. 2015, S. 82

ff.). Die Effektivität der Vermittlung von Lerninhalten durch Lernmedien wird durch die *Medienkompetenz* der Lernenden beeinflusst. Die Medienkompetenz beschreibt das allgemeine Wissen über Medien sowie die Fähigkeit zur Bedienung, Gestaltung und Beurteilung der Medien (vgl. Sander et al. 2008, S. 93). In Anlehnung an die Theorien zum multimedialen Lernen werden zudem das *Vorwissen der Lernenden* (vgl. CLT) und das *räumliche Vorstellungsvermögen* (vgl. CTML) als Voraussetzung für ein effizientes Lernen mit Medien definiert. Fachliches und lernprozessbezogenes Vorwissen der Lernenden reduzieren die kognitive Belastung. Das räumliche Vorstellungsvermögen wirkt bei hoher Ausprägung fähigkeitsverstärkend, da eine optimierte Speicherung von Bildern im visuellen Teil des Arbeitsgedächtnisses erwartet wird. Bei Personen mit einem geringer ausgeprägten räumlichen Vorstellungsvermögen, bei hohen kognitiven Fähigkeiten, können Lernmedien durch graphische Darstellungen jedoch eine fähigkeitskompen-sierende Wirkung erzeugen und einen positiven Einfluss auf den Lernvorgang nehmen (Nieding et al. 2015, S. 107 verweist auf Huk 2006). In weiterer Ergänzung werden der *kognitive Stil* (feld-abhängig bzw. feldunabhängig), das *Geschlecht* sowie die allgemeine Lernleistung mit Texten (*Verbalisierende* bevorzugen Texte) bzw. mit bildhaften Darstellungen (*Visualisierende* bevorzugen Bildmaterial) als potentielle Differenzierungsmerkmale und personale Faktoren angeführt.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurden gezielt einzelne der dargestellten personalen Einflussfaktoren hinsichtlich der Wirkung einer multimedialen beziehungsweise computergestützten Lernumgebung einbezogen und analysiert. Die Auswahl ergänzender Einflussfaktoren ist durch das spezifische Trainingsdesign beziehungsweise durch die Lernumgebung (manuelle Serienmontage) sowie die spezifische Zielgruppe (Lernende bzw. Mitarbeitende innerhalb industrieller Montagesysteme) begründet. Diese anwendungs- bzw. umgebungsspezifischen Faktoren werden im weiteren Verlauf der Arbeit dargestellt (vgl. Kapitel 2.2).

2.2 Augmented Reality-basiertes Montagetraining

„Die Smart Factory wird nicht menschenleer sein, denn nach 35 Jahren Forschung im Bereich Künstliche Intelligenz ist mir klar, dass Menschen mit ihrer Alltagsintelligenz selbst gegenüber der besten Expertensoftware in Sondersituationen überlegen sind.“ (Wolfgang Wahlster, DFKI)

Im zweiten Teil der theoretischen Grundlagen wird zunächst vertiefend auf einzelne Aspekte und Konzepte der industriellen Montage eingegangen. Die manuelle Serienmontage beschreibt im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen die Lernumgebung, Lerngegenstände, Lernprozesse sowie die Zielgruppe der Qualifizierungsmaßnahmen (Lernende). Ergänzend werden Potentiale und Anwendungsbeispiele gegenwärtiger Lehr-Lern-Technologien im industriellen Umfeld erläutert. Im Sinne des technologischen Schwerpunktes der Untersuchungen werden Aspekte und Erkenntnisse hinsichtlich der Nutzung AR-basierter Anwendungen im Rahmen betrieblicher Qualifizierungsszenarien hervorgehoben.

2.2.1 Aspekte der industriellen Montage

Zur näheren Erläuterung der Forschungsumgebung (manuelle Serienmontage) werden einleitend grundlegende Begriffe und Konzepte der industriellen Montage abgebildet.

2.2.1.1 Begriffe und Konzepte

Manuelle Montagesysteme

Die *Montage* als Vorgang bzw. der *Montagebereich* als organisatorische Einheit beschreiben den Zusammenbau von Einzelteilen zu Baugruppen oder Produkten (vgl. REFA 1993, S. 123). Manuelle (lt. manus: Hand) Montagevorgänge sind durch die händische Durchführung des Zusammenbaus durch Menschen gekennzeichnet.

Fügen DIN 8593	Handhaben VDI 2860	Kontrollieren VDI 2860	Justieren DIN 8580	Sonderoperationen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusammensetzen ▪ Füllen ▪ Anpressen und Einpressen ▪ Fügen durch Urformen ▪ Fügen durch Umformen ▪ Fügen durch Schweißen ▪ Fügen durch Löten ▪ Kleben ▪ textiles Fügen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Speichern ▪ Mengen verändern ▪ Bewegen ▪ Sichern ▪ Kontrollieren 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prüfen ▪ Messen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Justieren durch Einformieren ▪ Justieren durch Umformen ▪ Justieren durch Trennen ▪ Justieren durch Fügen von Ausgleichsteilen ▪ Justieren durch Einstellen ▪ Justieren durch Nachbehandeln 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Markieren ▪ Erwärmen ▪ Kühlen ▪ Reinigen ▪ Entgraten ▪ Bedrucken ▪ Abdecken ▪ Abziehen ▪ Auspacken ▪ Ölen ▪ Einsprühen ▪ Abdichten

Abbildung 2.2.1-1: Funktionen der Montage
(Darstellung nach Lotter und Wiendahl 2012, S. 2)

Unter der Verwendung der Hände, spezieller Fertigkeiten, Sinneswahrnehmungen sowie seiner Intelligenz und der Nutzung von Arbeits- bzw. Hilfsmitteln (Bsp.: Werkzeuge, Arbeitsvorrichtungen) führt der Mensch die notwendigen Montagevorgänge aus (vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 127). Dabei handelt es sich insbesondere um Vorgänge des Fügens (Bsp.: Zusammensetzen, Einpressen) von Bauteilen bzw. Werkstücken. Die Fügevorgänge beschreiben neben den Vorgängen des Justierens, der Kontrolle, der Handhabung und verschiedener Sonderoperationen die Funktionen der Montage bzw. der Montagevorgänge (vgl. Lotter und Wiendahl 2012, S. 2).

Automatisierte und hybride Montagesysteme

Werden Montageaufgaben durch Maschinen bzw. Roboter ausgeführt, spricht man von automatisierten Montagesystemen. Abhängig von dem Verhältnis zwischen automatisierten und manuellen Montagevorgängen (*Automatisierungsgrad*) wird zwischen *vollautomatisierten* und *teilautomatisierten bzw. hybriden Montagesystemen* unterschieden. Bei vollautomatisierten Umgebungen sind die Aufgaben der Montagemitarbeitenden durch die Materialversorgung des Systems, das Umrüsten der Anlagen sowie die Anlagenbetreuung und die Störungsbehebung gekennzeichnet. Insbesondere die Behebung komplexer Anlagenstörungen erfordert ein hohes Qualifikationsniveau des Personals (Bsp.: Meister/-in, Mitarbeitende der Instandhaltung). Bei teilautomatisierten Systemen erfolgt eine Kombination aus automatisierten und manuellen Arbeitsstationen innerhalb eines Systems. Die Realisierung erfolgt häufig in Form einer *Linienstruktur*, jedoch ist die Strukturierung als *Einzelplatzsystem* oder als *Montageinsel* ebenso gebräuchlich. Durch ihre geringeren Investitionskosten bei mittlerer Variantenvielfalt und mittleren Stückzahlen bieten hybride Montagesysteme gegenüber vollautomatisierten Systemen wesentliche wirtschaftliche Vorteile. Hybride Montagesysteme werden häufig bei der Montage von Automobil-Motoren eingesetzt (vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 106).

Serien- und Fließfertigung

Eine *Serienfertigung* kennzeichnet sich durch die gleichzeitige oder unmittelbar aufeinanderfolgende Herstellung konstruktionsgleicher Produkte bzw. Baugruppen in begrenzter Stückzahl (vgl. REFA 1993, S. 165). Erfolgt die Herstellung nach einem organisierten, verketteten Ablauf (*Flussprinzip*) unter Einhaltung zeitlicher Vorgaben (*Taktzeit*), wird von einer *Fließfertigung bzw. -arbeit* gesprochen (vgl. REFA 1993, S. 80). Ein Montagebereich verfügt i.d.R. über mehrere Montagestationen. Bei einer Fließmontage bewegt sich das Montageobjekt zwischen den einzelnen Arbeitsstationen, beispielsweise durch den Einsatz von Gurtbandsystemen oder Werkstückträgern, während das Montagepersonal stationären Arbeitsplätzen bzw. Arbeitsstationen zugeteilt wird (vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 174). Die Montagerangfolge definiert dabei die Anordnung der Montagestationen. Die spezifischen Montageaufgaben einer Arbeitsstation bestehen aus mehreren Montagetätigkeiten und werden taktgebunden ausgeführt. Das Konzept der Fließmontage ist auf eine möglichst geringe Durchlaufzeit des Montageobjektes, eine Reduzierung der Nebentätigkeiten des Montagepersonals durch manuelle Förderung des Montageobjektes sowie auf einen flexiblen Wechsel zwischen manuellen und automatisierten Montagevorgängen ausgerichtet (vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 162).

Strukturformen der Montagesysteme

Die Struktur von Montagesystemen (vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 101) wird vornehmlich durch das geplante Produktionsprogramm und die notwendigen Montageaufgaben bestimmt. Ausgehend von dem Enderzeugnis (Produkt) und der entsprechenden Strukturstückliste erfolgt die Strukturierung sowie die Ausplanung des Montagesystems. Aus dem Vertriebsprogramm wird das Produktionsprogramm abgeleitet. Dieses Programm beschreibt die geplante Produktionsmenge eines Produktes bzw. einer Produktfamilie und somit die geforderte Ausbringungsmenge eines Montagesystems in einem definierten Zeitraum (Bsp.: Jahr, Monat, Woche). Anschließend kann die Kapazitätsplanung einzelner Montageverfahren und Montageabschnitte stattfinden. Ableitend aus diesen Vorarbeiten erfolgt, häufig als eine Aktivität der Arbeitsorganisation definiert, die Strukturierung des Montagesystems. In der industriellen Praxis haben sich die Linien-Montage, die Einzelplatz-Montage, die Baustellenmontage sowie die Montageinsel als wesentliche Strukturformen etabliert und werden an dieser Stelle in reduzierter Form dargestellt (vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 102 ff.).

- *Linien-Montage*: Verbunden über ein Materialflusssystem, werden bei einer Linien-Montage mehrere Arbeitsplätze in Linienform hintereinander angeordnet. Die Montageaufgabe wird dabei auf die einzelnen Arbeitsplätze verteilt. Parallel- und Alternativarbeitsplätze sowie Verzweigungen sind bei Liniensystemen ebenfalls möglich. Das *Basisteil* wird an der ersten Arbeitsstation eingesetzt, fließt durch die Linie und wird an jeder Arbeitsstation sukzessive erweitert bzw. bearbeitet (vgl. Fließfertigung). Die Bereitstellung des Montagematerials (Bsp.: Anbauteile) erfolgt an den Arbeitsplätzen. Die Arbeitsumfänge der einzelnen Arbeitsstationen sowie die Einarbeitungszeit für Mitarbeitende ist vergleichsweise gering. Exemplarisch für den Einsatz der Linien-Struktur kann die Endmontage von Automobilen (*Weiße Ware*) genannt werden.
- *Einzelplatz-Montage*: Bildet ein einziger Arbeitsplatz eine komplette Montageaufgabe ab, wird von einer Einzelplatz-Montage gesprochen. Alle erforderlichen Betriebsmittel sowie Montageteile müssen an diesem Arbeitsplatz bereitgestellt werden. Dadurch ergeben sich Einschränkungen hinsichtlich der Produktgröße und des Montageumfangs. Da die Mengenleistung der Einzelarbeitsplätze vergleichsweise gering ist, werden i.d.R. mittlere Arbeitsumfänge bei Produkten mit kleineren Produktionsvolumen abgebildet.
- *Baustellenmontage*: Bei der Baustellenmontage verbleiben sowohl das Montagepersonal als auch das Montageobjekt stationär an einem festen Ort. Dort werden alle benötigten Teile und Baugruppen bereitgestellt. Im Vergleich zu der Einzelplatz-Montage werden hier komplexe, großvolumige Produkte mit hohen Montageumfängen realisiert. Häufig handelt es sich um Produkte mit einem hohen Individualisierungsgrad, die in ihrer kundenspezifischen Ausführung einmalig produziert werden (Bsp.: Presse, Schaltschrank). Die hohen Anforderungen an Mitarbeitende der Baustellenmontage sind u.a. durch ein umfangreiches Produktverständnis gekennzeichnet.

- **Montageinsel:** Eine Montageinsel bildet oftmals räumlich gebündelt mehrere Montageaufgaben eines Produktes bzw. einer Produktfamilie ab (Bsp.: Vor- und Endmontage). Alle Betriebsmittel und Montageteile müssen innerhalb der Montageinsel verfügbar sein. Der Materialfluss innerhalb der Insel bzw. zwischen den Insel-Arbeitsplätzen wird überwiegend durch nicht automatisierte Fließsysteme realisiert. Das Montageobjekt wird meist manuell von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz übergeben (vgl. Gruppenmontage). Montageschritte können sowohl parallel als auch in Reihe ablaufen. Montageinseln eignen sich für kleine bis mittlere Produktionsvolumen und bilden große Handlungsspielräume für Mitarbeitende ab. Die Einarbeitszeit ist vergleichsweise hoch.

2.2.1.2 Praxis der Qualifizierung von Mitarbeitenden

Innerhalb manueller und hybrider Montagesysteme werden Montagvorgänge durch die menschliche Hand realisiert. Beim Erlernen dieser spezifischen Fertigkeiten finden die zuvor dargestellten Konzepte des berufsmotorischen Lernens (vgl. Kapitel 2.1.3) sowie die Methoden der Arbeitsunterweisung (vgl. Kapitel 2.1.4) in Adaption auf die industriellen Montage als Arbeits- bzw. Lernumgebung ihre praktische Anwendung.

Umgebungsbedingungen

Die industrielle Montage als operative Arbeitsumgebung unterliegt Einflüssen und Veränderungsprozessen, die häufig ebenso die Lernanforderungen sowie die Qualifizierungsprozesse beeinflussen. Abhängig von den lokalen Gegebenheiten (Bsp.: Art des Montagesystems und der Arbeitsorganisation) werden individuelle Lernanforderungen und Lernaktivitäten definiert (vgl. Buck und Witzgall 2012, S. 398).

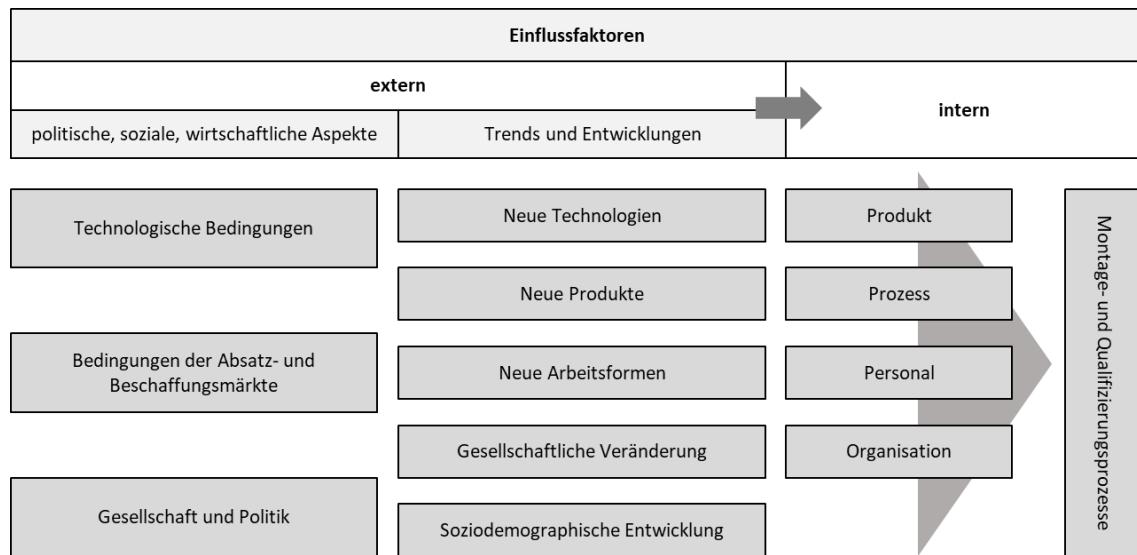


Abbildung 2.2.1-2: Einflussfaktoren der industriellen Montage
(Darstellung in Anlehnung an Marks 2019, S. 14)

Die Montage als organisatorische Einheit eines Unternehmens unterliegt politischen, sozialen und wirtschaftlichen Einflüssen. Daraus ergeben sich sowohl technologische als auch absatz-

und beschaffungsmarktbezogene Bedingungen sowie ein gesellschaftliches und politisches Leitbild eines Unternehmens (Marks 2019, S. 13 f. verweist auf Willnecker, S. 9). Zudem beeinflussen Entwicklungen wie verkürzte Produktlebenszyklen, neue Formen der Arbeitsorganisation, soziodemografische und gesellschaftliche Veränderungen sowie die Entstehung neuer Technologien die Anforderungen der industriellen Montagebereiche der Unternehmen. Die unternehmensinterne Perspektive richtet sich im Kern auf die adäquate Gestaltung der eigenen Produkte und Prozesse sowie die Entwicklung des Personals und der Gesamtorganisation (Marks 2019, S. 14 verweist auf Laick 2003, S. 5). Abgeleitet aus den externen Einflüssen (Treibern) definieren die internen Gestaltungselemente (Produkt, Prozess, Personal, Organisation) die Rahmenbedingungen für die Qualifizierung von Mitarbeitenden (vgl. Abbildung 2.2.1-2).

Eine systematische Entwicklung der Qualifizierungsvorgänge wird im industriellen Umfeld mit Wettbewerbsvorteilen verglichen, die üblicherweise durch Prozess- und Strukturoptimierungen erreicht werden (vgl. Buck und Witzgall 2012, S. 397). Qualifizierungsaktivitäten in den Produktionsbereichen zielen auf die Vermittlung aller arbeitsbezogener Fertigkeiten, Fähigkeiten, Kenntnisse sowie Einstellungen ab. Dabei entspricht das Begriffsverständnis der Qualifikation häufig dem Verständnis einer Kompetenz bzw. einer Handlungskompetenz (vgl. Bullinger und Witzgall 2002, S. 27).

In einem auf Wirtschaftlichkeit ausgerichteten Umfeld wie die industrielle Produktion wird, neben den Potenzialen einer effektiven Qualifizierung von Mitarbeitenden, der Mensch bzw. die menschliche Arbeitsleistung als Potenzial- und Produktionsfaktor beschrieben (vgl. Marks 2019, S. 52). Die Qualifizierung der Mitarbeitenden wird mit Kosten und Aufwänden verbunden (vgl. Buck und Witzgall 2012, S. 402), weshalb Unternehmen eine möglichst wirtschaftliche Ausrichtung der Qualifizierungsmaßnahmen anstreben. Entsprechend dieser Ausrichtung bildet die wirtschaftliche Orientierung und Gestaltung von betrieblichen Qualifizierungsmaßnahmen weit hin einen gewichtigen Untersuchungsgegenstand der Arbeitswissenschaften ab (vgl. Jeske 2013; Jeske et al. 2014; Marks 2019).

Qualifikationsprofile und Kompetenzen

Ziel der arbeitsplatzbezogenen Qualifizierungsaktivitäten ist eine gekonnte Berufsfertigkeit, die sich insbesondere durch eine sichere, genaue und bewegungsökonomische Ausführung der Arbeitstätigkeit bzw. der Montageaufgabe kennzeichnet (vgl. Kapitel 2.1.3: Erlernen berufsmotorischer Fertigkeiten). Die personenbezogene Aufgabenbeherrschung wird im Umfeld der industriellen Montage häufig in einer *Qualifikationsmatrix* dokumentiert. Die Qualifikationsmatrix bildet den individuellen Beherrschungsgrad der Mitarbeitenden bezogen auf einzelne Arbeitsplätze bzw. Montagestationen in einem Montageabschnitt ab (vgl. Abbildung 2.2.1-3). Diese Dokumentation der Qualifizierungsstände unterstützt sowohl die Aktivitäten der Qualifizierungsplanung als auch die Kapazitäts- und Einsatzplanung der Montagebereiche (vgl. Buck und Witzgall 2012, S. 403).

Montagebereich: XXX			
Mitarbeitende	Montagestation A	Montagestation B	Montagestation C
Person 1			
Person 2			
Person 3			

Beherrschungsgrad:

	- Kennt und versteht alle Tätigkeiten		- Führt die Tätigkeiten in der geforderten Qualität und Quantität aus
	- Führt die Tätigkeiten in der geforderten Qualität aus		- Beherrscht alle erforderlichen Fertigkeiten und kann Wissen weitergeben (Multiplikator)

Abbildung 2.2.1-3: Qualifikationsmatrix
(Darstellung in Anlehnung an Buck und Witzgall 2012, S. 404; Lange und Henschel 2017, S. 165)

In einer weiteren Differenzierung lassen sich an dieser Stelle die Kompetenzen bezüglich der Montageaufgabe sowie der Prozesse voneinander abgrenzen und im Kontext der industriellen Montage definieren (vgl. Buck und Witzgall 2012, S. 404 ff.). Das *Aufgabenkönnen*, die *Aufgabenverantwortung* sowie das *Aufgabenwissen* bilden dabei die Dimensionen der *Aufgabenkompetenzen*. Mit Ausrichtung auf die praktische Ausführung von Bewegungsabläufen beschreibt das Aufgabenkönnen die Fähigkeit zur Bewältigung unterschiedlicher Arbeitsaufgaben. Das Aufgabenwissen bezieht sich vor allem auf die Fähigkeit, Aufgaben mit hohen Wissensanforderungen (Bsp.: Wissen über Bedingungen, Situationen, technische Systeme) zu bewältigen. Besteht die Bereitschaft und Fähigkeit die Zuständigkeit bzw. die Verantwortung für mehrere Arbeitsaufgaben zu übernehmen, wird von einer Aufgabenverantwortung gesprochen. Als Ergänzung zu den Aufgabenkompetenzen beschreiben *Prozesskompetenzen* die Fähigkeit bzw. Bereitschaft der Mitarbeitenden zur Kommunikation und Kooperation (Sozial- und Kommunikationskompetenz, Kooperationsbereitschaft) sowie zum Lernen innerhalb der Arbeitsprozesse (Lernbereitschaft).

Aus den vorhandenen Qualifikationsprofilen und den dynamischen Anforderungen der Montagesysteme (Bsp.: Umgebungsbedingungen, Produktionsprogramm) werden Qualifizierungsbedarfe abgeleitet. Die arbeitsplatzbezogene Qualifizierung bzw. Arbeitsunterweisung der Mitarbeitenden erfolgt in Anlehnung an die spezifischen Anforderungen und Umgebungsbedingungen der relevanten Arbeitsumgebung.

Einfluss der Arbeitsperson und Arbeitsaufgabe

Die im Vorfeld dargestellten Gestaltungselemente sowie Einflussgrößen des Lernens und Unterweisens am Arbeitsplatz (vgl. Kapitel 2.1.4.4) lassen sich an dieser Stelle in Anpassung an die spezifische Arbeits- bzw. Lernumgebung der industriellen Montage inhaltlich ergänzen.

Die personalen Einflussgrößen der Mitarbeitenden der Montagebereiche, häufig als „*Werker/-innen*“ bezeichnet (vgl. Buck und Witzgall 2012, S. 397), lassen sich nach tiefergehenden Untersuchungen hinsichtlich des Anlernens im Kontext der industriellen Montage weiterführend spezifizieren (vgl. Marks 2019; Jeske 2013; Jeske et al. 2014; Schlick et al. 2018). In Anlehnung an diese spezifischen Arbeitsumgebungen bzw. Lernanforderungen lassen sich die personalen Einflussfaktoren des Lernens (vgl. Kapitel 2.1.4.4) durch die Bestimmungsgrößen der menschlichen (Arbeits-) Leistung (Schlick et al. 2018, S. 61 verweist auf Luczak 1989) strukturiert darstellen. Dabei gelten Merkmale der *Konstitution* (Bsp.: Geschlecht, Körperbau, Kulturkreis) und der *Disposition* (Bsp.: Alter, Körpergewicht, Gesundheitszustand) als weitestgehend unveränderbar (Konstitution) bzw. nur schwer zugänglich (Disposition). Auf *Qualifikations- und Kompetenzmerkmale* der Arbeitsperson (Bsp.: Fähigkeiten, Fertigkeiten) kann durch Qualifizierungsmaßnahmen eingewirkt und eine Veränderung herbeigeführt werden. Wesentliche Anpassungsmerkmale der Arbeitsperson wie Arbeitsmotivation, Zufriedenheit und Ermüdung können durch eine externe Einflussnahme (Bsp.: Entgeltanpassungen, Schichtsysteme) zumindest kurzfristig verändert werden. Die dargestellten personalen Einflussgrößen nehmen Einfluss auf das Lernverhalten der Lernenden und sollten daher Berücksichtigung bei Planung von Qualifizierungsmaßnahmen finden.

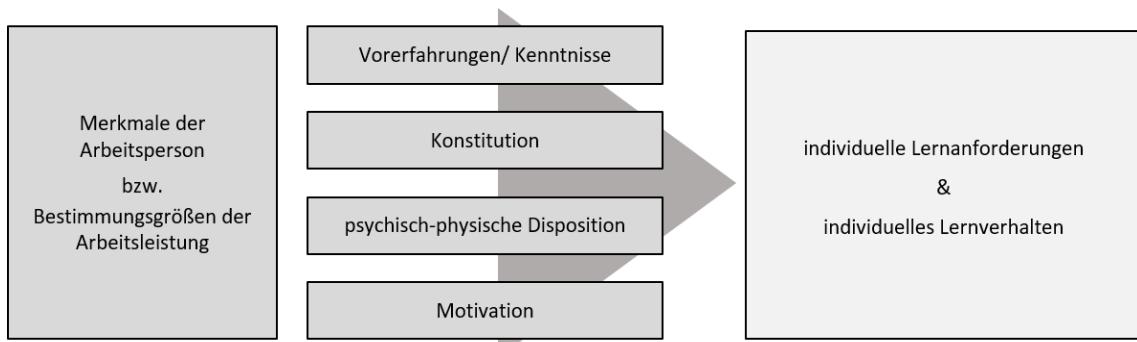


Abbildung 2.2.1-4: Einflussgrößen einer Arbeitsperson
(Darstellung in Anlehnung an Jeske 2013, S. 27 verweist auf Greiff 2001)

Eine zu erlernende *Arbeits- bzw. Montageaufgabe* beschreibt als Teil eines Montagesystems einen aufgabenbezogenen Komplexitätsgrad sowie definierte Zeitvorgaben und einen Automatisierungsgrad. Damit bildet die Arbeitsaufgabe spezifische, inhaltsbezogene Lernanforderungen ab und nimmt Einfluss auf die Durchführung und Planung der Arbeitsunterweisung (vgl. Greiff 2001; Jeske 2013; Hacker und Skell 1993). Unterstützend zur Einschätzung der Aufgabenkomplexität und den damit verbundenen Qualifikationsanforderungen wird, auch im Sinne einer qualifikationsförderlichen Montagegestaltung, die Durchführung von Tätigkeitsanalysen (vgl. Tätigkeitsbewertungssystem nach Hacker und Sachse 2014, S. 337 ff.; Buck und Witzgall 2012, S. 407 f.) empfohlen. Zur Analyse des Umfangs und der Komplexität einer Arbeitsaufgabe haben sich im industriellen Umfeld *Systeme vorbestimmter Zeiten* (SvZ) praktisch bewährt und als Konzept etabliert (vgl. Jeske 2013, S. 30 f.). Der Grundgedanke dieser Systeme beschreibt die Zergliederung der Arbeitstätigkeit in einzelne Grundbewegungen und Bewegungselemente (Bsp.: Greifen, Hinlangen). Diesen Körperbewegungen werden im Anschluss Zeitwerte zugeordnet (Normzeiten), wodurch eine zeitbezogene Soll-Vorgabe der Arbeitstätigkeit planerisch ermittelt

werden kann. Im deutschsprachigen Raum hat sich insbesondere der Ansatz des *Methods-Time Measurement* kurz MTM (MTM-UAS: Universelles Analysier-System, MEK: Einzel- und Kleinserienfertigung) als System vorbestimmter Zeiten und zur planerischen, arbeitswissenschaftlichen Tätigkeitsanalyse etabliert (vgl. Bokranz et al. 2006). Alternativ können durch die Aufnahme von Ist-Abläufen bzw. Ist-Zeiten einer Arbeitstätigkeit u.a. Aussagen bezüglich des individuellen Leistungsgrads oder einzelner Einflussgrößen erfolgen (vgl. REFA 2015, S. 187 ff.).

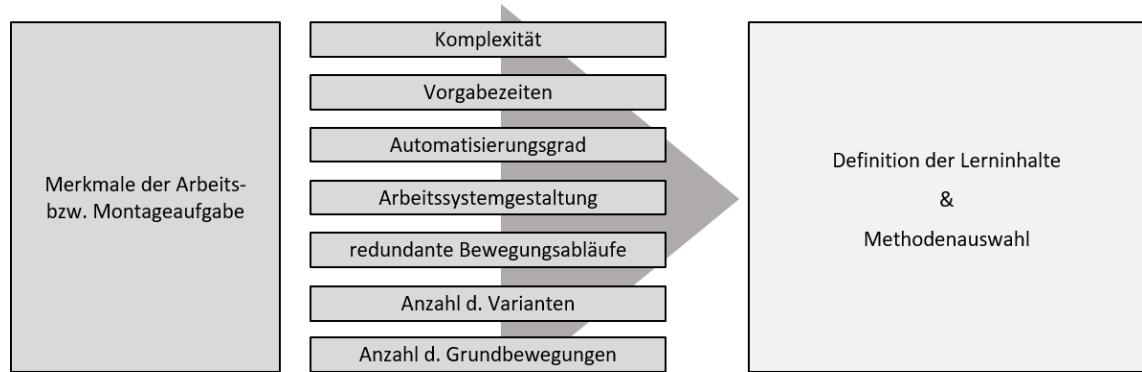


Abbildung 2.2.1-5: Einflussgrößen der Arbeitsaufgabe
(Darstellung in Anlehnung an Jeske 2013, S. 27; Jeske et al. 2014, S. 165 verweist auf Greiff 2001)

Methoden und Medien

Die Arbeitsunterweisung wird in der Serienmontage häufig nach den klassischen Methoden und Prinzipien des Vor- und Nachmachens bzw. durch die Vier-Stufen-Methode (dominante Methode zur Unterweisung berufsmotorischer Fertigkeiten) realisiert (vgl. Kapitel 2.1.4.3). Dabei wird die Rolle der Lehrenden meist durch bereits eingearbeitete und erfahrene Personen eingenommen, wobei i.d.R. der Meister oder die Meisterin die Verantwortung für den Qualifizierungsprozess übernimmt und über entsprechende Kompetenzen verfügt.

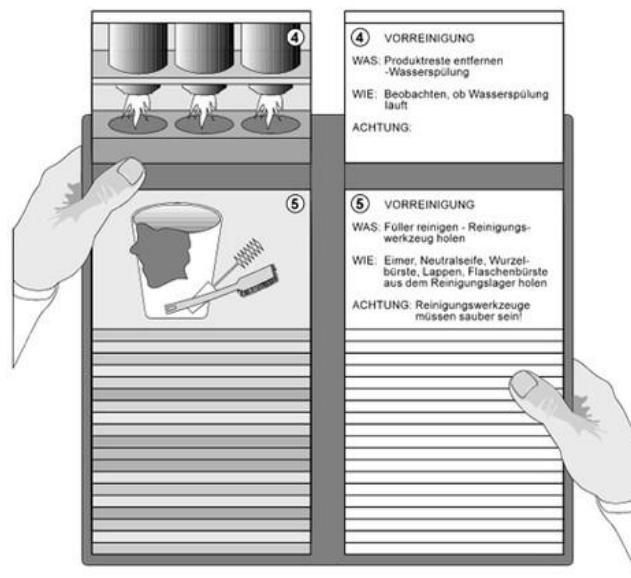


Abbildung 2.2.1-6: Auszug eines Lernalbums am Beispiel Vorreinigung einer Arbeitsstation
(Darstellung aus Buck und Witzgall 2012, S. 400)

Dem Einbezug visueller und verbaler Komponenten wird eine positive Wirkung auf den Lernprozess zugeordnet (vgl. u.a. sprachakzentuiertes Training). Betont wird die unterstützende Wirkung des sprach- und bildgestützten Lernens insbesondere bei nur eingeschränkt zugänglichen Produktionsprozessen. Als ein frühes, exemplarisches Lernmittel (Medium) zur Kombination von visuell-bildlichen und verbal-begrifflichen Informationsdarstellungen, lässt sich das Lernalbum (vgl. Abbildung 2.2.1-6) anführen (vgl. Bullinger und Witzgall 2002, S. 94). Ein Lernalbum bildet vornehmlich die elementaren Aufgabeneinheiten (Arbeitsschritte) ab, welche durch Bilder bzw. Grafiken visualisiert und durch Lernkarten verbalisiert (W-Fragen) werden (vgl. Buck und Witzgall 2012, S. 398 ff.).

Aus dem Ergebnis einer deutschlandweiten Befragung produzierender Unternehmen lässt sich entnehmen, dass in der industriellen Praxis neben der überwiegend verbal geprägten Arbeitsunterweisung bzw. Arbeitsanweisung vermehrt schriftliche und, zu deutlich geringeren Anteilen, visuell-bildhafte Medien zur Qualifizierung eingesetzt werden.

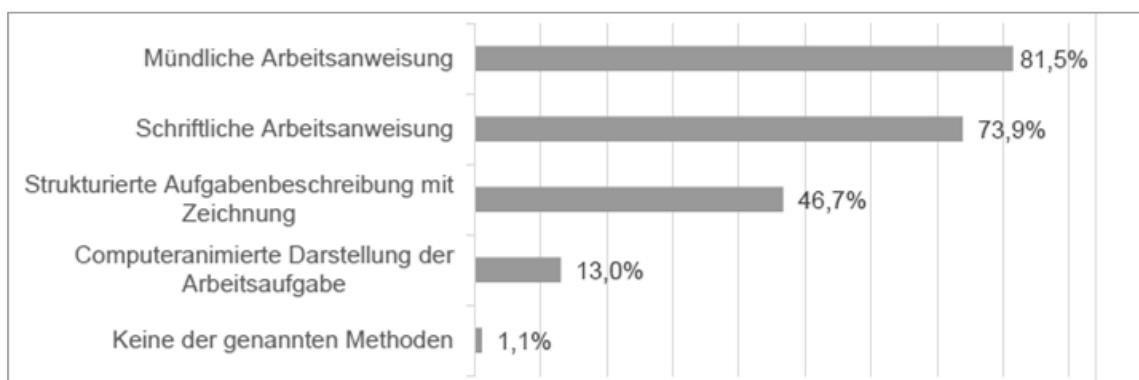


Abbildung 2.2.1-7: Befragungsergebnis - Genutzte Arten der Arbeitsanweisung (N=92)
(Darstellung aus Jeske et al. 2011, S. 22)

Neben der grundlegenden didaktischen Gestaltung der Arbeitsunterweisung wird in den entsprechenden Wissenschaftsdisziplinen stets unter dem Einfluss des technischen Wandels die Integration gegenwärtiger Lernmedien bzw. neuer Techniken der Informationsdarstellung (Bsp.: eLearning, Hypermedia bzw. Hypervideos, Simulationsprogramme) und Technologien (Bsp.: Sensortechnik) diskutiert (vgl. Schelten 2005, S. 207 ff.). Der Einsatz und die Gestaltung einer multimedialen Lernumgebung im Umfeld der industriellen Serienmontage beschreibt nicht zuletzt durch die Entwicklungen im Bereich der Informationstechnologien (vgl. u.a. Winkelhake 2021; Schreiber und Zimmermann 2011; Quint et al. 2016; Weber et al. 2016) einen aktuellen, interdisziplinären Untersuchungsgegenstand. Hierbei werden wirtschaftliche, informationstechnische sowie mediendidaktische Aspekte und Untersuchungsgegenstände betrachtet (vgl. u.a. Jeske 2013; Marks 2019; Webel 2011; Trochim 2002; Bannat 2014; Venitz et al. 2021; Stockinger 2021). Das folgende Kapitel bildet einen Auszug aktueller Konzepte multimedialer Lernumgebungen im industriellen Umfeld ab und geht vertiefend auf den Einsatz einer Augmented Reality-basierten Lernanwendung ein.

2.2.2 Augmented Reality als Lehr-Lern-Technologie

An dieser Stelle wird zunächst der stetige technologische Wandel im Kontext der industriellen Produktion thematisiert. Gegenwärtige Entwicklungen wie u.a. im Bereich innovativer Produktions- und Kollaborationstechnologien (Industrie 4.0) treiben die Digitalisierung von Arbeitsplätzen voran und bilden den technologischen Rahmen für neue Lehr-Lern-Technologien sowie für neue Lernformen. Im weiteren Verlauf des Kapitels werden bestehende technologiegestützte Ansätze zur Unterstützung von Mitarbeitenden der industriellen Montage erläutert. Abschließend werden Augmented Reality-basierte Konzepte fokussiert und einzelne Aspekte der Integration in betriebliche Qualifizierungsszenarien abgebildet.

2.2.2.1 Industrie 4.0 - Arbeitsumgebung

Begriffserläuterung

Das Thema *Industrie 4.0* (Abkürzung: I 4.0) beschreibt die Phase der *Digitalisierung* im Kontext der industriellen Produktion und befindet sich in Deutschland gegenwärtig in vielen produzierenden Unternehmen in der Phase der Implementierung. Die vierte Phase der industriellen Revolution steht für die kontinuierliche Digitalisierung der Produkte sowie der Produktion, bei höchstmöglicher Flexibilität. Die Unternehmen streben den Aufbau einer volumnfänglich vernetzten Produktionsumgebung (*IoT-Umgebung: Internet-of-Things bzw. IdD: Internet-der-Dinge*) an, welche die Kommunikation aller relevanten Produktionskomponenten (Bsp.: Sensorik, Produktionstechnik) untereinander ermöglicht (vgl. Winkelhake 2021, S. 72 ff.). Die vorhergehenden Entwicklungen der Industrie 1.0 (Dampfantrieb) und 2.0 (Fließband) zielten insbesondere auf den Einsatz von Maschinen zur körperlichen Entlastung und dem damit verbundenen Produktivitätszuwachs ab. Durch eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, die Erstellung von Sicherheitskonzepten sowie durch berufliche Bildungsmaßnahmen sollte sichergestellt werden, dass Mitarbeitende der Produktionsbereiche die hohen Energien der Maschinen sicher beherrschen und einsetzen. Überwiegend kognitiv geprägte Überwachungstätigkeiten entwickelten sich durch die zunehmende Automatisierung (vgl. Industrie 3.0: speicherprogrammierbare Steuerung) und die Einführung von Informationstechnologien innerhalb der Produktionsbereiche. Diese Art der beruflichen Tätigkeit erweiterte fortan, neben der Informationsaufnahme, der Handlungsausführung sowie der Entscheidungsfindung, das Tätigkeitsprofil bzw. die Anforderungen innerhalb der industriellen Produktion. Technische Errungenschaften einer Industrie 4.0, wie beispielsweise die Verfügbarkeit von Echtzeit-Maschinendaten (Edge Computing), Assistenzsysteme oder verschiedene Ausprägungen der Mensch-Roboter-Interaktion, können unterstützend bei der Tätigkeitsausführung durch Mitarbeitende eingesetzt werden. In diesem Zusammenhang entstehen spezifische Anforderungen an die Gestaltung einer „*Mensch-Technik-Interaktion*“ (vgl. Reinhart et al. 2017, S. 51 f.).

Zukünftige Arbeitsplätze und Aspekte der Arbeitsplatzgestaltung

Arbeitsplätze in einer Industrie 4.0 - Umgebung beschreiben als Teil eines Arbeitssystems (vgl. REFA 2021, S. 1) neben spezifischen Arbeitsinhalten eine technische Infrastruktur (Arbeitsmittel) und unterliegen sowohl dem technologischen Wandel (Bsp.: Digitalisierung und Vernetzung) als

auch gegenwärtigen global gesellschaftlichen Entwicklungen bzw. Megatrends (Bsp.: Globalisierung, Urbanisierung, Volatilität, kürzere Produktlebenszyklen, individuelle Kundenanforderungen bezüglich der Produkt- und Variantenvielfalt, demographischer Wandel) (vgl. Kampker et al. 2012, S. 186 ff.; Vernim et al. 2016, S. 569 ff.). Es wird zudem erwartet, dass die Mensch-Maschinen-Interaktion in einem Industrie 4.0 - Umfeld bzw. am Arbeitsplatz deutlich zunimmt und somit verstärkt Einzug in die Aktivitäten der Arbeitsplatzgestaltung erhält, wobei grundlegende ergonomische Ansätze der Arbeitsplatzgestaltung weiterhin ihre Gültigkeit besitzen (vgl. Reinhart et al. 2017, S. 54). Neu oder zukünftig gestaltete Arbeitsplätze werden, unter Berücksichtigung der dargelegten Rahmenbedingungen und Entwicklungen, als ein **soziotechnisches System** verstanden, das sich Veränderungsprozessen anpasst und eine optimale Zusammenarbeit von Mensch und Maschine ermöglicht (vgl. Pokorni et al. 2017, S. 593). Ansätze zur ganzheitlichen Betriebsanalyse unter Berücksichtigung der Wechselbeziehungen zwischen Mensch, Technik und Organisation (MTO) vertreten den Grundgedanken einer soziotechnischen Betrachtung und bieten Hilfestellung bei der Analyse, Planung sowie Gestaltung von Arbeitssystemen (vgl. Ulich 2005, S. 83 ff.).

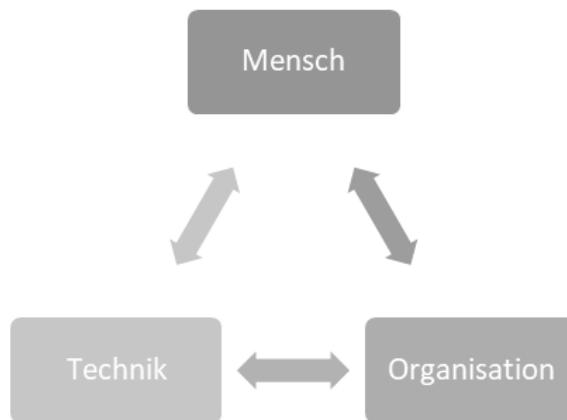


Abbildung 2.2.2-1: Wechselbeziehungen zwischen Mensch, Technik und Organisation (MTO)
(Darstellung in Anlehnung an Reinhart et al. 2017, S. 55)

Das MTO-Konzept stellt den Menschen, die Organisation und die Technik als Teilsysteme dar und unterstützt bei der Analyse bzw. bei der Abstimmung der Teilsysteme innerhalb eines Arbeitssystems. Das soziale Teilsystem (der erwerbstätige Mensch) stellt sich heterogenen Arbeitsaufgaben bzw. Arbeitsanforderungen im Unternehmen. Das Teilsystem der Organisation, gekennzeichnet durch Aufbau und Abläufe der Unternehmen, beschreibt u.a. Formen der Arbeitsteilung und kann beispielsweise durch neue Organisationsformen gestalterisch auf veränderte Anforderungen reagieren. Das Teilsystem entwickelt sich durch den Einsatz neuer Technologien (Bsp.: Cyberphysische Systeme) stetig weiter. Zeitgenössische Technik bzw. technologische Treiber (Teilsystem Technik) bieten zudem neue Potenziale, aber auch Gefahren für die Mensch-Technik-Interaktion. Es wird eine **humanzentrierte Technikgestaltung** angestrebt, die in einer I 4.0-Umgebung an Bedeutung gewinnt. Exemplarisch lässt sich an dieser Stelle die Entwicklung der Informationsbereitstellung in der manuellen Montage darstellen. Während Hin-

weise und Informationen zu manuellen Vorgängen in den Montagebereichen bisher überwiegend durch gedruckte Arbeitsanweisungen realisiert wurden, bestehen heute durch den Einsatz von mobilen Endgeräten (*Wearables*) und Augmented Reality-gestützten Anwendungen mannigfaltige Ansätze zur arbeitsbezogenen Informationsdarstellung. Derartige technische Lösungen bieten Potentiale der Effizienzsteigerung im Arbeitsprozess, können jedoch bei einer ungünstigen Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion (Bsp.: zu hohe Menge an Informationen) zur kognitiven Überforderung der Nutzenden führen (vgl. Reinhart et al. 2017, S. 54 f.).

Die dargestellten technischen Entwicklungen einer Industrie 4.0 und Megatrends führen zu einer sich deutlich verändernden Produktionsarbeit (vgl. Vernim et al. 2016, S. 571) und definieren neue Anforderungen an die Arbeitspersonen (Bsp.: zunehmende Kollaboration mit Arbeitsmitteln, erhöhte kognitive Belastung). Hervorgehoben wird in diesem Kontext die Anpassung beziehungsweise der Bedarf beruflicher Qualifizierungsmaßnahmen für Mitarbeitende der Montagebereiche. Dem menschlichen Handeln und Entscheiden wird auch bei zunehmend digitalisierten Arbeitsplätzen eine hohen Bedeutung im Produktionsprozess zugeordnet (vgl. Reinhart et al. 2017, S. 53).

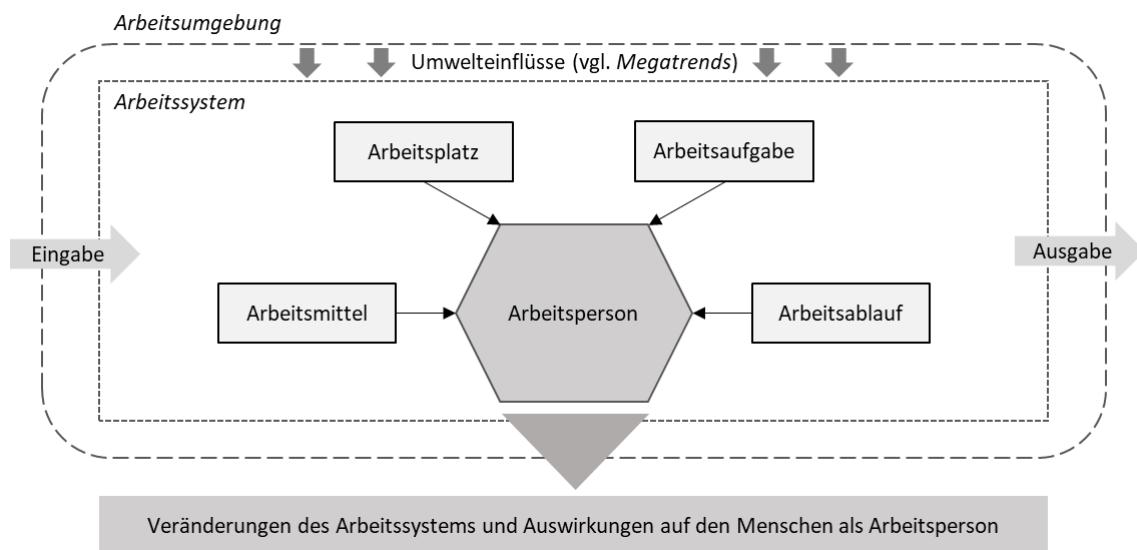


Abbildung 2.2.2-2: Auswirkungen des Arbeitssystem auf die Arbeitsperson
(Darstellung in Anlehnung an REFA 2021, S. 1; Reinhart et al. 2017, S. 52)

In einem System aus intelligenten, vernetzten Objekten bilden **Assistenzsysteme**, an dieser Stelle generell als technische Systeme zur Handlungsunterstützung der Mitarbeitenden verstanden (vgl. Reinhart et al. 2017, S. 57), die Schnittstelle zum Menschen und binden diesen möglichst effizient in den Arbeitsprozess ein. Diese technologische Infrastruktur bietet zudem neue Potentiale für die Qualifizierung der Mitarbeitenden (Vernim et al. 2016, S. 570 verweist auf Deuse et al. 2015; Hartmann 2015) und wird in den folgenden Kapiteln explizit im Kontext des arbeitsbezogenen Lernens diskutiert.

2.2.2.2 Mitarbeiterqualifizierung und Assistenzsysteme

In einem sich wandelnden Arbeitssystem beschreiben die Rolle und die Relevanz des Menschen in seiner Funktion als Arbeitsperson zentrale Diskussionsgegenstände. Digitale Assistenzsysteme unterstützen Mitarbeitende bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten. Zudem gelten sie als ein Ermöglichungsfaktor für die Anwendung neuer Lernformen (Lernen 4.0) und die Durchführung von Qualifizierungsmaßnahmen, die unter anderem durch den Wandel der Arbeitswelt notwendig werden.

Arbeitsplatznahe Lernen im Umfeld Industrie 4.0

Viele Unternehmen und Experten zeigen sich zuversichtlich bezüglich der Umsetzung und dem Wandel hin zu einer Industrie 4.0. Intelligente, zunehmend autonome, vernetzte Fabriken der Zukunft (häufig als *Smart Factory* bezeichnet) ermöglichen eine flexible, effiziente und ressourcenschonende Produktherstellung, bei möglichst hoher Produktindividualität (Losgröße 1). Der Mensch als Arbeitsperson wird in diesem Umfeld weiterhin als *Schlüsselfaktor* angesehen (vgl. Spath 2013, S. 40 ff.).

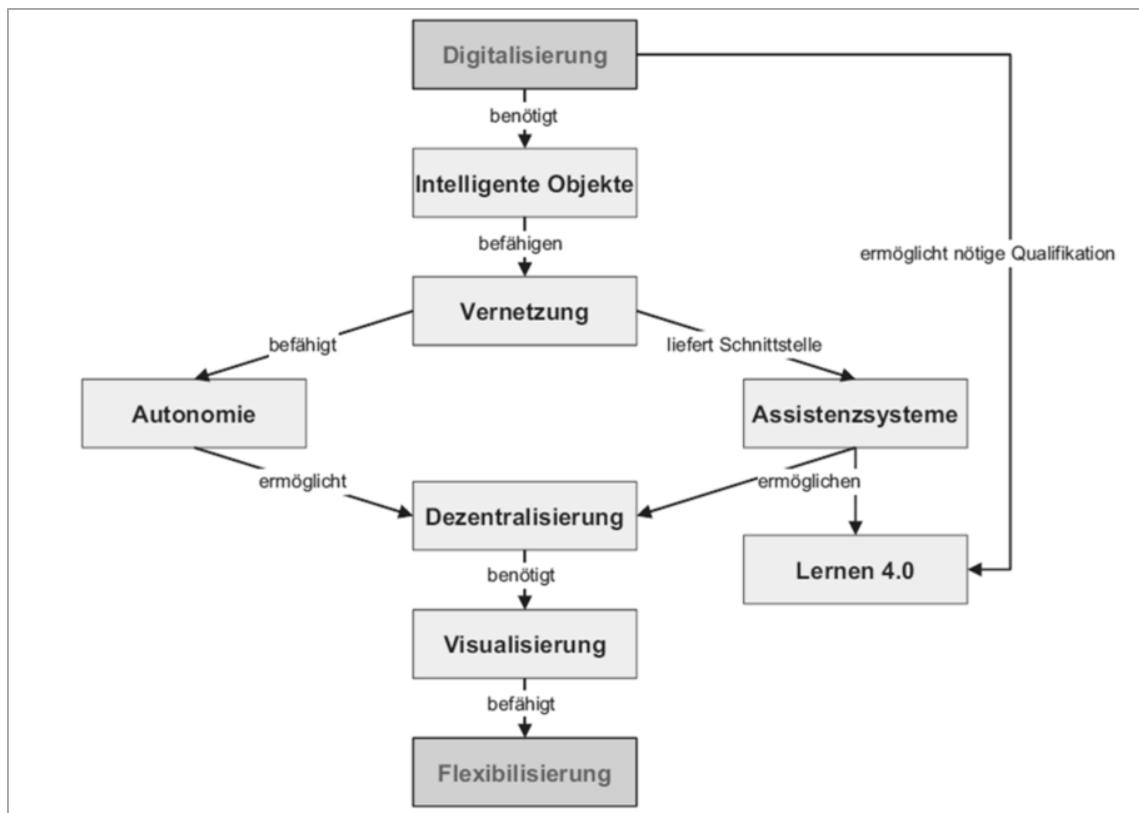


Abbildung 2.2.2-3: Die Digitalisierung als Treiber und Ermöglichungsfaktor
(Darstellung aus Vernim et al. 2016, S. 570)

Für die erfolgreiche Umsetzung einer Industrie 4.0 wird die Positionierung des Menschen und die Integration seiner natürlichen Kompetenzen (Intelligenz, Kreativität, Einfühlungsvermögen und Motorik) entscheidend sein (vgl. Schließmann 2017, S. 171). Hinsichtlich der Qualifizierungsformen werden arbeitsplatznahe und selbstorganisierte Ansätze an Bedeutung gewinnen (vgl.

Becker 2015, S. 27). Mitarbeitende einer Industrie 4.0 müssen zunehmend kurzfristig für eingeschränkt planbare Arbeitstätigkeiten in ihrem direkten Arbeitsumfeld (*On-the-Job*) qualifiziert werden (vgl. Spath 2013, S. 6). Dabei beschreibt eine moderne Arbeitsumgebung, in Abhängigkeit von der technologischen Ausbaustufe (vgl. Windelband 2014, S. 154) und dem gegenwärtigen Automatisierungsgrad (vgl. Schließmann 2017, S. 172), Veränderungspotentiale der Tätigkeit und der Kompetenzen der Mitarbeitenden sowie technische Systeme zur Entlastung bzw. Unterstützung der Mitarbeitenden bei der Tätigkeitsausführung (*Assistenzsysteme*). Assistenzsysteme mit betont kognitiver Ausrichtung ermöglichen neben der unmittelbaren Unterstützung der Mitarbeitenden bei der Tätigkeitsausführung eine **neue Art des Lernens** (vgl. Reinhart et al. 2017, S. 61 f.; Vernim et al. 2016). Lernen kann ortsunabhängig erfolgen und wird auf Mitarbeitende individuell abgestimmt (vgl. Abbildung 2.2.2-3: *Lernen 4.0*). Weiterbildungsmaßnahmen können direkt am Arbeitsplatz bzw. während der Ausführung der Arbeitstätigkeiten erfolgen. Mobile Endgeräte wie das Smartphone und die Smart Watch bieten dabei neue Möglichkeiten der Informationsbereitstellung.

Mit Bezug zum tätigkeitstheoretischen Handlungsbegriff (vgl. Leontjew 1977, Kapitel 2.1.2.1) wird insbesondere der Einsatz von Assistenzsystemen bei standardisierten Tätigkeiten und Prozessen mit dem Risiko der **Dequalifizierung** diskutiert (vgl. Haase et al. 2022, S. 19 f.). Beschränkt sich die Rolle des Menschen bei der Mensch-Technik-Interaktion auf die reine Tätigkeitsausführung, ohne Spielraum für Handlungsalternativen und Informationen zum Gesamtergebnis beziehungsweise zum Handlungshintergrund, werden Zielsetzungen des ganzheitlichen und nachhaltigen Lernens nur unzureichend erfüllt. Es besteht die Forderung nach einer **lernförderlichen Gestaltung der Assistenzsysteme**. Demgegenüber stehen die Chancen einer ausführungsorientierten Technik- und Arbeitsgestaltung für leistungsgewandelte und gering qualifizierte Mitarbeitende in einer modernen Arbeitswelt (vgl. Becker 2015, S. 27). Windelband und Dworschak betonen hinsichtlich der Qualifikationsanforderungen an Mitarbeitende einer Industrie 4.0 zwei potentielle Szenarien (vgl. Windelband und Dworschak 2018, S. 68 f.). Im Rahmen der zunehmenden Automatisierung werden notwendige Entscheidungen zu großen Anteilen von automatisierten Systemen getroffen (*Automatisierungsszenario*). Demnach werden autonome Entscheidungen durch Mitarbeitende sowie menschliche Handlungsalternativen zunehmend reduziert. Eingriffe durch Mitarbeitende sind lediglich in Störungsfällen vorgesehen. Die zur Störungsbehebung notwendigen Kompetenzen können sich Mitarbeitende innerhalb störungsfreier Zustände nicht aneignen, wodurch die Entstehung einer *Kompetenzlücke* erwartet wird. Das *Spezialisierungsszenario* hingegen beschreibt eine Entwicklungsrichtung, bei der eingesetzte technische Systeme vornehmlich zur Unterstützung menschlicher Entscheidungen und Lösungsansätze dienen. Zu größeren Anteilen verbleiben Entscheidungen, die durch Mitarbeitende getroffen werden. Dieses Szenario beschreibt nicht zwingend höhere Anforderungen an Mitarbeitende einer Industrie 4.0, sondern geht von vielfältigeren Anforderungsprofilen (Bsp.: Prozessoptimierung, Störungs- und Problembehebung) aus. Anknüpfend an die inhaltliche Gestaltung technischer Systeme zur Unterstützung von Mitarbeitenden werden im folgenden Abschnitt verschiedene Ausrichtungen industrieller Assistenzsysteme dargestellt.

Ansätze zur Einordnung der Assistenzsysteme

Assistenzsysteme wurden im bisherigen Verlauf dieser Arbeit unter einer allgemeinen Betrachtung als technische Systeme zur Handlungsunterstützung einer Arbeitsperson bezeichnet. Montage-Assistenzsysteme sind auf die spezifische Unterstützung von Mitarbeitenden bei der Ausführung einer Montagetätigkeit ausgerichtet. Hierzu verarbeiten diese Systeme prozessrelevante Daten beziehungsweise Informationen, die u.a. über entsprechende Sensor-technik bereitgestellt werden (vgl. Hinrichsen und Bendzioch 2019). In diesem Abschnitt erfolgt die Darstellung verschiedener Klassifizierungsansätze, welche u.a. die Ebene, die Zielsetzung sowie die Ausprägung der Unterstützungsleistung spezifizieren. Diese Ansätze zur Klassifizierung und Einordnung der Assistenzsysteme unterstützen bei der Diskussion der Eignung beziehungsweise der Potentiale der Systeme innerhalb spezifischer Einsatzszenarien (Bsp.: Einsatz zum betrieblichen Lernen in montagenahen Bereichen).

Nach Reinhart et al. (2017) lassen sich Assistenzsysteme in einer ersten Näherung in *kognitive und physische Assistenzsysteme* zergliedern. Kognitive Assistenzsysteme unterstützen Mitarbeitende insbesondere bei Aktivitäten der Wahrnehmung und der Entscheidung im Kontext der Arbeitsaufgabe. Die Unterstützungsleistung im Bereich der Wahrnehmung erfolgt häufig über die Bereitstellung auftrags- oder tätigkeitsbezogener Informationen (Prüf- oder Stücklisten, Reihenfolge der zu montierenden Teile). Im Umfeld der industriellen Montage werden Wahrnehmungs-Assistenzsysteme vielfach als „*Werkinformationssysteme*“ bezeichnet. Bisher noch weniger verbreitet sind Systeme zur Entscheidungsunterstützung, welche die Arbeitsperson auf Basis von datengetriebenen Entscheidungsmodellen in komplexen Entscheidungssituationen zu unterstützen versuchen. Die physische Assistenz, welche aktuell die häufigste Assistenzart darstellt, findet auf der Ausführungsebene statt (Bsp.: Mensch-Roboter-Interaktion beim Heben oder Positionieren von Werkstücken) (vgl. Reinhart et al. 2017, S. 57-70).

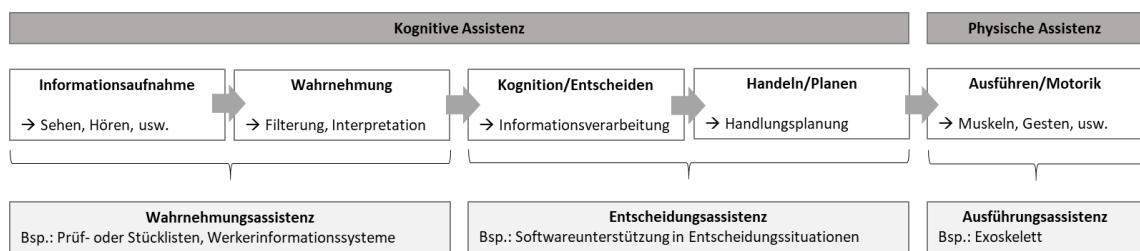


Abbildung 2.2.2-4: Ansatz zur Klassifizierung von Assistenzsystemen
(zusammengetragen aus Reinhart et al. 2017, S. 57; und Galaske et al. 2019)

Eine ergänzende Darstellung nach Galaske et al. (2019) fügt im Bereich der Wahrnehmung die Informationsaufnahme (Sehen, Hören) und im Bereich der Entscheidungsassistenz die Handlungsplanung als Aspekte der kognitiven Unterstützungsleistung an.

Nach einem weiterführenden Klassifizierungsansatz (vgl. Apt et al. 2018, S. 19 ff.) lassen sich betriebliche Assistenzsysteme neben der *Unterstützungsart* (kognitiv, physisch), hier um die sensorische Unterstützung ergänzt (vgl. Informationsaufnahme), gemäß ihres *Unterstützungsgrades* (niedrig, mittel, hoch) und ihrer *Zielsetzung* (Kompensation von Fähigkeiten bzw. Inklu-

sion, Erhaltung der Arbeitsfähigkeit, Erweiterung der Arbeitsfähigkeit) einordnen. Die Gestaltung des Assistenzsystems steht dabei in ständiger Wechselwirkung mit der Charakteristik der Arbeitsaufgabe und der Zielsetzung der Unterstützungsleistung. Abhängig von der Ausprägung physischer (energetische Arbeit, Bsp.: Tragen, Montieren) und kognitiver (informatorische Arbeit, Bsp.: Konstruieren, Erfinden) Anteile der Arbeitsaufgabe, können sensumotorische und kognitive Regulationsanforderungen an die Nutzenden sowie der erforderliche Unterstützungsgrad definiert und bei der Gestaltung des Assistenzsystems berücksichtigt werden (vgl. Rohmert 1983; Apt et al. 2018, S. 22 f.).

Mit Bezug zum praktischen Einsatz in der industriellen Produktion empfehlen Petzoldt et al. (2020) eine weitere Spezifizierung hinsichtlich der *Lokalisierung der Assistenzsysteme*. Bei dieser Dimension wird zwischen dem ortsunabhängigen (mobilen) und einem ortsgebundenen (stationären) Einsatz von Assistenzsystemen unterschieden (vgl. Petzoldt et al. 2020, S. 543).

Merkmal	Ausprägung			
Lokalisierung	mobil stationär			
Unterstützungsgrad	niedrig	mittel	hoch	variabel
Unterstützungsart	physisch		kognitiv	sensorisch
Zielsetzung	kompensatorisch		erhaltend	erweiternd
Anwendungsfall				

Abbildung 2.2.2-5: Übersicht der Klassifizierungsmerkmale
(Darstellung nach Petzoldt et al. 2020, S. 543)

Den Prämissen der Flexibilität und der Anpassungsfähigkeit einer Industrie 4.0 folgend, lassen sich Assistenzsysteme zudem hinsichtlich ihrer Adaptierbarkeit unterscheiden. *Adaptierbare Systeme* lassen sich von den Nutzenden an die individuellen Eigenschaften der Nutzenden selbst oder an die Einsatzumgebung anpassen (*nutzeradaptierbar* bzw. *kontextadaptierbar*). *Adaptive Systeme* hingegen sind in der Lage sich eigenständig an eine sich verändernde Einsatzumgebung bzw. Eigenschaften der Nutzenden anzupassen (*nutzeradaptiv* bzw. *kontextadaptiv*) (vgl. Reinhart et al. 2017, S. 58 verweist auf Oppermann 1994).

Der erfolgreiche Einsatz von Assistenzsystemen ist maßgeblich von den Rahmenbedingungen und Voraussetzungen der Einsatzumgebung abhängig. Neben den technischen (Bsp.: standariserte Mensch-Maschine-Schnittstelle) und prozessualen Voraussetzungen (Bsp.: Integrationsfähigkeit) eines Arbeitssystems sollten auf organisatorischer Ebene sowie auf der Ebene der Mitarbeitenden (Bsp.: Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit) notwendige Voraussetzungen für den Einsatz der Assistenzsysteme geschaffen werden (vgl. Petzoldt et al. 2020, S. 545 ff.). Zentrale Anhaltspunkte für die Akzeptanz der Nutzenden werden durch die Gegenstände der „User Ex-

“experience“ und der „Usability“ beschrieben (vgl. Apt et al. 2018, S. 46 f.). Demnach sind Assistenzsysteme, unter Einbezug einer eigenen Normreihe (EN ISO 9241), im Sinne einer soziotechnischen Ausrichtung möglichst benutzungs- und gesundheitsfreundlich (Vermeidung von gesundheitlichen Schäden) zu gestalten. Eine derartige Gestaltung und der Einbezug der Nutzenden in den Gestaltungsprozess können die Akzeptanz der Nutzenden positiv beeinflussen.

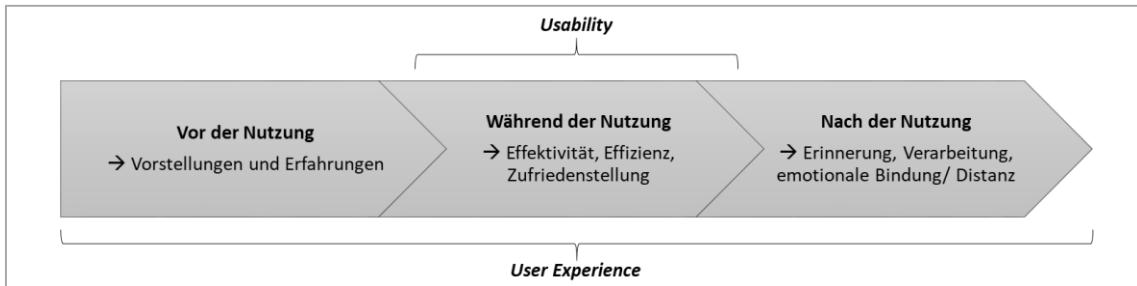


Abbildung 2.2.2-6: User Experience und Usability
(Darstellung nach Apt et al. 2018, S. 47)

Ein Großteil der dargestellten Arten von Assistenzsystemen (vgl. Abbildung 2.2.2-4) ist heute bereits in der industriellen Produktion vertreten. Insbesondere in den Bereichen der Montage, Logistik und Instandhaltung unterstützen Assistenzsysteme Mitarbeitende bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten mit der primären Zielsetzung der Produktivitätssteigerung und der Fehlervermeidung. Zudem werden Verbesserungen im Bereich der Arbeitsergonomie und der Arbeitssicherheit (Bsp.: Belastungsreduzierung) angestrebt. Ein Analyse gegenwärtiger industrieller Assistenzsysteme mit Konzentration auf den Einsatz in der manuellen Montage (vgl. Petzoldt et al. 2020) zeigt, dass sich der überwiegende Teil der aktuell verfügbaren Assistenzsysteme (*state-of-the-art assistance systems*) auf die kognitive Unterstützung der Mitarbeitenden fokussiert. Dabei werden Mitarbeitende häufig über so genannte „*pick-to-light Systeme*“ hinsichtlich der benötigten Anbauteile bzw. Werkstücke informiert. Ein weiterer Ansatz beschreibt die Darstellung montagerelevanter Informationen wie beispielsweise Verschraubungspunkte und -sequenzen in Form einer Text-Bild-Kombination auf einem Monitor (vgl. Reiter 2019). In einigen Fällen können über multisensorische Kamerasytsemе zusätzliche Informationen zum Montagezustand und -fortschritt sowie relevante Informationen zum aktuellen Prozessschritt (über Projektionen) bereitgestellt werden (vgl. Petzoldt et al. 2020, S. 544; Pfeifroth T. et al. 2022).

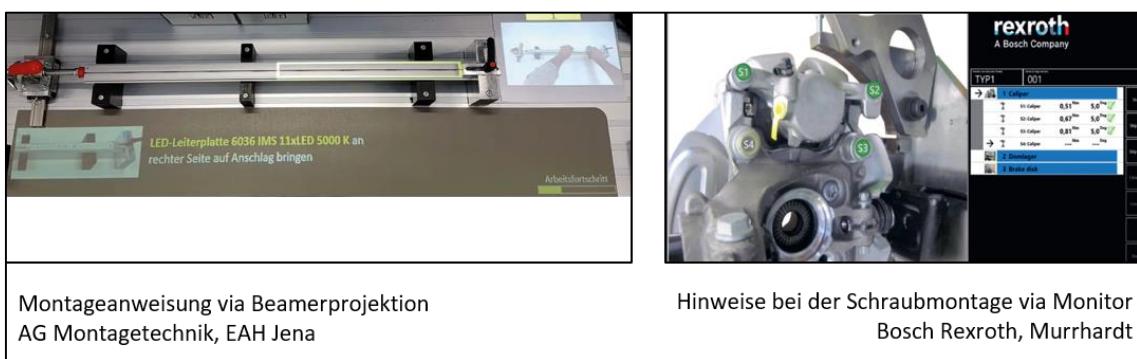


Abbildung 2.2.2-7: Montageinformationen via Beamer und Monitor
(Darstellung aus Pfeifroth T. et al. 2022, S. 148 (links); Reiter 2019, S. 33 (rechts))

Neben den Aspekten der Produktivitätssteigerung und der Belastungsreduzierung wird der Einsatz von Assistenzsystemen im Umfeld einer variantenreichen Montage, bei zunehmender Wissensintensität der Arbeitstätigkeiten, im Zusammenhang der Integration von Lernsequenzen bzw. dem Beitrag zur lernförderlichen Gestaltung von Arbeitssystemen diskutiert (vgl. Apt et al. 2018, S. 21). Beim Einsatz kognitionsunterstützender Assistenzsysteme werden daher Potentiale und Effekte in betrieblichen Lernszenarien (Bsp.: verkürzter Anlernprozess) in Aussicht gestellt (vgl. Hinrichsen et al. 2017; Jeske 2013, S. 153).

Augmented Reality-basierte Assistenzsysteme

Im Zusammenhang mit industriellen Qualifizierungsprozessen und dem Betrachtungsfokus der vorliegenden Arbeit werden in diesem Abschnitt Augmented Reality-basierte Assistenzsysteme dargestellt und hinsichtlich ihrer Potentiale für arbeitsplatznahe Lernszenarien in der manuellen Montage eingeordnet.

Die Bedeutung von Augmented Reality (AR) in der industriellen Praxis nimmt rasant zu. Maßgeblich zur Verbreitung bzw. zu den industriellen Anwendungsmöglichkeiten tragen die Entwicklungen in den Bereichen der Informationstechnologien sowie Synergieeffekte innerhalb einer intelligenten, vernetzten (Bsp.: Internet of Things (IoT), Maschine Learning (ML)) Produktionsumgebung bei. Trotz des vergleichsweise frühen Entwicklungsstadiums der AR-Technologie konnte in verschiedenen Anwendungsszenarien der Mehrwert beim Einsatz der Technologie nachgewiesen werden. Der praktische Einsatz wird auf Grund der breiten Spanne an industriellen Anwendungsszenarien sowie unterschiedlicher Anforderungen und der partiellen Abhängigkeiten von anderen technologischen Entwicklungsfortschritten (Bsp.: Smartphone, Head-Mounted-Displays, Datenbrillen als AR-Peripherie) differenziert betrachtet und untersucht (vgl. Orsolits und Lackner 2020, S. 7).

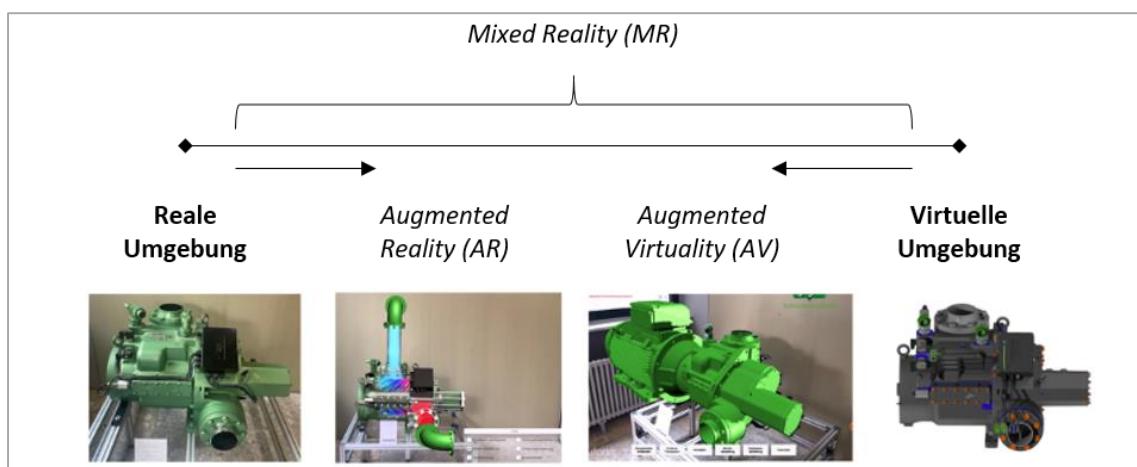


Abbildung 2.2.2-8: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum
(Darstellung in Anlehnung an Bellalouna et al. 2022, S. 312; Milgram et al. 1994)

Einsatzszenarien virtueller Realitäten und Elemente erstrecken sich über das gesamte Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (vgl. Milgram et al. 1994). Die Pole dieses Kontinuums bilden die reale und die virtuelle (Arbeits-) Umgebung (vgl. Abbildung 2.2.2-8). Die virtuelle Realität (eng.: *Virtual Reality (VR)*) ist durch ihre Immersion im Sinne eines vollständigen „Eintauchens“ in virtuelle

Welten ohne Bezug und Interaktion mit der realen Umgebung gekennzeichnet. Um diesen Immersionsgrad zu unterstützen werden hardwareseitig i.d.R. VR-Brillen bzw. Head-Mounted-Displays (HMD) eingesetzt (Bsp.: *Oculus Rift*), die über ein vollständig verschlossenes Gehäuse verfügen und die Nutzenden somit von der realen Umgebung entkoppeln (vgl. Brill 2009, S. 5 ff.; Zobel et al. 2018, S. 20 f.). Eine erweiterte Realität (eng.: *Augmented Reality (AR)*) beschreibt hingegen eine Koexistenz realer und virtueller Objekte. Durch entsprechende Hardware (AR-Brillen) werden virtuelle Elemente in das Sichtfeld der Nutzenden eingebettet und somit die reale Umgebung um virtuelle Elemente erweitert (vgl. Mehler-Bicher et al. 2011, S. 9 ff.; Zobel et al. 2018, S. 25 ff.). Bereits anhand der eingesetzten Hardware lassen sich unterschiedliche Ausprägungen hinsichtlich der Integration virtueller Elemente beschreiben (vgl. Abbildung 2.2.2-9). Während beim Einsatz von Smart Glasses (Bsp.: Google Glass, Vuzix M300) im Sinne einer assistierten Realität über einen einseitig angebrachten Bildschirm oder Prisma (monokularen Brillen) die Realität lediglich um Informationen erweitert wird, ermöglichen (binokulare) AR-Brillen einer höheren Evolutionsstufe mit zusätzlicher Sensorik (Bsp.: Microsoft Hololens) eine Überlagerung bzw. Anreicherung der Realität um fest verortete virtuelle Objekte (vgl. Zobel et al. 2018, S. 30 f.).

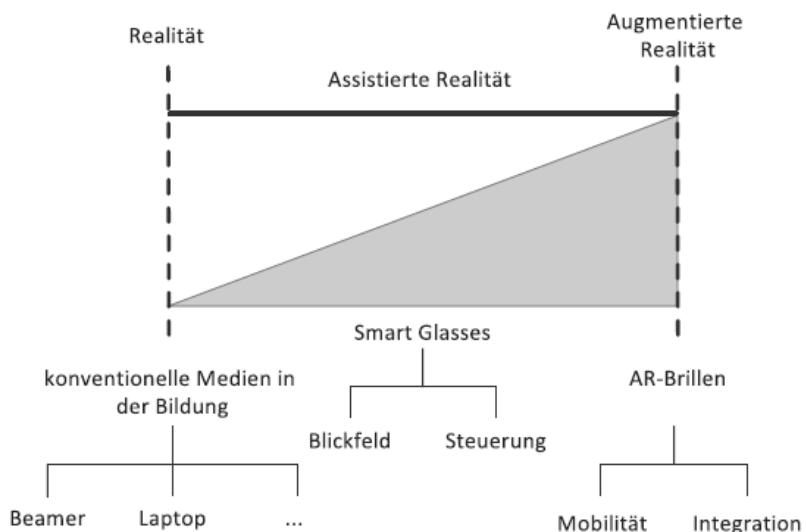


Abbildung 2.2.2-9: AR-Klassifizierung und Ausprägungen
(Darstellung aus Zobel et al. 2018, S. 31)

Der Begriff *Mixed Reality* (dt.: gemischte Realität) beschreibt im Hinblick auf das Virtualitäts-Realitäts-Kontinuum jenen Bereich, indem reale und virtuelle Elemente beliebig kombiniert werden. In einer virtuellen Umgebung (VR) überwiegen virtuelle Anteile, während eine erweiterte Realität (AR) überwiegend aus realen Anteilen besteht (vgl. Mehler-Bicher et al. 2011, S. 10). Bezogen auf die praktische Umsetzung eines MR-Ansatzes wäre der Einsatz einer VR-Brille vorstellbar (geschlossenes Gehäuse), die über ein Kamerasystem den Nutzenden die reale Welt darstellt (vgl. Zobel et al. 2018, S. 25).

Der Einsatz virtueller Elemente und Realitäten ist u.a. aus Anwendungsszenarien der Konstruktion und der digitalen Fabrikplanung bekannt. So bieten virtuelle Umgebungen beispielsweise neue Unterstützungsmöglichkeiten bei der Planung und Gestaltung von Montagearbeitsplätzen

(vgl. Pokorni et al. 2017). Gängige Lean Production-Methoden wie das *Cardboard Engineering* (zukünftige Arbeitsplätze werden mit vergleichsweise günstigen Materialien wie Holz oder Papier nachgebaut und dienen der Simulation von Montageabläufen) stoßen bei der Abbildung von Industrierobotern oder Assistenzsystemen als Arbeitsmittel an ihre Grenzen. Hier kann die Aktivität der Arbeitsplatzgestaltung und -planung durch virtuelle Arbeitsumgebungen unterstützt werden. AR-basierte Anwendungen beschreiben häufig Unterstützungspotentiale bei Einsatzszenarien, die eine Interaktion mit der realen Arbeitsumgebung erfordern. So können beispielsweise Montage- und Wartungsvorgänge durch die Einblendung dreidimensionaler Arbeitsanweisungen unterstützt werden (vgl. Aehnelt und Müller 2016). Durch die Bereitstellung augmentierter Instruktionen während der Ausführung einzelner Teilaufgaben in einem Qualifizierungsszenario, können Lernende bei der Entwicklung von Verhaltens- und Bewegungsmustern unterstützt werden. Bei der Ausführung am realen Objekt erhalten Lernende eine reale taktile Rückmeldung ihrer eigenen Handlung. Unter der Nutzung einer entsprechenden Systemarchitektur (Bsp.: Nutzung von Motion-Tracking, Eye-Tracking) kann eine AR-basierte Lernumgebung zudem auf Ausführungen der Lernenden reagieren und Rückmeldungen in den realen (physischen) Übungsablauf integrieren. Augmented Reality birgt als Technologie das Potential den Erwerb von Fertigkeiten zu unterstützen. Dabei entscheidet die Intensität bzw. die Gestaltung der systemgenerierten Anleitung (Instruktion) darüber, ob der Schwerpunkt auf dem Üben bzw. Erlernen einer Fertigkeit liegt oder ob Nutzende primär durch eine Aufgabe geführt werden sollen (vgl. Webel 2011, S. 57 ff.).



Abbildung 2.2.2-10: Beispiel für eine AR-basierte Montageanleitung
(©Fraunhofer IGD - AR-Anwendung mit Tracking-Technologie „VisionLib“)

Virtuelle Realitäten und Objekte werden bereits in betrieblichen Aus- und Weiterbildungsszenarien (Bsp.: Qualifizierung von Instandhaltungsfachkräften) eingesetzt (vgl. Beuting et al. 2010). Es wird davon ausgegangen, dass AR-Systeme insbesondere wegen ihrer Mobilitätsvorteile und der Interaktionsmöglichkeiten mit dem realen Umfeld für den Einsatz von „On-the-Job“-Qualifizierungsmaßnahmen geeignet sind.

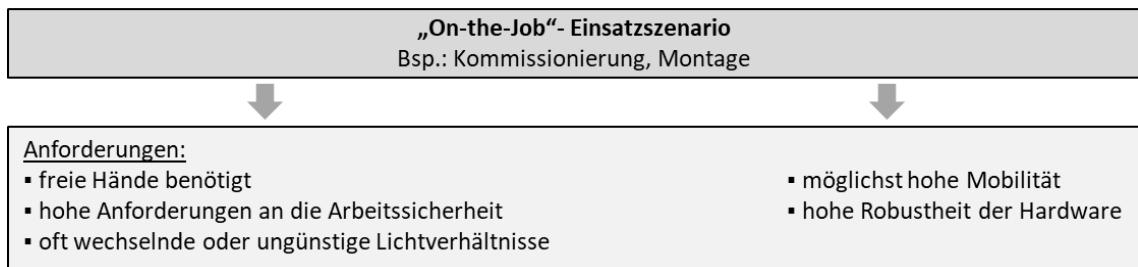


Abbildung 2.2.2-11: Auszug der Anforderungsermittlung eines AR-gestützten Einsatzszenarios (vgl. Tümler und Mecke 2006, S. 49)

VR-Systeme werden weithin den „Off-the-Job“-Qualifizierungsszenarien zugeordnet. Virtuelle Trainer können flexible Trainingsinhalte ortsunabhängig vermitteln, wodurch eine erhebliche Zeitsparnis (Bsp.: Anfahrtswege), Kostensenkungen (Bsp.: virtuelle Darstellung teurer Anlagen und Schulungsmaterialien) sowie Beiträge zur Arbeitssicherheit (Bsp.: chemische Substanzen, schwere Bauteile) erzielt werden können. AR- und VR-Anwendungen könnten in zukünftigen Schulungskonzepten in gegenseitiger Ergänzung eingesetzt werden und die konventionellen Medien der Aus- und Weiterbildung erweitern.

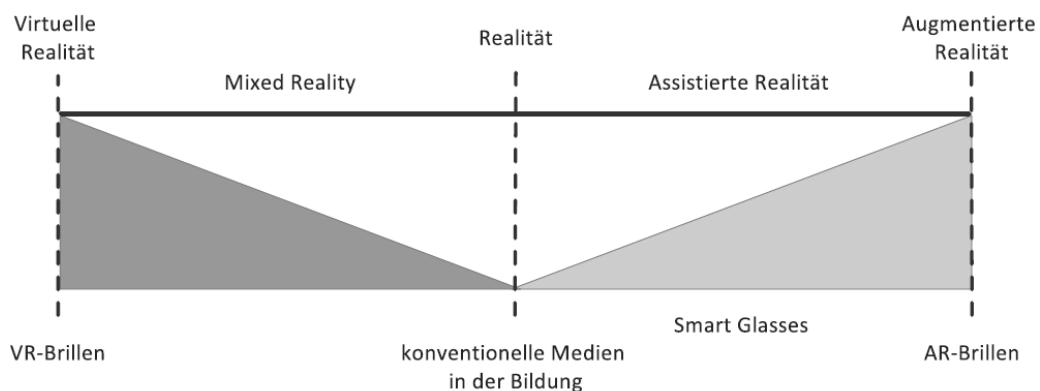


Abbildung 2.2.2-12: Medienbezogene Einordnung von AR und VR
(Darstellung aus Zobel et al. 2018, S. 28)

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf das arbeitsplatznahe Erlernen berufsmotivischer Fertigkeiten. Das Lernen findet am Arbeitsort (Montagestation) statt und wird durch eine Augmented Reality-Anwendung im Sinne einer kognitiven Assistenz unterstützt. Im nachfolgenden Kapitel werden gezielt einzelne Erkenntnisse und Aspekte bezüglich der Anwendung AR-basierter Elemente innerhalb betrieblicher Lehr-Lern-Szenarien dargestellt.

2.2.2.3 Aspekte der Integration von AR-basierten Lernanwendungen

An dieser Stelle werden Aspekte der Gestaltung AR-basierter Informations- beziehungsweise Instruktionsdarstellungen sowie eine grundsätzliche Systemarchitektur zur Implementierung AR-basierter Lehr-Lern-Anwendungen im Umfeld der manuellen Montage erläutert.

Gestaltungsrelevante Aspekte und Akzeleratoren

Bei der Integration einer Augmented Reality Anwendung in Lehr-Lern-Szenarien wirken ergänzend spezifische Erkenntnisse aus Untersuchungen zu multimodalen Lernumgebungen zur Gestaltung AR-basierter Ansätze im Umfeld der industriellen Montage (vgl. Webel 2011, S. 55 ff.). Gopher (2012) formuliert im Kontext multimodaler Lernumgebungen *gestaltungsrelevante Aspekte und Variablen*, die u.a. die Potentiale von Augmented Reality in Lernprozessen betonen und den Lernprozess unterstützen (vgl. Gopher 2012, S. 2285 f.):

- (1) Die Lern-Aufgabe selbst (Ziel) sowie die Merkmale einer erfolgreichen Aufgabenbewältigung (Zielerreichung) sollten eindeutig definiert sein.
- (2) Die abgebildeten Aufgaben sollten in ihrer Variabilität und Komplexität repräsentativ für die spätere Anwendung sein.
- (3) Es sollten Kriterien zur Beurteilung der Leistung und des Leistungsfortschritts der Lernenden bezüglich der Aufgabenerfüllung definiert werden.
- (4) Den Lernenden werden Rückmeldungen zur eigenen Aufgabenbewältigung angeboten. Zudem sollten Darstellungsart sowie Frequenz der Rückmeldungen festgelegt werden.
- (5) Die Relevanz der abgebildeten Aufgabe und der Lernerfahrung bezüglich der realen operativen Aufgabe sollte sichergestellt werden. Augmented Reality ermöglicht als Technologie einen Einsatz in realitätsnahen Umgebungen (on-the-job), unterstützt den Transfer auf die operative Aufgabe und kann somit die Relevanz des Lernvorgangs erhöhen.

Die Umsetzung der Aspekte (2) und (4) kann dabei durch *Akzeleratoren („accelerators“) und Schulungsprotokolle („training protocols“)* unterstützt werden (vgl. Gopher 2012, S. 2285). Akzeleratoren stehen für *Variablen*, die das Lernen unterstützen, erleichtern und verbessern sollen. Schulungsprotokolle dienen u.a. der Beschreibung der Aufgabe, der verschiedenen Szenarien, der Aufgabenkomplexität sowie der dazugehörigen Darstellungsreihenfolge. Das Konzept der Akzeleratoren wird an dieser Stelle detaillierter dargestellt und eingeführt.

Im Allgemeinen dienen Akzeleratoren der Definition und der Bewertung, inwieweit **Technologien zur Verbesserung eines Lehr-Lern-Szenarios beitragen**. Der Einsatz der Akzeleratoren soll bewirken, dass Nutzende ihre Fähigkeiten optimal einsetzen, die Aufgabenleistung steigt und die Effizienz der Schulungsmaßnahme erhöht wird.

Akzeleratoren beschreiben mehrere Modalitäten und lassen sich im Kontext der Anwendung innerhalb multimodaler Lernumgebungen in verschiedene Kategorien einordnen (vgl. Webel 2011, S. 61 ff.):

- **Augmentierung:** Akzeleratoren dieser Kategorie verbessern den Lernvorgang durch die Bereitstellung zusätzlicher, realitätserweiternder Informationen. Ergänzende Informationen liefern in diesem Zusammenhang Rückmeldungen (*Feedback*) zur Ausführung bzw. Leistung

(*Verlaufsfeedback*) sowie zum Fortschritt der Nutzenden. Die Informationen zur *Leistungsrückmeldung* werden häufig visuell bzw. numerisch dargestellt (Bsp. Fortschrittsbalken). Informationen, die bereitgestellt werden, um die Ausführungen der Nutzenden zu korrigieren (*korrigierende Rückmeldungen*) werden meist durch haptische, akustische oder visuelle Ergänzungen abgebildet. Greifen Nutzende beispielsweise ein falsches Werkzeug ertönt ein Warnton oder sie werden visuell darauf hingewiesen, dass sich ihre Hände nicht im vorgesehenen Handlungsbereich befinden (Bsp.: *Hand-Tracking*). Ergänzende instruktive Informationen werden eingesetzt, um Nutzende bei der Zielerreichung der Aufgabe zu unterstützen. Es werden Informationen zur Aufgabenausführung (*Wie*) ergänzt oder besonders relevante Objekte betont (*Beschleunigung durch Anleitung*). Zudem kann der Lernvorgang verbessert werden, indem Informationen, welche in der realen Umgebung nicht sichtbar sind, visualisiert werden (*Beschleunigung durch Anreicherung*). Es werden zum Beispiel relevante Objekte virtuell nachgebildet, die in der Realität verdeckt sind oder durch ein überlagerndes 3D-Modell einen Zielzustand ergänzen.

- **Variabilität:** Variabilitätsbeschleuniger bilden verschiedene Lernbedingungen im gesamten Lernprogramm ab. Es werden beispielsweise unterschiedliche Anweisungs-Visualisierungen oder Fehlerbedingungen eingesetzt, damit Lernende sich anpassen und auf Veränderungen reagieren müssen. Dadurch soll der Erwerb von robusten und flexibel verfügbaren Fähigkeiten unterstützt werden.
- **Vereinfachung:** Dieser Akzelerator beschreibt Vereinfachungen bezüglich der Lern-Aufgabe (*Vereinfachung der Aufgabe*), der unmittelbaren Folgen von Handlungen (*Vereinfachung der Folgen einer Handlung*) sowie der Lern-Umgebung. Vereinfachungen in diesem Bereich könnten beispielsweise durch die Kompensation von Fehlern oder durch Betonung einzelner Handlungsschritte während der Aufgabenerfüllung abgebildet werden. Vereinfachungen bezüglich der Umgebung werden insbesondere durch den Einsatz von Virtual Reality Anwendungen realisiert (z.B.: Verringerung der Schwerkraft, Verringerung der Simulationsgeschwindigkeit). Vereinfachungsbeschleuniger sind besonders in frühen Lernphasen wirksam.

Bezogen auf die Konzeption einer Augmented Reality-basierten Lehr-Lern-Anwendung unterstützen Akzeleratoren bei der Auswahl der Technologien, welche zur Optimierung der Lernzeit sowie der Leistung der Lernenden eingesetzt werden. Zudem beschreiben Akzeleratoren neben den Schulungsprotokollen und der Übertragbarkeit der Schulungsstudien einen grundlegenden Bewertungsgegenstand von Schulungsplattformen (vgl. Gopher 2012, S. 2287).

Bei der Implementierung der Akzeleratoren sollte stets (1) die Relevanz der dargestellten Informationen für den Lernvorgang sowie (2) der Beitrag zur Lernverbesserung bei gleichzeitiger Unabhängigkeit hinsichtlich der zur Verfügung gestellten Informationen berücksichtigt und analysiert werden. Des Weiteren sollte sichergestellt werden, dass bereitgestellte Informationen sich in den Lernprozess integrieren, ohne die Lernenden von ihrer Aufgabe abzulenken (vgl. Gopher 2012, S. 2287).

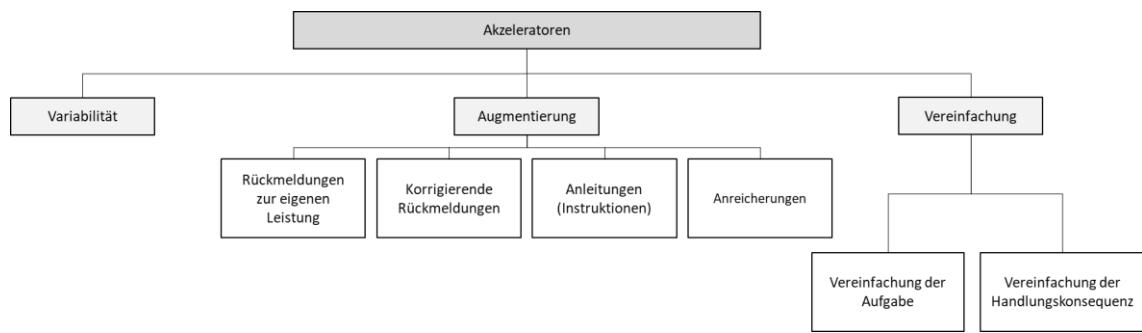


Abbildung 2.2.2-13: Übersicht der Akzeleratoren
(Darstellung nach Webel 2011, S. 62)

Visualisierung von Informationen

Visualisierte Informationen sollen Lernende im Lernprozess unterstützen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass „starke“ visuelle Hilfsmittel die gewünschte aktive Erkundung der Lernenden hemmen können. Dementsprechend sollte die Ausprägung visueller Informationen geprüft sowie die Möglichkeit zur Informationsreduzierung durch die Lernenden integriert werden (vgl. Webel et al. 2011, S. 128).

Bereitgestellte Informationen sollten leicht erkennbar und ohne erhöhten Navigationsaufwand auffindbar sein. Durch Augmented Reality können die darzustellenden Informationen an der Blickrichtung der Nutzenden ausgerichtet werden (parallel zur Betrachtungsebene). Dadurch verbleiben virtuelle Objekte und Informationen selbst bei Bewegungen oder Veränderung der Perspektive im Blickfeld der Nutzenden. Durch diese Art der Darstellung werden Lernende weniger in ihrem natürlichen Verhalten eingeschränkt und der Transfer der Lerninhalte auf die reale Welt unterstützt. Angezeigte virtuelle Elemente wirken häufig unterstützend oder verstärkend und sollten nicht die gesamte Darstellung (Bsp.: Bildschirmanzeige) einnehmen. Wird beabsichtigt mehrere Elemente gleichzeitig anzuzeigen, empfiehlt es sich abhängig von der akuten Relevanz, die Transparenz der jeweiligen Elemente anzupassen.

Im Kontext der Konzeption AR-basierter Schulungsanwendungen lässt sich die *Zeiger-Inhalts-Metapher* (*content-pointer metaphor*) auf die Darstellung virtueller Objekte übertragen (vgl. Webel 2011, S. 68 ff.; Webel et al. 2011, S. 127 ff.). Das damit verbundene Konzept der *Adaptive Visual Aid* (AVA) beschreibt ein System zur multimedialen Informationsdarstellung in einem 2D-Bild, in dem verschiedene Datenobjekte (Bsp.: Text, Bilder, Videos) integriert werden. Dabei wird zwischen einer *Zeigerkomponente* (*Pointer, trackingabhängig*) und einem optionalen *Inhaltselement* (*Content, trackingunabhängig*) unterschieden. Die Zeigerkomponente kann beispielsweise durch 3D-Animation eine relevante Fläche oder einen relevanten Ort hervorheben. Das Inhalts-element erweitert die Zeigerkomponente um weitere Informationen, die optional in Form verschiedener Medienformate abgerufen werden können. Abhängig von der gewünschten Intensität der Anleitung der Nutzenden kann der Umfang dieser zusätzlich bereitgestellten Informationen variieren. Zudem sollte es ebenso möglich sein, die Sichtbarkeit der Inhaltselemente an den akuten Informationsbedarf der Nutzenden anzupassen. Die Auswahl der Medieninhalte, die als Inhaltselemente hinterlegt werden, richtet sich nach der zugrundeliegenden Tätigkeit. Eine vergleichsweise einfache Tätigkeit (Bsp.: Anweisung zum Lösen einer

Steckverbindung) kann häufig durch eine kurze Videosequenz effizienter vermittelt werden als durch eine komplexe 3D-Animation.

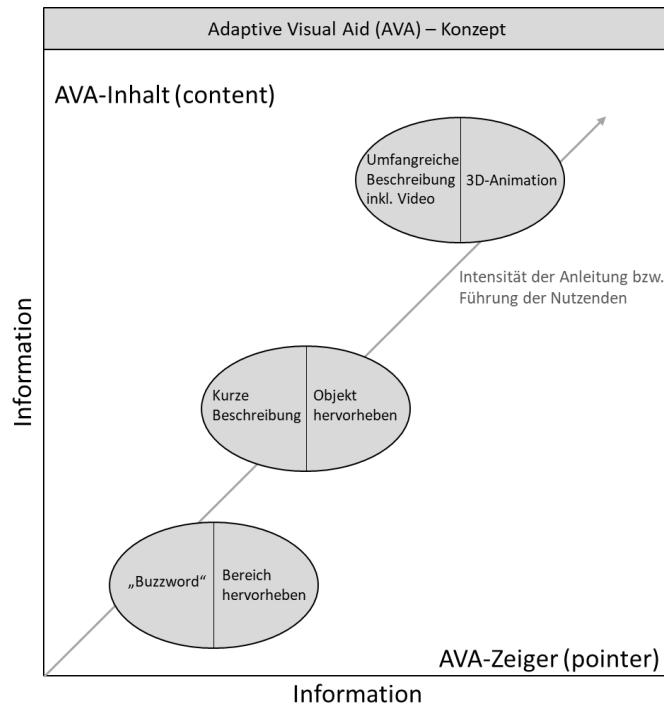


Abbildung 2.2.2-14: AVA-Informations-Kontinuum
(Darstellung nach Webel 2011, S. 70)

Zusammenfassend wird festgehalten, dass das Konzept der adaptiven visuellen Hilfen (AVA) eine Instruktionsdarstellung unterstützt, die verschiedene Informationen und Intensitäten der Anleitung abbildet. Es können verschiedene Medienarten wie Bilder und Videos sowie bereits vorhandenes Schulungsmaterial integriert werden, wodurch die Erstellung der Inhalte erleichtert wird. Nach diesem Konzept ist es nicht in jedem Fall notwendig aufwendigere 3D-Modelle oder Animation zu erstellen. Darüber hinaus erweist sich die Implementierung des Konzepts der adaptiven visuellen Hilfen als besonders vorteilhaft in Situationen, in denen eine sehr genaue Objekterfassung nicht realisierbar ist. Die präzise Erfassung von Objekten stellt häufig eine große Herausforderung für konventionelle Augmented-Reality-Anwendungen dar.



Abbildung 2.2.2-15: Anwendungsbeispiel des AVA-Konzeptes
(Ergänzte Darstellung, Bildquelle: ©Fraunhofer IGD - AR-Anwendung mit Tracking-Technologie „VisionLib“)

Um den Aufbau eines inneren mentalen Modells einer zu erlernenden Tätigkeit zu unterstützen, (vgl. Kapitel 2.1.2.2) wird empfohlen, visuelle Informationen sowohl zur aktuellen Ausführung als auch zur Einordnung in die Gesamtstruktur einer Aufgabe (vgl. Kapitel 2.1.2.1) darzustellen. Diese Informationen werden häufig durch Fortschrittsbalken realisiert. Den Lernenden fällt es durch dieses Element leichter, eine Beziehung zwischen dem aktuellen Status und der Gesamtstruktur der Aufgabe zu erkennen (vgl. Webel et al. 2011, S. 128 f.).

Komponenten einer AR-basierten Lernumgebung

Anlehnend an die Komponenten einer multimedialen Lernumgebung (Kapitel 2.1.4.2) lassen sich spezifische Komponenten AR-gestützter multimedialer Lernumgebungen definieren (vgl. Webel 2011, S. 72 ff.):

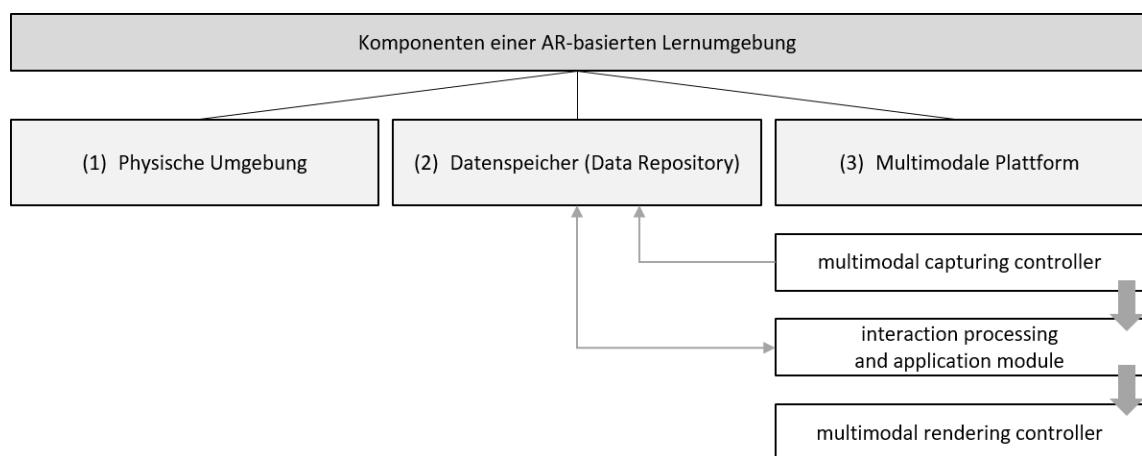


Abbildung 2.2.2-16: Architektur einer AR-basierten Schulungsplattform
(Darstellung in Anlehnung an Webel 2011, S. 73 f.)

Physische Umgebung: Umfasst alle physischen Objekte (Bsp.: Werkzeuge, Bauteile) sowie alle realen Umgebungsbedingungen (Bsp.: Beleuchtung) der zugrundenliegenden Aufgabe. Zudem werden Schnittstellen zur Lernanwendung abgebildet (Bsp.: Display, HMI).

Datenspeicher (Data Repository): Hier werden spezifische Daten der Nutzenden sowie Ablaufbeschreibungen, Schulungsmaterialien, Schulungsprotokolle und Vorlagen zur Rückmeldefunktionen hinterlegt. Zudem werden hier Daten hinterlegt, die das Verhalten einer geübten Person bzw. die Aufgabendurchführung durch Lehrende abbilden.

Multimodale Schulungsplattform: Auf dieser Ebene werden Daten erfasst, anschließend verarbeitet sowie Instruktionen und Rückmeldungen für Nutzende generiert. Hierzu greift die Plattform auf den Datenspeicher zu und nutzt Schnittstellen (Bsp.: Display, HMI) um die Verbindung zur physischen Schulungsumgebung herzustellen. Um die genannten Funktionen abzubilden, nutzt die multimodale Schulungsplattform *drei Hauptkomponenten*:

- (1) *Multimodal Capturing Controller:* Der Controller realisiert den Zugriff auf alle Geräte (Bsp.: Kameras, Sensoren) zur Erfassung von Daten (Bsp.: Hand- und Eye-Tracking Daten). Zudem findet an dieser Stelle die Datenvorverarbeitung (Preprocessing) für das Interaktionsverarbeitungs- und Anwendungsmodul (Interaction processing and application module) statt.

Der Controller greift ebenso auf das Data Repository zu, um insbesondere die Wiederverwertung von Referenzdaten der Lehrenden sicherzustellen.

- (2) *Interaction processing and application module (IPA):* Dieses Modul erstellt, basierend auf den Repository-Daten (Bsp.: 3D-Modelle) und der Daten des Capturing Controllers, Augmented Reality Inhalte (Overlays), welche mit Bezug zum aktuellen Lernfortschritt an den Rendering Controller übermittelt werden. Das Modul ist folglich mit allen Plattformkomponenten verbunden, verarbeitet Eingaben der Nutzenden und bildet die Anwendungs- bzw. Ablauflogik der Plattform ab.
- (3) *Multimodal Rendering Controller:* Der Rendering Controller verarbeitet die visuellen, akustischen und haptischen Daten des IPA-Moduls (*Rendering*). Der Controller enthält alle notwendigen Schnittstellen und Konfigurationsmöglichkeiten, die für den Zugriff auf die Rendering-Systeme und auf die Geräte der Plattform notwendig sind. Nachdem die Daten an das entsprechende Rendering-System übermittelt und dort verarbeitet wurden (visuelles, akustisches und haptisches Rendering), erfolgt die Präsentation gegenüber den Nutzenden durch entsprechende Anzeigegeräte.

Die dargestellte AR-spezifische Systemarchitektur beschreibt in Verbindung mit den Ansätzen multimedialer Lernplattformen (Kapitel 2.1.4.2) grundlegende Voraussetzungen für die Implementierung von AR-basierten Lehr-Lern-Anwendungen. Sowohl die dargestellten Systemkomponenten als auch einzelne inhaltlich-gestalterische Aspekte werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit bei der Konzeption sowie bei der Implementierung einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung einbezogen.

3 Entwicklung eines AR-gestützten Montagetrainings

Zur Realisierung der empirischen Untersuchungen wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Augmented Reality-gestütztes Montagetraining abgebildet. Diese Phase des Forschungsvorhabens beschreibt die Konzeption und die anschließende Implementierung eines industriellen Arbeitssystems sowie einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung. Hierbei bilden die dargestellten theoretischen Grundlagen des Lernens und Lehrens (vgl. Kapitel 2.1) sowie die spezifischen Merkmale einer manuellen Montage als Lernumgebung (vgl. Kapitel 2.2.1) den Bezugsrahmen für die Abbildung eines praxisnahen Szenarios des arbeitsplatznahen Lernens. Abgebildete Arbeits- bzw. Lerninhalte, Abläufe, Vorgaben und Zielgruppenmerkmale orientieren sich an der betrieblichen Praxis des Lehrens und Lernens im Umfeld der manuellen Serienmontage.

3.1 Konzeption

In diesem Kapitel wird die Konzeption eines industriellen Arbeitssystems und einer Augmented Reality-basierten Anwendung zur Vermittlung berufsmotorischer Fertigkeiten dargestellt. Zur Realisierung der Kontrollgruppenuntersuchung sowie der weitestgehend personenunabhängigen Lernerfolgskontrolle werden entsprechende Konzepte zur Abbildung gängiger Systeme der industriellen Serienmontage (Kontrollmedium) und eines Mediums zur Unterstützung der Lernerfolgskontrolle abgebildet.

3.1.1 Konzeption eines Arbeitssystems der manuellen Montage

Zur Konzeption eines Arbeitssystems (vgl. Hammer 1997, S. 38) der manuellen Montage werden Anforderungen sowie gestaltungsbezogene Konventionen definiert. Hierbei werden alle Komponenten eines Arbeitssystems (Arbeitsplatz, Arbeitsperson, Arbeitsmittel, Arbeitsaufgabe und Arbeitsablauf) einzeln betrachtet und hinsichtlich ihrer untersuchungsspezifischen Konzeption erläutert.

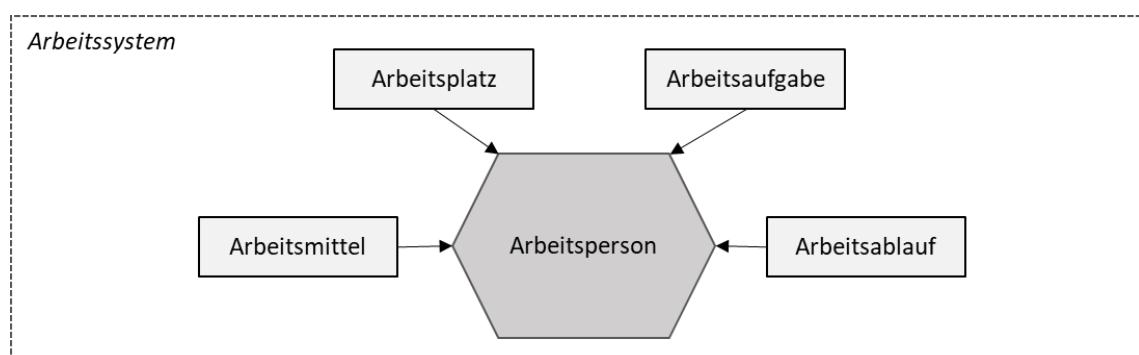


Abbildung 3.1.1-1: Komponenten eines Arbeitssystems
(Darstellung in Anlehnung an REFA 2021, S. 1 und Reinhart et al. 2017, S. 52)

3.1.1.1 Arbeitsplatz

Ein Arbeitsplatz innerhalb eines Arbeitssystems beschreibt jenen räumlichen Bereich, der einer Person oder einer Personengruppe zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe zur Verfügung gestellt wird (vgl. Hammer 1997, S. 34; DIN V ENV 26385). Im Hinblick auf die Konzeption und Darstellung eines Arbeitsplatzes der manuellen Montage werden zunächst Anforderungen sowie Inhalte bzw. Komponenten definiert, die es bei der technischen Umsetzung im Rahmen der empirischen Untersuchungen zu berücksichtigen gilt.

Anforderungen

Es soll ein Montagearbeitsplatz dargestellt werden, der sich in seinem Aufbau und der Anordnung aller benötigter Arbeitsmittel sowie Werkstücke am Industriestandard orientiert. Somit werden ergonomische Vorgaben wie beispielsweise Arbeitshöhen und Greifräume berücksichtigt. Als Referenz dienen Standardmaße eines Sitz-Steharbeitsplatzes der manuellen Montage von Kleingeräten (vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 129 ff.).

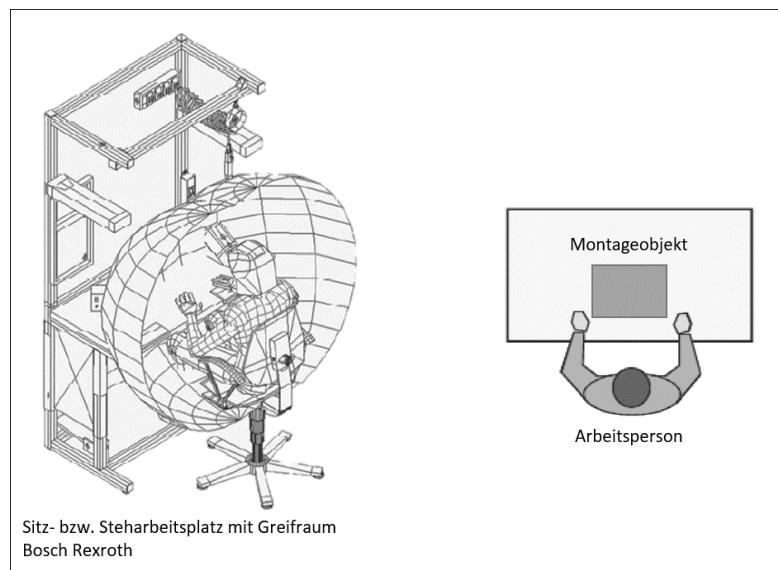


Abbildung 3.1.1-2: Schematische Darstellung eines Montagearbeitsplatzes
(Kombinierte Darstellung aus Lotter und Wiendahl 2006, S. 103 und S. 130)

Als wesentliche Merkmale der Gestaltung werden die Arbeitshöhe, der Greifbereich, die Körperhaltung bzw. Körperbewegung, die Belichtung sowie die Bereitstellung von Einzelteilen definiert. Demnach werden Füge- und Greifvorgänge über Herzhöhe vermieden, da sonst durch eine Störung der Blutzirkulation Leistungsminderungen der Mitarbeitenden eintreten können. Die Arbeitsflächenhöhe liegt innerhalb der Vorgaben (900 – 1080 Millimeter). Eine Blicklinie von ca. 15 Grad (Neigung des Kopfes gegen die Senkrechte) soll ein bequemes Stehen bei einer entspannten Sehachse der Arbeitsperson ermöglichen (vgl. Strasser 1993). Der Fügebereich befindet sich im optimalen Blickwinkelbereich (15 Grad nach rechts, 15 Grad nach links). Der Greifbereich liegt innerhalb eines horizontalen Blickwinkelbereichs zwischen 35 Grad nach links und 35 Grad nach rechts. Durch diese Anordnung werden Sekundäraufwände durch Kopf- und Kör-

perdrehungen vermieden. Teilhandhabungen, die zusätzliche oder potentiell gesundheitsschädliche Körperbewegungen erfordern (Bsp.: Beugen, Aufrichten, Gehen), werden ebenfalls reduziert. Die Bereitstellung der Einzelteile erfolgt über entsprechende Behälter innerhalb der Greifbereiche. Der Montagearbeitsplatz verfügt über eine schattenfreie Beleuchtung mit einer ausreichenden Lichtintensität (Standardlichtintensität: 500 Lux).

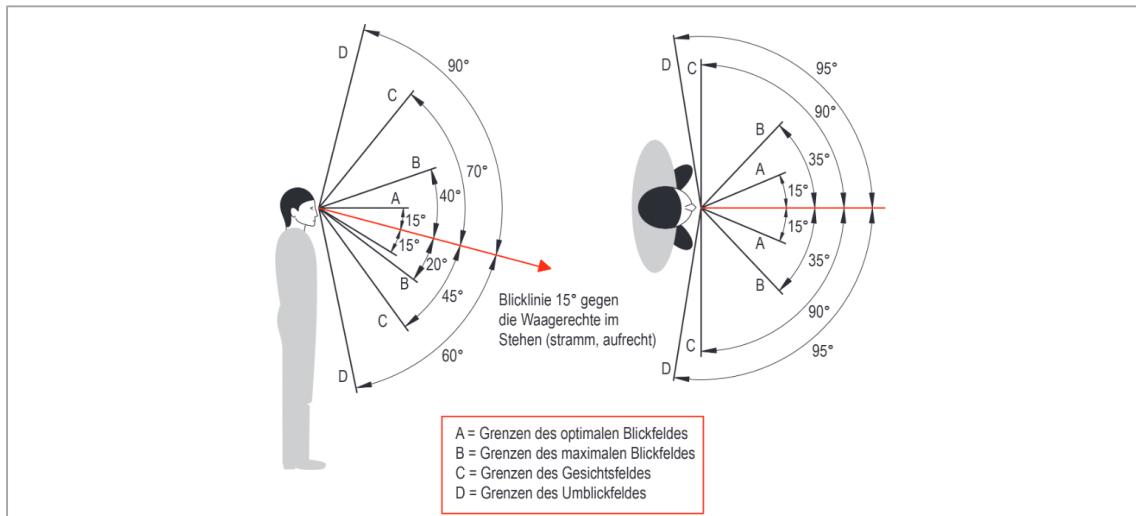


Abbildung 3.1.1-3: Horizontale und vertikale Bereiche des Blick- bzw. Gesichtsfeldes (vgl. Schmauder und Spanner-Ulmer 2022, S. 131 in Anlehnung an Strasser 1993)

Der horizontale Greifbereich lässt sich zusätzlich hinsichtlich begünstigter Bewegungsabläufe in drei Zonen gliedern (vgl. Abb. 3.1.1-4). In der *Beidhandzone* (Zone 1) findet die Montagearbeit statt. Diese Zone bildet das Arbeitszentrum. Beide Hände der Arbeitsperson befinden sich im Blickfeld und können alle Orte der Zone erreichen. Die *Einhandzone* (Zone 2) beschreibt jenen Greifbereich, indem Gegenstände positioniert werden, die einhändig bedient oder gegriffen werden können. Bis zur Grenze der *erweiterte Einhandzone* (Zone 3) können Greifbehälter genutzt werden. Diese Zone stellt die äußerste Position des Greifbereichs dar, der von der Arbeitsperson genutzt werden kann (vgl. Schmauder und Spanner-Ulmer 2022, S. 121). Die Anordnung aller Elemente des darzustellenden Arbeitsplatzes der manuellen Montage orientiert sich an diesen Merkmalen zur ergonomischen Gestaltung der Greiffläche.

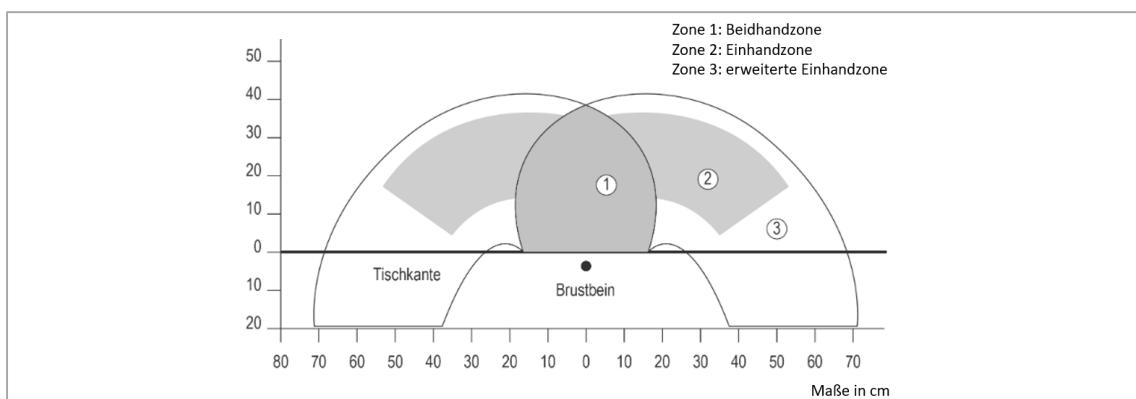


Abbildung 3.1.1-4: Zonen der Greiffläche
 (Ergänzte Darstellung aus Schmauder und Spanner-Ulmer 2022, S. 121)

Gestaltungskonventionen

Neben der Darstellung eines Montagearbeitsplatzes, der sich an den Gestaltungsmerkmalen und Vorgaben des Industriestandards orientiert, werden charakteristische Komponenten bzw. Arbeitsmittel der manuellen Montage eingesetzt. Das Montageobjekt entspricht einem Objekt der manuellen Serienmontage und ermöglicht das Abbilden charakteristischer Montage- bzw. Fügevorgänge. Entsprechend der abgebildeten Montagevorgänge werden benötigte Werkzeuge, Montageelemente (Bsp.: Bauteile, Schrauben) sowie Greifbehälter in den Aufbau des Montagearbeitsplatzes integriert. Maßnahmen zur Ausleuchtung des Montagebereiches werden in den Versuchsaufbau aufgenommen. Zusätzlich wird bei der Verwendung eines Assistenzsystems eine Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) in den Aufbau des Arbeitsplatzes integriert. Erfolgt die Realisierung der HMI beispielsweise über einen Monitor werden die Vorgaben zur ergonomischen Anordnung innerhalb des Arbeitssystems bzw. innerhalb des Sichtfeldes der Nutzenden berücksichtigt (vgl. Abb. 3.1.1-3: optimales und maximales Blickfeld bzw. visuelle Funktionsräume).

Die dargestellten Komponenten des Montagearbeitsplatzes werden in den folgenden Kapiteln hinsichtlich der Konzeption sowie der Umsetzung weiterführend erläutert und definiert.

Gestaltungskonventionen der Arbeitsplatzgestaltung:

- Montagearbeitsplatz bzw. Arbeitsvorrichtung inkl. Beleuchtungseinheit
- Montageobjekt der manuellen Serienmontage
- Werkstücke, Montageelemente inkl. Greifbehälter (Kleinladungsträger – KLT)
- Werkzeuge zur Realisierung der Fügevorgänge
- Schnittstelle zum Assistenzsystem bzw. zur Lehr-Lern-Anwendung

3.1.1.2 Arbeitsperson

Arbeitspersonen setzen ihre individuellen körperlichen und geistigen Kräfte im Kontext der Arbeitstätigkeit zur Erreichung eines wirtschaftlichen Ziels ein. Hinsichtlich ihrer Qualifikation zur Ausübung der geforderten Arbeitstätigkeiten lassen sich im betrieblichen Umfeld *gelernte* (Fachkräfte mit beruflicher Ausbildung), *angelernte* (kurze Ausbildungszeit zur Ausführung einer speziellen Tätigkeit) und *ungelernte* (keine berufliche Ausbildung, Ausführung einfacher Tätigkeiten) Arbeitspersonen voneinander differenzieren (vgl. Hammer 1997, S. 18).

Anforderungen

Im Hinblick auf den definierten Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit, die Untersuchung eines definierten Szenarios zur arbeitsplatznahen Qualifizierung in der manuellen Montage, soll der Lerngegenstand bzw. die zu erlernende Arbeitstätigkeit den Mitarbeitenden gänzlich unbekannt sein. Daher werden ausschließlich ungelernte und gelernte Mitarbeitende als Arbeitspersonen definiert. Diese Gruppe der Arbeitspersonen wird auch als *formal Nicht- bzw. Unqualifizierte*

bezeichnet (vgl. Goppold und Frenz 2020, S. 101). Entsprechend der realen Gegebenheiten eines industriellen, manuellen Montagebereiches bilden die Arbeitspersonen hinsichtlich ihrer soziodemografischen Merkmale sowie ihrer Kompetenzprofile eine *heterogene Zielgruppe* ab (vgl. Gerschner et al. 2017). Das Untersuchungsdesign, die Messinstrumente sowie die Methodik ermöglichen die Erfassung personaler Einflussgrößen und individueller Eigenschaften der Lernenden (vgl. Kapitel 4.4). Dabei werden sowohl allgemeine personale Einflussgrößen der Arbeitsperson auf das Arbeitssystem als auch spezifische personale Einflussgrößen in Bezug auf das multimediale Lernen berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.1.4.4 und 2.2.1.2).

Gestaltungskonventionen

Abgeleitet aus den definierten Anforderungen bezüglich der Arbeitsperson werden die zu realisierenden Komponenten des Arbeitssystems definiert.

Gestaltungskonventionen der Arbeitsperson:

- Die zu erlernende Arbeitstätigkeit ist der Arbeitsperson unbekannt
- Die Arbeitspersonen bilden ungelernte und gelernte (formal nicht qualifizierte) Mitarbeitende ab
- Die Arbeitspersonen entsprechen einer heterogenen Belegschaft der industriellen Montage
- Das Forschungsdesign ermöglicht die Erfassung personaler Einflussgrößen der Arbeitsperson

3.1.1.3 Arbeitsmittel

Der Begriff der Arbeitsmittel umfasst als Komponente eines Arbeitssystems alle Gegenstände (Bsp.: Werkzeuge, Maschinen, Geräte), die bei der Erfüllung der Arbeitsaufgabe durch die Arbeitsperson genutzt werden (vgl. Hammer 1997, S. 32 f.; DIN V ENV 26385).

Anforderungen

Entsprechend den realen Anforderungen der manuellen Montage bzw. des Forschungsfeldes werden Arbeitsmittel unterschiedlicher Art und Ausprägung abgebildet. Als charakteristische Arbeitsmittel der manuellen Montage werden Anforderungen bezüglich der eingesetzten Werkzeuge, der Montageelemente (Anbauteile, Fügeelemente) sowie eine HMI-Schnittstelle zur Montageinformation bzw. -assistenz definiert. Es werden sowohl Handwerkzeuge (Bedienung durch Hand- bzw. Muskelkraft) als auch Elektrowerkzeuge eingesetzt. Unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Arbeitssicherheit werden Arbeitshandschuhe und Gehörschutz am Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt. Die verwendeten Anbauteile unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Bauteilgeometrie und ermöglichen das Abbilden zusätzlicher Fügevorgänge (Bsp.: Zusammensetzen, An- und Einpressen). Fügeelemente wie beispielsweise Schrauben werden ebenfalls in unterschiedlichen Ausführungen bereitgestellt. Ein Assistenzsystem unterstützt die Arbeitsperson durch Informationen und Hinweise bei der Montagetätigkeit.

Gestaltungskonventionen

Aus den definierten Anforderungen und mit engem Bezug zu den Merkmalen der Arbeitsaufgabe (Kapitel 3.1.1.3) lassen sich zusammenfassend die darzustellenden Arbeitsmittel des Montagearbeitsplatzes festhalten.

Gestaltungskonventionen der Arbeitsmittel:

- Werkzeuge: Darstellung von Hand- und Elektrowerkzeugen
- Anbauteile: verschiedene Bauteilgeometrien und Abbildung verschiedener Fügevorgänge
- Fügeelemente: Abbildung verschiedener Größen und Geometrien (Bsp.: Maße der Schrauben)
- Assistenzsystem bzw. Lehr-Lern-Anwendung: System zur Unterstützung der Arbeitsperson
- Weitere Hilfsmittel: Arbeitshandschuhe und Gehörschutz

3.1.1.4 Arbeitsaufgabe

Arbeitsaufgaben werden am Arbeitsplatz bewältigt und beschreiben die Transformation von einem definierten Ausgangszustand zu einem erwarteten Zielzustand. Dabei werden von der Arbeitsperson Arbeitsmittel eingesetzt und eine Reihe von Operationen bzw. Arbeitsschritte unter Einhaltung bestimmter Bewertungskriterien (Standards) ausgeführt (vgl. Hammer 1997, S. 21 verweist auf Greif 1994).

Anforderungen

Die Arbeitsaufgabe bildet gängige, manuelle Tätigkeiten (Funktionen) eines Montagearbeitsplatzes ab. Fügevorgänge wie Zusammensetzen oder An- und Einpressen (Bsp.: Schrauben) beschreiben häufig angewandte Verfahren der manuellen Montage.

Fügen DIN 8593	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusammensetzen ▪ Anpressen und Einpressen ▪ Fügen durch Umformen ▪ Fügen durch Löten ▪ textiles Fügen ▪ Füllen ▪ Fügen durch Urformen ▪ Fügen durch Schweißen ▪ Kleben
--------------------------	--

Abbildung 3.1.1-5: Fügevorgänge
(vgl. Lotter und Wiendahl 2012, S. 2)

Die Arbeitsaufgabe beinhaltet verschiedene Fügevorgänge bei variierender Komplexität. Die Aufgabe umfasst mehrere Teilaufgaben bzw. Arbeitsschritte, die sequenziell nach einer vorgegebenen Reihenfolge durchgeführt werden. Dem Konzept einer Serienmontage folgend werden Nebentätigkeiten der Arbeitsperson möglichst reduziert sowie Bewertungskriterien der Tätigkeitsausführung und des Montageresultats definiert.

Gestaltungskonventionen

Es wird eine Arbeitsaufgabe der manuellen Serienmontage abgebildet, die in einzelne sequenzielle Arbeitsschritte unterteilt ist und die Durchführung charakteristischer Fügeverfahren ermöglicht. Zudem bestehen definierte Bewertungskriterien bezüglich der Tätigkeitsausführung. Folglich lassen sich einzelne Gestaltungsgegenstände bzw. Konventionen ableiten.

Gestaltungskonventionen der Arbeitsaufgabe:

- Manuelles Montieren von Bauteilen bzw. Montageelementen
- Die Montageaufgabe besteht aus mehreren Arbeitsschritten bei variierender Komplexität
- Es werden charakteristische Fügevorgänge der manuellen Serienmontage abgebildet
- Es werden gängige Bewertungskriterien definiert (Bsp.: Qualitätsmerkmale, Ausführungszeit)

3.1.1.5 Arbeitsablauf

Ein Arbeitsablauf ist durch die Abfolge (räumlich und zeitlich) des Zusammenwirkens der Komponenten eines Arbeitssystems (Arbeitsperson, Arbeitsmittel, Arbeitsaufgabe bzw. Arbeitsgegenstand, Arbeitsplatz) innerhalb des Systems gekennzeichnet (vgl. Hammer 1997, S. 19). Als Teil des abzubildenden (Montage-) Arbeitssystems werden an dieser Stelle, analog zu den vorhergehenden Kapiteln, Anforderungen und Konventionen bezüglich des Arbeitsablaufs festgelegt.

Anforderungen

Die Anforderungen an die Konzeption des Arbeitsablaufs orientieren sich an den Merkmalen einer Serien- bzw. Fließfertigung (vgl. Kapitel 2.2.1.1). Dabei wird der Arbeitsplatz einer Linien-Montage (Strukturform des Montagesystems) abgebildet. Die Montage ist demnach auf mehrere Arbeitsplätze verteilt und das Montageobjekt bzw. Basisteil fließt durch die Linie (Fließfertigung). Es erfolgt die schrittweise Montage konstruktionsgleicher Produkte oder Baugruppen unter Einhaltung der Taktzeit als zeitliche Vorgabe der Arbeitsausführung.

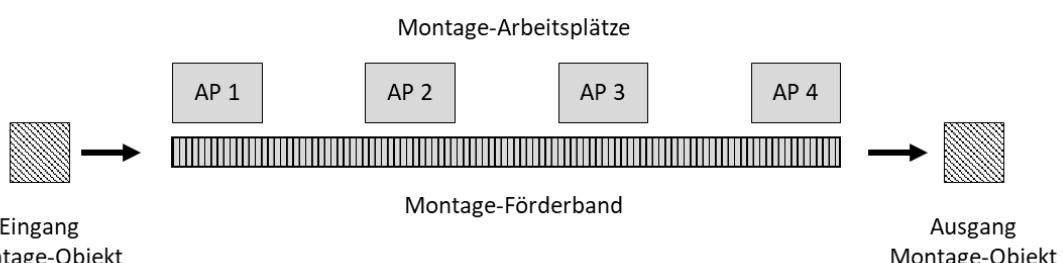


Abbildung 3.1.1-6: Prinzip einer Linien-Montage
(Darstellung in Anlehnung an Lotter und Wiendahl 2006, S. 102)

Gestaltungskonventionen

Aus den angeführten Anforderungen werden die Gestaltungelemente zur Abbildung eines Arbeitsablaufs definiert.

Gestaltungskonventionen des Arbeitsablaufs:

- Der Arbeitsplatz bildet einen Teil einer Abfolge mehrerer Arbeitsplätze ab (Linien-Montage)
- Das Montageobjekt erreicht und verlässt den Arbeitsplatz in einem definierten Zustand
- Für die Ausführung der Arbeitsschritte existieren zeitliche Referenzen

3.1.2 Konzeption einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung

Die Konzeption der AR-basierten Anwendung beinhaltet neben der Bestimmung relevanter Gestaltungskriterien die Definition abzubildender Funktionalitäten im Lernprozess sowie die lernförderliche Integration virtueller, realitätserweiternder Elemente.

3.1.2.1 Gestaltungskriterien und Anforderungen

Bei der Gestaltung der AR-basierten Anwendung werden allgemeingültige Vorgehensweisen (vgl. Kapitel 2.1.4.1) sowie betont medienbezogene Aspekte (vgl. Kapitel 2.1.4.2) der betrieblichen Unterweisungsplanung und -durchführung angewandt. Entsprechend der Aktivitäten zur Unterweisungsvorbereitung (Bsp.: Arbeitszergliederung, Tätigkeitsanalyse, Untergliederung in einzelne Teile) wird die abzubildende Arbeitstätigkeit analysiert und beschrieben. Des Weiteren werden bestehende Ansätze und Erkenntnisse aus einzelnen Untersuchungen zu Augmented Reality-basierten Lern- bzw. Assistenzsystemen in die hier dargestellte Konzeption integriert (vgl. Kapitel 2.2.2.2 sowie Kapitel 2.2.2.3).

Arbeitsaufgabe

Die Arbeitsaufgabe der manuellen Serienmontage wird in einzelne Arbeitsschritte (Teilvorgänge) zergliedert. Zu jedem Arbeitsschritt erfolgt eine Arbeitsbeschreibung, eine Beschreibung der Bewegungsabläufe sowie eine Analyse der relevanten Sinneswahrnehmungen. Qualitätskriterien, Merkmale einer erfolgreichen Aufgabenbewältigung sowie Zwischen- bzw. Endzustände der Montageobjekte werden definiert und für die Integration in die AR-basierte Lehr-Lern-Anwendung vorbereitet. Zudem werden Kriterien bestimmt, die eine Leistungsbeurteilung der Lernenden ermöglichen. Es besteht eine Relevanz zwischen der abgebildeten Aufgabe bzw. der Lernerfahrung und der realen Arbeitsaufgabe sowie der realen Arbeitsumgebung.

Schulungsplattform

Ausgehend von der Annahme, dass die AR-basierte Anwendung ein Lernmedium bzw. eine Komponente einer multimedialen Lernumgebung abbildet, werden Kriterien bezüglich der Sinnesansprache, der Funktion im Lernprozess, der realisierten Multimediakomponenten sowie der Orientierung am Instructional System Design (ISD) und der Cognitive Load Theorie (CLT) definiert:

- *Sinnesansprache und Funktion im Lernprozess:* Die Anwendung ermöglicht das Ansprechen mehrerer menschlicher Sinne bzw. eine Multimodalität (Bsp.: visuell, auditiv, audiovisuell,

taktil). Im Lernprozess werden Funktionen wie die Demonstration (Anschauung), die Integration in die Arbeitshandlung als Arbeitsmittel sowie die Erhöhung der Lernmotivation realisiert (vgl. Bunk 1991, S. 205 f.).

- *Instructional System Design und Cognitive Load Theorie*: Den Ansätzen des Instructional Designs sowie der Cognitive Load Theorie folgend werden bei der Gestaltung der AR-basierten Anwendung die Merkmale der Lernsituation, die Eigenschaften der Lernenden und die Gestaltungshinweise zur Reduzierung der kognitiven Belastung der Lernenden berücksichtigt.
- *Architektur*: Mit der Anwendung werden grundsätzlich die drei Kernkomponenten von Multimedia realisiert (vgl. Schelten 2009a, S. 71 f.). Neben der Darstellung tätigkeitsrelevanter Informationen wird die Einflussnahme der Lernenden auf den Ablauf des Lernvorgangs abgebildet (Ablaufsteuerung). Zudem besteht eine Interaktionsmöglichkeit zwischen den Lernenden und dem Lernmedium (Bsp.: Rückmeldungen zu den durchgeführten Arbeitsschritten). Dieser grundlegende Aufbau wird durch die spezifischen Architekturkomponenten einer AR-basierten Lernumgebung nach Webel (2011) ergänzt (vgl. Webel 2011, S. 72 ff.). Hervorzuheben sind hierbei die Komponenten zur Datenerfassung sowie zur Datenverarbeitung (vgl. *data capturing, rendering*), welche bedingt durch die Art sowie Dimension ihrer Realisierung Einfluss auf den Funktionalitätsumfang der zu implementierenden Lernplattform nehmen.
- *Trainingsarten*: Mit ausgeprägter Orientierung an den Konzepten der Handlungsregulationstheorie wird geprüft, inwieweit verschiedene Trainingsarten (observatives, verbales, mentales und aktives Training) zur Unterstützung der Entstehung eines inneren Abbildes der Arbeitstätigkeit bzw. der Arbeitsaufgabe technisch und prozessual in den Lernprozess integriert werden können.

3.1.2.2 Virtuelle Elemente und Funktionalitäten

Die Auswahl virtuell darzustellender Elemente sowie die abzubildenden Funktionalitäten der AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung orientiert sich an den gängigen **Methoden** (vgl. Kapitel 2.1.4.3) bzw. **Medien** (vgl. Kapitel 2.2.2.1) der **Arbeitsunterweisung** im industriellen Umfeld (Bsp.: Schriftliche Arbeitsbeschreibung inkl. Grafik, Lernalbum). Demnach werden u.a. grundsätzliche Informationen (Was, Wie, Warum, Kernpunkte der Ausführung) bezüglich der zu erlernenden Arbeitsfertigkeit sowie verschiedene Funktionen im Lernprozess (Bsp.: Demonstration, Instruktion) abgebildet und ein selbständiges Üben (inkl. Begleitung) ermöglicht (vgl. *Vier-Stufen-Methode*). In Anlehnung an die Unterstützungsleistungen **kognitiver Assistenzsysteme** werden Funktionalitäten zur Unterstützung der *Wahrnehmungen*, der *Entscheidungen* sowie der *Handlungen* beziehungsweise *Handlungsplanungen* der Lernenden angestrebt (vgl. Kapitel 2.2.2.2).

Die in Kapitel 2.2.2.3 dargestellten **Akzeleratoren** werden ergänzend bei der Auswahl abzubildender Elemente und Funktionen angewandt, um den Lernvorgang zu unterstützen. Auf der Ebene der Augmentierung, folglich die Erweiterung der realen Lernumgebung um virtuelle Elemente und Funktionen, werden neben der generellen Anreicherung der Umgebung zusätzliche

(physisch nicht vorhandene) Informationen sowie Anleitungen zur Arbeitsausführung (instruktive Informationen) abgebildet. Darüber hinaus werden Rückmeldungen zur Tätigkeitsausführung sowie korrigierende Rückmeldungen zur Verbesserung des Lernvorgangs präsentiert.

Die **Zeiger (Pointer)-Inhalts (Content)-Metapher** bietet Orientierung bei der Gestaltung virtueller Objekte. Es werden unterschiedliche Elemente beziehungsweise Medien zur Informationsdarstellung verwendet. Dabei variiert die Zeiger-Inhalts-Kombination abhängig von der angestrebten Intensität der Ausführungsanleitung (vgl. *AVA-Information-Kontinuum*). In Anlehnung an dieses Konzept soll eine adaptive Informationsdarstellung beziehungsweise eine adaptive Darstellung virtueller Elemente realisiert werden.

Informationen, die Nutzende dabei unterstützen die aktuelle Ausführung in die Gesamtstruktur der Aufgabe einzuordnen, werden in virtueller Form dargestellt (Bsp.: Fortschrittbalken). Zudem wird bestimmt, welche Gegenstände der realen Umgebung (Bsp.: Bauteile, Werkzeuge) in die virtuelle Informationsdarstellung integriert werden. Generell sollten alle bereitgestellten Informationen gut erkennbar und ohne hohen Navigationsaufwand auffindbar sein. Um die Nutzung der abgebildeten virtuellen Elemente sowie der Funktionen der Lehr-Lern-Anwendung zu realisieren, wird eine entsprechende Systemarchitektur inklusive notwendiger Schnittstellen (HMI) bzw. Peripheriegeräte definiert und den Nutzenden zugänglich gemacht.

3.1.2.3 Zusammenfassung der Anforderungen

Nach der Darstellung relevanter Gestaltungskriterien sowie der Erläuterung zur Auswahl einzelner Funktionen und virtueller Elemente lassen sich an dieser Stelle grundlegende Konventionen zur Gestaltung der AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung zusammenfassen.

Gestaltungskonventionen der AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung:

- Integration in das reale Arbeitssystem und in den realen Arbeitsablauf
- Abbildung verschiedener Funktionen im Lernprozess (Bsp.: Demonstration)
- Realisierung verschiedener Trainingsarten
- Lernförderliche Gestaltung (vgl. CLT, ISD) und Realisierung der Augmentierungs-Akzelleratoren
- Erfassung und Verarbeitung (visueller) Daten innerhalb des Arbeitssystems (Bsp.: Hand-Tracking)
- Variable Nutzung und Darstellung der Funktionen bzw. der virtuellen Elemente und Informationen

3.1.3 Konzeption eines Kontrollmediums

Im Hinblick auf die empirischen Untersuchungen zum Einsatz einer AR-basierten Schulungsumgebung wird eine Anwendung konzipiert, die sich ohne umfangreichen Änderungsaufwand in das abgebildete Arbeitssystem integrieren lässt und sich inhaltlich an den Anforderungen der AR-basierten Anwendung orientiert.

Die darzustellenden Inhalte orientieren sich an den gängigen Methoden und Medien der industriellen Arbeitsunterweisung (vgl. Kapitel 2.2.2.1, Kapitel 2.1.4.3). Grundsätzliche Informationen, Besonderheiten der Ausführung, der Gebrauch von Werkzeugen und Bauteilen sowie Angaben zur Gesamtstruktur der Aufgabe werden den Lernenden angeboten (vgl. *W-Fragen*). Wie bei der AR-basierten Anwendung soll ein selbständiges Üben möglich sein.

Die in Kapitel 3.1.2 dargestellten Grundsätze zur Visualisierung von Informationen bzw. zur Integration von Medien werden bei der Erstellung des Kontrollmediums ebenfalls berücksichtigt. Ziel ist es, Lernenden eine Informationsdarstellung bezüglich der zu bewältigenden Aufgabe bereitzustellen, die sich an gängigen Unterweisungsmedien der industriellen Montage orientiert (Bsp.: Lernalbum, Text-Bild-Kombinationen). Dabei sollen alle bereitgestellten Informationen für Lernende gut erkennbar, interpretierbar und auffindbar sein.

Gestaltungskonventionen des Kontrollmediums:

- Integration in das reale Arbeitssystem und in den realen Arbeitsablauf
- Inhaltliche Orientierung an gängigen industriellen Unterweisungsmedien (Text-Bild-Kombination)
- Peripherie (insb. HMI) identisch zum AR-Arbeitsplatz (24 Zoll Touch-Monitor)
- Lernförderliche Gestaltung (vgl. CLT, ISD)
- Abbildung einzelner Funktionen im Lernprozess

3.1.4 Konzeption eines Mediums zur Unterstützung der Lernerfolgskontrolle

Die Lernerfolgskontrolle, die sich als Strukturelement der Arbeitsunterweisung zeitlich an die Nutzung der AR-basierten Anwendung und des Kontrollmediums anschließt, wird ebenfalls durch ein definiertes Medium begleitet. Grundsätzlich soll durch die hier eingesetzte Lernerfolgskontrolle festgestellt werden, inwieweit Lernende die geforderten Arbeitsergebnisse ohne Verwendung der zuvor genutzten Lernmedien erzielen können. Diese handlungsorientierte Form der Lernerfolgskontrolle (vgl. Kapitel 2.1.4) findet am bekannten Arbeitsplatz statt. Die Nutzung des Mediums ist nicht verpflichtend. Nutzende können selbst entscheiden, ob sie die zusätzlichen Informationen des Mediums zur Durchführung der Arbeitsschritte benötigen. In-

haltlich soll sich das Medium an dem Kontrollmedium orientieren, jedoch nicht den vollen Funktionsumfang abbilden. Es werden zusätzliche Informationen auf Arbeitsschrittebene in Form von Text-Bild-Kombinationen präsentiert.

Gestaltungskonventionen des Mediums zur Lernerfolgskontrolle:

- Integration in das reale Arbeitssystem
- Freiwillige, selbständige Nutzung
- Inhaltliche Orientierung am Kontrollmedium (Text-Bild-Kombination)
- Reduzierter Funktionsumfang
- Peripherie (insb. HMI) identisch zum zuvor genutzten Arbeitsplatz (24 Zoll Touch-Monitor)

3.2 Technische Umsetzung

In diesem Kapitel wird die technische Umsetzung des in Kapitel 3.1 entwickelten Konzeptes eines AR-gestützten Montagetrainings abgebildet. Zunächst werden organisatorische und technische Vorarbeiten erläutert, die als Voraussetzung für die technische Implementierung des Konzeptes identifiziert wurden. Daran anschließend wird die Vorgehensweise zur Implementierung der AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung, des Kontrollmediums sowie des Mediums zur Unterstützung einer Lernerfolgskontrolle dargestellt.

3.2.1 Vorarbeiten

Zur Realisierung der in Kapitel 3.1. dargestellten Konzeptionen eines industriellen Arbeitssystems (Kapitel 3.1.1) sowie einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung (Kapitel 3.1.2) waren sowohl technische als auch organisatorische Vorarbeiten notwendig. Es erfolgte die Auswahl einer den Anforderungen entsprechenden Forschungsumgebung sowie eines betrieblichen Qualifizierungsszenarios. Zudem wurde ein Kooperationspartner ausgewählt, welcher über eine umfangreiche Expertise bezüglich der Entwicklung AR-basierter Anwendungen zur Handlungsinstruktion verfügt. Gemeinsam mit diesem Partner wurde das hier abgebildete Konzept einer AR-basierten Anwendung diskutiert sowie die Umsetzbarkeit der definierten Elemente und Funktionalitäten analysiert (Machbarkeitsanalyse). Darüber hinaus wurden in diesem Kontext geeignete Peripheriegeräte (HMI, Kamerasytem zur Datenerfassung) definiert.

3.2.1.1 Vorarbeiten zur Realisierung eines industriellen Arbeitssystems

Zur Realisierung eines industriellen Arbeitssystems wurden vorbereitend eine geeignete **Arbeits- bzw. Forschungsumgebung** sowie ein adäquates **Qualifizierungsszenario** identifiziert und für die vorliegende Untersuchung präpariert.

In Anlehnung an die in Kapitel 3.1 dargestellten Anforderungen und Konzeptionen wurde gemeinsam mit dem industriellen Anwendungspartner eine adäquate Umgebung zur Realisierung des definierten Arbeitssystems ausgewählt. Als Forschungsumgebung dient eine betriebliche Lerninsel (vgl. Kapitel 2.1.1.6), die sich zum Zeitpunkt des Untersuchungszeitraumes im Rahmen einer Standort- bzw. Werkseröffnung im Aufbau befand und somit Potentiale zur Integration des hier definierten Arbeitssystems abbildete. Am ausgewählten Standort des industriellen Anwendungspartners werden Vierzylindermotoren in Großserie hergestellt. Die Definition der Arbeitsaufgabe sowie der Arbeitsablauf und die verwendeten Arbeitsmittel orientieren sich demnach an den realen Anforderungen und Gegebenheiten einer manuellen Serienmontage.

Bedingt durch die Inbetriebnahme neu errichteter Montagelinien am gewählten Standort besteht zum Zeitpunkt der durchgeführten Untersuchung ein erhöhter Qualifizierungsbedarf hinsichtlich der Montage sowie der technischen Eigenschaften der am Standort hergestellten Produkte (Montage- und Produktschulungen). Zur Vorbereitung des Produkt- und Montageanlaufs am Standort werden während des hier abgebildeten Untersuchungszeitraums mehrere hundert Mitarbeitende hinsichtlich spezifischer Montageumfänge qualifiziert. Die vorliegende Untersuchung wird sowohl inhaltlich, in Form von realen Qualifizierungsinhalten (Montagearbeitsschritten), als auch prozessual in den betrieblichen Ablauf integriert.

Im Rahmen des betrieblichen Qualifizierungsprogramms werden innerhalb der genutzten Lerninsel ausschließlich neue, formal nicht qualifizierte Mitarbeitende qualifiziert. Somit entsprechen das zugrundeliegende Qualifizierungsszenario sowie die zur Verfügung stehenden Arbeitspersonen in mehreren Aspekten den definierten Anforderungen der zuvor dargestellten Konzeptionen (vgl. Kapitel 3.1.1).

Als Grundlage für die Auswahl und die Beschreibung der manuellen Arbeitsschritte dienen bestehende Dokumente der Arbeitsunterweisung, welche der Anwendungspartner überwiegend in Form von Text-Bild-Kombinationen über eine interne Lernplattform (*Produktions-Lern-System*) zur Verfügung stellt.

3.2.1.2 Vorarbeiten zur Realisierung einer AR-basierten Lernplattform

Zur Realisierung einer AR-basierten Lernplattform erfolgte vorbereitend die Recherche und Auswahl bezüglich eines geeigneten Kooperationspartners. Ergänzend wurden entsprechende Peripheriegeräte definiert, die bei der Implementierung des Konzeptes eingesetzt werden.

Software und Architekturkomponenten

Die technische Grundlage für Realisierung des in Kapitel 3.1.2 dargestellten Konzeptes einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung wurde durch eine Kooperation mit der IOXP GmbH geschaffen. Zum Zeitpunkt der vorliegenden Untersuchung implementierte das junge Start-up-Unternehmen bereits erste AR-basierte Handlungsinstruktionen im Umfeld der manuellen Montage. Durch die Verwendung der dort entwickelten Anwendung *IOXP Workspace Management* wurde eine für AR-basierte Lernplattformen spezifische Systemarchitektur in die vorliegende Untersuchung integriert sowie eine technische Oberfläche zur Realisierung der zuvor definierten Funk-

tionalitäten und virtuellen Elementen abgebildet. Unter Verwendung dieser technischen Grundlage kann eine AR-basierte Lehr-Lern-Anwendung implementiert werden, welche die zuvor definierten Gestaltungskriterien und Anforderungen erfüllt. Fehlende, jedoch für die Realisierung des Konzeptes notwendige Funktionalitäten wurden gemeinsam mit der IOXP GmbH im Rahmen der Konzeptimplementierung entwickelt.

HMI und Kamerasytem

Neben der Anwendung *IOXP Workspace Management*, welche die technische Grundlage für die Realisierung des entwickelten Konzeptes abbildet, wurde die zu verwendende Hardware bzw. Peripherie erprobt und ausgewählt. Durch die Beteiligung des Autors an einem vorgelagerten Forschungsprojekt (AmbiWise¹) konnten bereits im Vorfeld verschiedene Head-Mounted Display Varianten (Smart Glasses) im Umfeld des industriellen Anwendungspartners eingesetzt und von Mitarbeitenden der manuellen Montage evaluiert werden (vgl. Quint et al. 2016; Weber et al. 2016). Die hierbei bestätigte Einflussgröße der individuellen ergonomischen Wahrnehmung der Nutzenden beim Tragen unterschiedlicher HMD-Varianten wurde bei der Auswahl der Schnittstelle zum AR-basierten Lehr-Lern-System berücksichtigt.

Zur Vorbereitung der Implementierung des dargelegten Konzeptes wurden Möglichkeiten erörtert, den potentiellen Einfluss der verwendeten Hardware auf die Untersuchungsergebnisse zu kontrollieren sowie den Anforderungen eines AR-basierten Lernszenarios der manuellen Montage (Immersionsgrad, Interaktion, Freihandbedienung) zu entsprechen. Durch die Verwendung eines Touch-Screen-Monitors, der sich in unmittelbarer Nähe zum Montageobjekt befindet, wird die Nutzung der klassischen Potentiale der AR-Technologie vereinzelt reduziert. Es werden jedoch positive Beiträge zur Kontrolle der hardwaregenerierten Einflüsse auf die Untersuchungsergebnisse sowie zur gruppenübergreifenden Vergleichbarkeit der Resultate erwartet. Der Touch-Screen-Monitor kann sowohl als HMI für den AR-basierten Arbeitsplatz als auch für den Arbeitsplatz der Kontrollgruppe eingesetzt werden. Zudem ist zu erwarten, dass Nutzende bereits über erste Erfahrungen im Umgang mit dieser Hardware verfügen, wodurch ein positiver Beitrag hinsichtlich der Zugänglichkeit der verwendeten Technologien geleistet wird.

Die Nutzung von Tiefen- und Trackingtechnologien zur Erfassung visueller Daten wird hardwareseitig durch den Einsatz einer Tiefenkamera realisiert. Tiefenkameras erfassen bzw. messen den Abstand zwischen der Kamera und einzelnen Objekten. Dadurch kann eine Tiefenkarte bzw. eine räumliche Dimension erstellt werden.

¹ Forschungsprojekt: „AmbiWise - Alltagsgerechte, mobile, kontext-sensitive Benutzungsschnittstellen für einen optimierten Wissensaustausch im sozialen Netzwerk“, Verbundprojekt-Nr. V4ISS035

3.2.2 Implementierung eines Arbeitssystems

Die hier dargestellte Implementierung eines Arbeitssystems beschreibt die Umsetzung der zuvor definierten Gestaltungskriterien und Anforderungen (vgl. Kapitel 3.1.1) an die Komponenten eines Arbeitssystems der industriellen Serienmontage (Arbeitsplatz, Arbeitsperson, Arbeitsmittel, Arbeitsaufgabe und Arbeitsablauf).

3.2.2.1 Arbeitsplatz

Als grundlegendes Element für die Abbildung eines Steharbeitsplatzes der manuellen Montage dient eine Industrie-Werkbank (L x B: 2000 mm x 750 mm). Die Werkbank verfügt über einen Aufbau bzw. eine Lochrückwand, wodurch benötigte Komponenten wie beispielsweise Halterungen oder Beleuchtungseinheiten montiert werden können. Auf der Arbeitsfläche befindet sich das Montageobjekt. Das Montageobjekt wird durch einen teilmontierten Großserien-Vierzylindermotor (Motorblock inkl. Zylinderkopf und definierten Anbauteilen) abgebildet (Arbeitshöhe ca. 1050 Millimeter). Oberhalb und rechts vom Montageobjekt entfernt befinden sich Ablagemöglichkeiten für benötigte Arbeitsmittel, eine Beleuchtungseinheit (LED-Strahler) sowie ein Touchscreen-Monitor (24 Zoll). Es wurde sichergestellt, dass alle Montagetätigkeiten im Arbeitsraum (*Beidhandzone*) stattfinden. Alle weiteren Objekte wie Werkzeuge oder Behälter befinden sich innerhalb der Greifzone der Arbeitsperson (*Einhandzone*) und innerhalb eines horizontalen Blickwinkelbereichs zwischen 35 Grad nach links und 35 Grad nach rechts. Durch diesen Aufbau werden Sekundäraufwände vermieden sowie ein entspanntes Sehen und Stehen der Arbeitsperson ermöglicht (vgl. Kapitel 3.1.1.1).

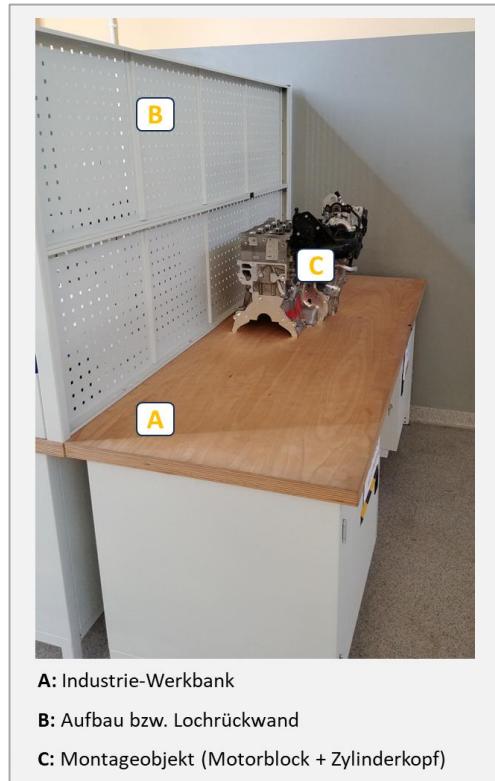


Abbildung 3.2.2-1: Werkbank inkl. Komponenten

3.2.2.2 Arbeitsperson

Der abgebildete Montagearbeitsplatz befindet sich innerhalb einer betrieblichen Lerninsel (vgl. Kapitel 2.1.1.6) des industriellen Anwendungspartners. Im Zeitraum der empirischen Untersuchungen finden an diesem Ort, bedingt durch die Eröffnung einer neuen Produktionsstätte und der damit verbundenen Produktionsanläufe, umfangreiche Qualifizierungsmaßnahmen statt. Mitarbeitende erhalten an diesem Lernort einen Überblick über alle relevanten Arbeitsschritte zur vollständigen Montage des abgebildeten Montageobjektes (Vierzylindermotor). Die hierbei zu erlernenden Arbeitstätigkeiten sind den Arbeitspersonen unbekannt. Es handelt sich um eine

heterogene, formal nicht qualifizierte Personengruppe. Die prozessuale Einbindung der hier dargestellten Untersuchungen in das stattfindende betriebliche Qualifizierungsprogramm ermöglicht die Erfassung personaler Faktoren der Arbeitspersonen bzw. der Lernenden.

3.2.2.3 Arbeitsmittel

Die Auswahl der Arbeitsmittel orientiert sich an den Gegebenheiten einer industriellen Arbeitsstation bzw. an den spezifischen Anforderungen der Arbeitsaufgabe und des Montageobjektes. Es werden sowohl Hand- als auch Elektrowerkzeuge eingesetzt (Schraubendreher, Akku-Knick-Schrauber, Spitzzange). Es werden verschiedene Bauteilarten und -geometrien abgebildet (elektr. Umschaltventil, Sensor). Zudem werden verschiedene Fügeelemente bzw. Schraubendimensionen eingesetzt. Die Bereitstellung der Bauteile und der Fügeelemente erfolgt über Greifbehälter (Kleinladungsträger). Die implementierte Lehr-Lern-Anwendung wird in den Arbeitsplatz bzw. -prozess integriert.

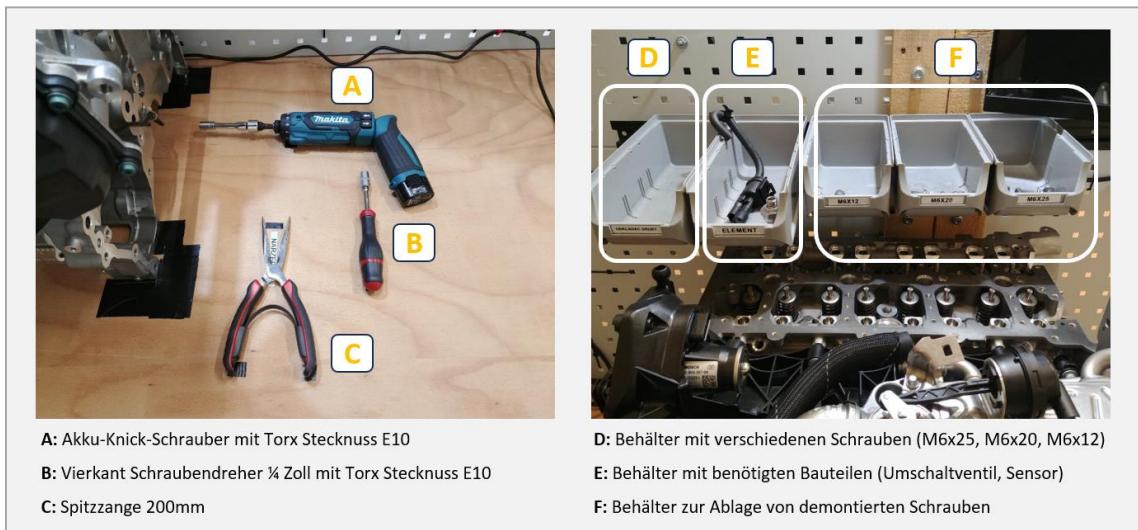


Abbildung 3.2.2-2: Darstellung der Arbeitsmittel
Gliederung der Bereiche A bis F

Die Auswahl der bereitgestellten Schraubendimensionen (Bereich F) stellt die Abbildung einer zusätzlichen, potentiellen Fehlerquelle dar. Zur Bewältigung der Arbeitsaufgabe werden lediglich zwei Schraubenvarianten (M6x25 und M6x20) benötigt. Die dritte Variante (M6x12) ist bei keinem der Arbeitsschritte vorgesehen. Alle drei Varianten liegen in der gleichen Stückzahl vor (zehn Stück je Variante). Die Positionen der Werkzeuge (Bereiche A, B, C) wurden durch Markierungen auf der Arbeitsfläche definiert, um konstante Bedingungen bezüglich der Greifräume und -zeiten zu realisieren. Ergänzend werden ein Gehörschutz und Arbeitshandschuhe zur Verfügung gestellt.

3.2.2.4 Arbeitsaufgabe

Die abgebildete Aufgabe orientiert sich an realen Arbeitsschritten der Serienmontage des Anwendungspartners. Abgeleitet aus den formulierten Anforderungen an die Arbeitsaufgabe in Kapitel 3.1.1.4 wurden adäquate Arbeitsumfänge im Zusammenhang mit dem abgebildeten

Montageobjekt identifiziert und ausgewählt. Die Arbeitsaufgabe umfasst demnach Arbeitsschritte der *AGR-Modul-Montage* (Modul zur Abgasrückführung). Basierend auf bestehenden Dokumentationen und in Zusammenarbeit mit Lehrenden des Anwendungspartners („Lern-Paten“ und Prozessverantwortliche) wurde eine Abfolge von Arbeitsschritten definiert, die charakteristische Arbeitsschritte einer manuellen Serienmontage repräsentiert sowie eine Varianz bezüglich der Fügevorgänge und deren Komplexität abbildet (vgl. Tabelle 3.2.2-1). Zudem wurden Qualitätsmerkmale und Verbauungszustände definiert, die zu einem *i.O.*- bzw. zu *einem n.i.O.-Ergebnis* führen (in Ordnung, nicht in Ordnung). Die Referenzzeiten zur Ausführung der Arbeitsschritte basieren auf den Ausführungen einer geübten Person bei moderatem Leistungsgrad.

Tabelle 3.2.2-1: Definierte Arbeitsschritte der AGR-Modul Montage

	Nr.	Inhalt	Werkzeug	Verbindungselement	Anzahl	Fügevorgang
Arbeitsschritte	1	Wasserleitung anschließen	keine	/	/	Zusammensetzen: Ineinanderschieben
	2	AGR Kühler mit Schraube anschrauben	Schraubendreher	Schraube M6x25	1	Anpressen, Eindrücken: Anschrauben
	3	AGR Modul (hinten) mit zwei Schrauben anschrauben	Schraubendreher	Schraube M6x20	2	Anpressen, Eindrücken: Anschrauben
	4	AGR Modul mit definiertem Drehmoment verschrauben - Anzugsreihenfolge beachten	Akku-Knick-Schrauber	Schraube M6x25	1	Anpressen, Eindrücken: Festschrauben
				Schraube M6x20	2	Anpressen, Eindrücken: Festschrauben
	5	Drucksensor mit Dichtring an Gehäuse anschrauben	keine	/	/	Anpressen, Eindrücken: Einschrauben
	6	Elektr. Umschaltventil und Unterdruckleitung aufstecken am Halter und an U-Dose aufstecken	keine	/	/	Zusammensetzen: Ineinanderschieben
	7	Unterdruckleitung an U-Dose aufstecken und an Omega-Clip montieren	keine	/	/	Zusammensetzen: Ineinanderschieben Zusammensetzen: Einhängen

3.2.2.5 Arbeitsablauf

Die abgebildete Arbeitsaufgabe gliedert sich in die Serienmontage eines Vierzylindermotors ein. Es bestehen sowohl vor- als auch nachgelagerte Montageschritte, die an den entsprechenden Arbeitsplätzen der Liniemontage durchgeführt werden (vgl. Kapitel 3.1.1.5. Prinzip einer Liniemontage). Anfangs- und Endzustände des Montageobjektes sind eindeutig definiert. Als zeitliche Referenz bezüglich der Ausführungszeiten dienen die Resultate geübter Personen. Der abgebildete Arbeitsablauf realisiert das Zusammenwirken aller Komponenten des Arbeitssystems.

3.2.2.6 Zusammenfassung

Zur Realisierung eines Arbeitssystems wurden alle notwendigen Komponenten (Arbeitsplatz, Arbeitsperson, Arbeitsmittel, Arbeitsaufgabe und Arbeitsablauf) abgebildet. Durch den dargestellten Arbeitsablauf wirken alle Komponenten innerhalb des Systems zusammen.

Das abgebildete Arbeitssystem dient als Grundlage für die Integration einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung (vgl. Arbeitsmittel).



Abbildung 3.2.2-3: Montagearbeitsplatz für Umfänge der AGR-Modul-Montage

3.2.3 Implementierung einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung

Die Implementierung der AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung erfolgt unter Nutzung des definierten Arbeitssystems sowie der Systemarchitektur und der Software-Funktionen, welche durch die Anwendungspartner bereitgestellt werden. Bestehende Funktionalitäten werden genutzt, um die in Kapitel 3.1.2 definierten Anforderungen und Gestaltungskonventionen zu realisieren und somit im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine für die industrielle Serienmontage spezifische, AR-basierte Anwendung zur Vermittlung berufsmotorischer Fertigkeiten zu entwickeln.

3.2.3.1 Architekturkomponenten und Peripherie

Bei der Realisierung einer Augmented Reality-basierten Lehr-Lern-Umgebung dienen sowohl die grundlegenden Komponenten einer multimedialen Lernumgebung (vgl. Kapitel 2.1.4.2) als auch die spezifischen Komponenten AR-basierter Schulungsplattformen (vgl. Kapitel 2.2.2.3) als Referenz für den Aufbau einer System-Architektur. Grundsätzlich besteht eine Präsentationskomponente, die durch die Darstellung von Texten, Tönen, Animationen bzw. von virtuellen Elementen die Nutzenden beim Erlernen der Arbeitsfertigkeit unterstützt. Als Peripherie dient hierzu ein stationärer 24 Zoll Touch-Monitor mit integrierten Lautsprechern. Durch entsprechende Funktionalitäten können Lernende Einfluss auf den Ablauf bzw. die bereitgestellten Präsentationsinhalte nehmen (Ablaufsteuerung). Die Lehr-Lern-Anwendung generiert zudem Rückmeldungen zu den Eingaben bzw. Handlungen der Lernenden (Interaktion). Zur Abbildung dieser Funktionen wird die physische Arbeitsumgebung um ein stationäres Kamerasystem ergänzt, das die Nutzung von Tiefen- und Trackingtechnologien unterstützt (Intel RealSense™ Tiefenkamera D435). Durch diese Technologie ist es möglich, visuelle Daten bezüglich der Lernenden (Bewegungen) und des Arbeitssystems (Montagezustand des Montageobjektes) zu erfassen. Nach der

Verarbeitung der erfassten Daten (Rendering) erfolgt die Interaktion mit den Nutzenden. Erfasste Daten sowie bereits bestehende Schulungsmaterialien oder virtuelle Elemente (*Overlays* wie beispielsweise Pfeile, Zeichen oder Symbole) werden im Data Repository hinterlegt.



Abbildung 3.2.3-1: Tiefenkamera und Touch-Monitor

Die ausgewählte Peripherie ermöglicht neben der Erfassung von Daten die Möglichkeit, mehrere Modalitäten bzw. Sinnesansprachen zu realisieren. In Verbindung mit der AR-basierten Anwendung werden Schulungsinhalte visualisiert und auditiv ergänzt. Taktile Elemente werden durch die Ausführungen am realen Montageobjekt in einem physisch vorhandenen Arbeitssystem abgebildet.

3.2.3.2 User-Interface

Inhaltlich orientiert sich die Gestaltung der Benutzungsoberfläche (User-Interface) an den Informationsdarstellungen gängiger Unterweisungsmedien. In Abhängigkeit zum aktuellen Arbeitsschritt wird eine Inhaltsbeschreibung des Arbeitsschrittes sowie ein Hinweis zur Einordnung in die Gesamtstruktur der Aufgabe abgebildet. Zur Unterstützung bei der Lokalisierung von benötigten Bauteilen werden entsprechende Entnahmesteine gekennzeichnet. Für den Arbeitsschritt zu verwendende Werkzeuge und Bauteile werden zusätzlich grafisch dargestellt. Am Montageobjekt werden relevante Montagestellen bzw. Zielbereiche der Bauteile hervorgehoben (vgl. Abbildung 3.2.3-2).

Für die Umsetzung dieses Konzeptes werden sowohl Standardelemente der genutzten Anwendung (Bsp.: animierte Pfeile, Rahmen, Textfelder bzw. *labels*) sowie selbst erstellte, arbeitsplatzspezifische Elemente eingesetzt (Bsp.: reale Werkzeuge und Bauteile). Alle abgebildeten Informationen werden als realitätserweiternde virtuelle Elemente auf dem realen Arbeitsplatz überlagernd implementiert (vgl. Abbildung 3.2.3-3).

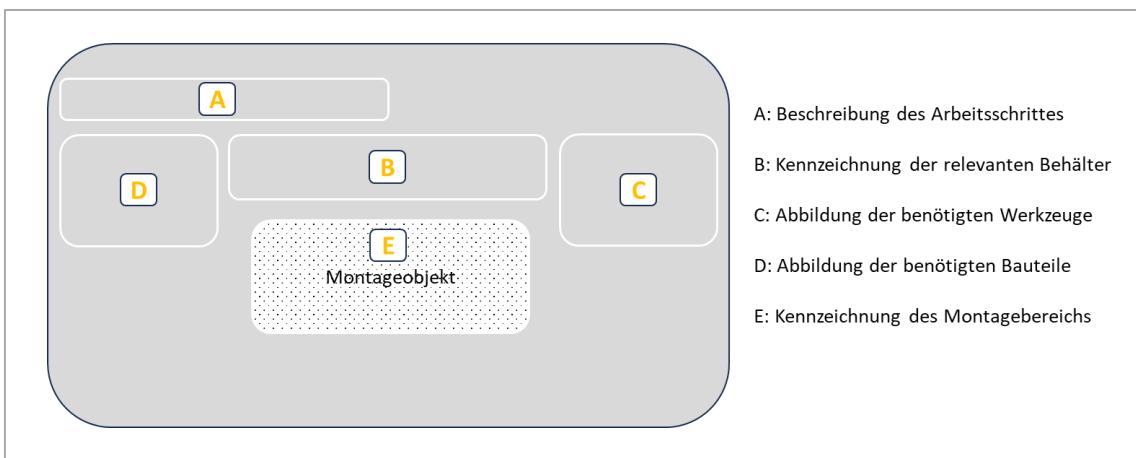
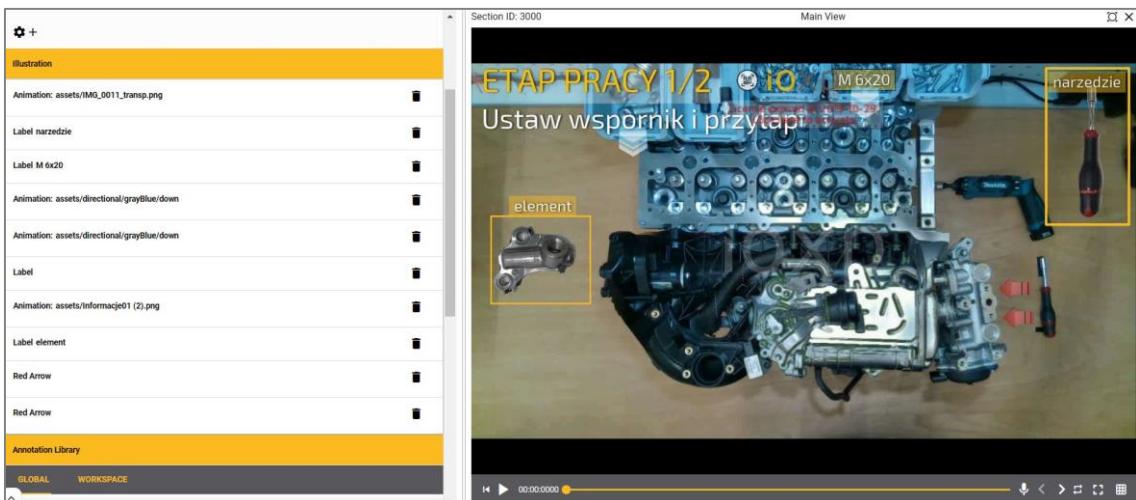


Abbildung 3.2.3-2: User-Interface - Aufbau und Elemente

Zur Realisierung verschiedener Trainingsarten (vgl. observatives, verbales, mentales und aktives Training) werden abhängig vom Verhalten der Lernenden verschiedene Darstellungsarten und Funktionalitäten angewandt.

Abbildung 3.2.3-3: Integration von Standard- und arbeitsplatzspezifischen Komponenten
 Verwendung von IOXP Workspace Management (ioAssist)

3.2.3.3 Funktionalitäten und virtuelle Elemente

Die Auswahl der implementierten virtuellen Elemente ist bedingt durch die dahinterliegende Funktionalität im Lernprozess. Die Definition der abzubildenden Funktionen orientiert sich neben den allgemeinen Gestaltungsempfehlungen multimedialer Lernumgebungen insbesondere an den Ansätzen kognitiver Assistenzsysteme (vgl. Kapitel 2.2.2.2) sowie an spezifischen Erkenntnissen zur Gestaltung AR-basierter Lernumgebungen (vgl. Kapitel 2.2.2.3, Akzeleratoren der Augmentierung). Aus funktionaler Perspektive werden somit grundsätzlich die Aspekte der Wahrnehmung und der Handlungsplanung bzw. Informationsverarbeitung betrachtet. In diese Betrachtung werden die Augmentierungsakzeleratoren der Rückmeldung, der Anleitung bzw. Instruktion sowie der Umgebungsanreicherung integriert.

Nach dieser Vorgehensweise werden folgende Funktionen definiert:

- (1) *Information*: Durch diese Funktion wird das reale Arbeitssystem durch Informationen zum aktuellen Arbeitsschritt und zur Struktur der Aufgabe angereichert, welche in der realen Arbeitsumgebung nicht vorhanden sind.
- (2) *Lokalisierung*: Diese Funktion soll die Nutzenden dabei unterstützen benötigte Bauteile, Werkzeuge oder Entnahme- und Zielpositionen ohne größeren Suchaufwand zu lokalisieren.
- (3) *Identifikation*: Neben der Lokalisierung relevanter Arbeitsmittel werden Informationen zur eindeutigen Identifikation der relevanten Objekte ergänzt.
- (4) *Anleitung und Instruktion*: Diese Funktion umfasst instruktive Informationen unterschiedlicher Ausprägungen, die den Nutzenden die Ausführungen der Arbeitsschritte demonstriert.
- (5) *Rückmeldung zur Ausführung*: Nutzende erhalten Rückmeldungen zur eigenen Leistung während der Ausführung.
- (6) *Rückmeldung zum Arbeitsergebnis*: Diese Funktion beinhaltet eine visuelle Prüfung des Montageergebnisses. Nutzende erhalten nach der eigenen Ausführung eine Rückmeldung, ob das erzielte Ergebnis dem definierten Zielzustand entspricht. Bei einem negativen Prüfergebnis werden erneut instruktive Informationen dargestellt.
- (7) *Ablaufsteuerung und Transition*: Nutzende können aktiv die Informationsdarstellung des Lernmediums sowie die Geschwindigkeit des Lernprozesses beeinflussen bzw. steuern.

Anschließend an die Definition der abzubildenden Funktionen werden entsprechende virtuelle Elemente bestimmt:

Tabelle 3.2.3-1: Übersicht der Funktionen und der virtuellen Elemente

Funktion	Information	Darstellungsart / Beispiel	Virtuelles Element
F1: Information	Arbeitsschrittnummerierung	Schritt X (aktueller Arbeitsschritt) von Y (Anzahl aller Arbeitsschritte)	Text / Label
	Arbeitsschrittbezeichnung	Bsp.: Haltermontage	Text / Label
F2: Lokalisierung	Entnahmeposition	Pfeile an der Entnahmestelle (Behälter)	Animierte Pfeile (blau/weiß)
	Zielposition	Pfeile am Montageobjekt	Animierte Pfeile (rot)
F3: Identifikation	Bauteile, Werkzeuge	Einblendung der benötigten Bauteile und Werkzeuge durch Hand-Tracking	Animation
	Fügelemente (Schrauben)	Bezeichnung der benötigten Schrauben am entsprechenden Behälter	Text / Label

Funktion	Information	Darstellungsart / Beispiel	Virtuelles Element
F4: Anleitung und Instruktion	Instruktion	Vollständige Demonstration der korrekten Ausführung („Vormachen“)	Action AVI / Instruction Overlay
	Kernpunkte	Bsp.: Anzugsreihenfolge mehrerer Schrauben	Text / Label
F5: Rückmeldung zur Ausführung	Ausführungsbereich	Visuelle Rückmeldung durch „Einfärben“ der Hände, ob sich die Hände der ausführenden Person im vorgegebenen Handlungsbereich befinden	Hand-Tracking
			grün = innerhalb des vorgegebenen Handlungsbereiches
			rot = außerhalb des vorgegebenen Handlungsbereiches
F6: Rückmeldung zum Arbeitsergebnis	Arbeitsergebnis	Visuelle und auditive Rückmeldung, ob das Arbeitsschrittergebnis dem definierten Zielzustand entspricht	Animation: Grüner (i.O.) oder roter (n.i.O.) Haken
			Ton: Bestätigungssignal bei i.O.-Ergebnis, Warnsignal bei n.i.O.-Ergebnis
F7: Ablaufsteuerung	—	—	Hand-Tracking
			Hände innerhalb des Erfassungsbereiches
			Hände außerhalb des Erfassungsbereiches

Instruktions-Overlay

Als Basis für die Handlungsinstruktion dient eine Videoaufnahme der Ausführung (AVI: Audio Video Interleave) einer geübten bzw. unterweisenden Person. Die Aufnahme wird den Lernenden in Form einer semi-transparenten, überlagernden Darstellung als instruktive Information zur Verfügung gestellt (F4).



Abbildung 3.2.3-4: Semi-transparente Instruktions-Überlagerung (Instruction Overlay)
Verwendung von IOXP Workspace Management (ioAssist)

Hand-Tracking und Validierung

Für die Implementierung der Rückmelde-Funktionen (F5, F6) werden für jeden Arbeitsschritt relevante Interaktionsbereiche und Zielzustände definiert (vgl. Abbildung 3.2.3-5). Der Interaktionsbereich dient als Referenzbereich für das Hand-Tracking bzw. die farbliche Markierung der Hände. Befinden sich die Hände der Nutzenden außerhalb dieses Bereichs, werden diese rot markiert. Befinden sich die Hände innerhalb dieses Bereichs, erscheinen die Hände mit einer grünen Markierung. Zudem wird durch die Erfassung der Hände eine Ablaufsteuerung durch Nutzende möglich (F7). Abhängig davon, ob Nutzende eine Ausführung beginnen (Hände am Montageobjekt, innerhalb des Erfassungsbereichs) oder beenden (Hände nicht mehr am Montageobjekt, außerhalb des Erfassungsbereichs) werden verschiedene Funktionalitäten bzw. virtuelle Elemente genutzt (vgl. *phasenadaptive Darstellung*).



Abbildung 3.2.3-5: Interaktionsbereich eines Arbeitsschrittes

Verwendung von IOXP Workspace Management (ioAssist)

Für die Realisierung einer systemgenerierten Rückmeldung zum Montageergebnis auf Arbeitsschrittebene werden für jeden Arbeitsschritt relevante Validierungsmerkmale- und Bereiche definiert (vgl. Abbildung 3.2.3-6).

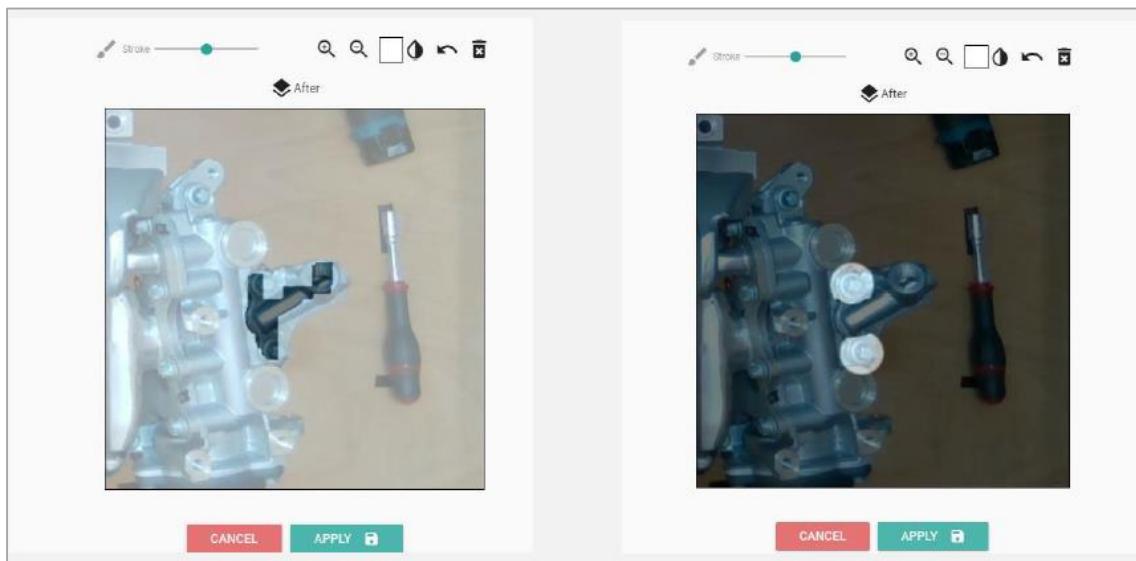


Abbildung 3.2.3-6: Definition der Validierungsbereiche
Verwendung von IOXP Workspace Management (ioAssist)

Zudem werden durch umfangreiche Erprobungen mehrere Referenzzustände (visuelle Daten von i.O.- und n.i.O.- Zuständen = *Samples*) für das Validierungsergebnis generiert und bewertet (vgl. Abbildung 3.2.3-7).

Nach dieser Vorgehensweise werden für alle Arbeitsschritte Zielzustände definiert, die als Grundlage für die Beurteilung der Arbeitsresultate dienen. Abweichungen von diesen definierten Zielzuständen werden als Fehler gewertet (n.i.O.- Ergebnis). Der visuelle Abgleich zwischen dem erfassten Endzustand und dem definierten Ziel- bzw. Soll-Zustand erfolgt automatisiert durch das abgebildete Lernmedium. Im Sinne einer optischen Qualitätsprüfung können somit Endzustände (statisch) erfasst und bewertet werden. Bewegungsmuster der Versuchspersonen, welche relevant für die Beurteilung des Resultats eines Arbeitsschrittes sind (vgl. Arbeitsschritt Nr. 4 - Anzugsreihenfolge), konnten zum Zeitpunkt der vorliegenden Untersuchung technisch nicht abgebildet werden. Zur Simulation dieser Funktionalität erfolgte die Beurteilung des entsprechenden Arbeitsschrittes manuell durch die Beobachtungsinstanz. Dieser Vorgang erfolgte verdeckt und war für die Versuchspersonen nicht erkennbar.

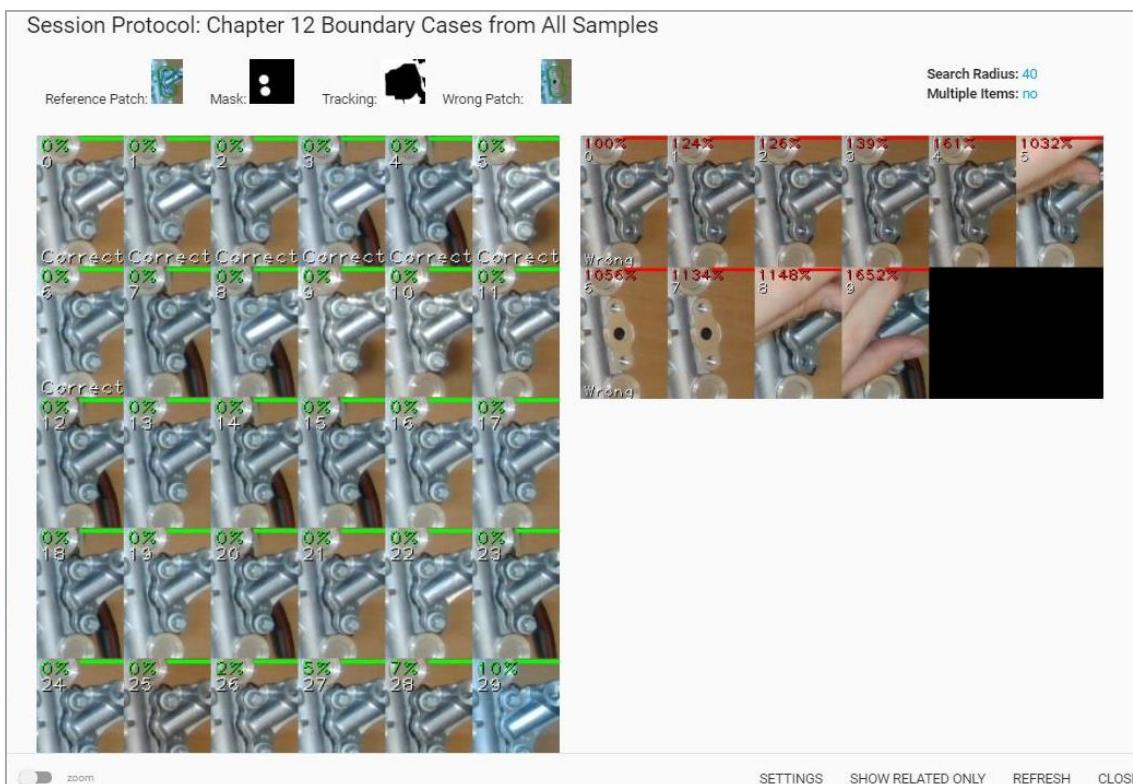


Abbildung 3.2.3-7: Validierungsergebnisse (Samples)
Verwendung von IOXP Workspace Management (ioAssist)

Phasenadaptive Darstellung

Bezugnehmend auf die zuvor dargestellten Erkenntnisse der Gestaltung von Lernmedien und den Empfehlungen hinsichtlich einer lernförderlichen Gestaltung entsprechender Medien wurde eine Darstellungsart der virtuellen Elemente implementiert, die sowohl die kognitive Belastung der Lernenden (vgl. CLT und CTML, Kapitel 2.1.4.2) als auch das natürliche Verhalten der

Lernenden in Lernprozessen berücksichtigt. Die daraus entstandene *phasenadaptive Informationsdarstellung* (vgl. Venitz et al. 2021, S. 504 f.) orientiert sich inhaltlich an der observativen, der motorisch-passiven und der motorisch-aktiven, ausführenden Phase der Lernenden. Die erste Phase betont die Instruktion sowie den Nachvollzug der Ausführung. Die zweite Phase beschreibt psychomotorische Aspekte und erste eigene Ausführungen der Lernenden (vgl. Petersen 2014, S. 132 ff.). In der dritten Phase steht die Validierung des Montageergebnisses im Vordergrund. Wurde der Arbeitsschritt erfolgreich durchgeführt, erfolgt die Transition zur ersten Phase des nächsten Arbeitsschrittes. Wurde der Arbeitsschritt nicht erfolgreich durchgeführt, werden zu dem aktuellen Arbeitsschritt erneut die instruktiven Informationen der ersten Phase dargestellt.

Tabelle 3.2.3-2: Phasenadaptive Informationsdarstellung

Funktion	Information	Virtuelles Element	Informationsdarstellung		
			observativ-passive Phase	psychomotorisch-aktive Phase	Validierung und Transition
F1: Information	Arbeitsschrittnummerierung	Text / Label	X	X	X
	Arbeitsschrittbezeichnung	Text / Label	X	X	X
F2: Lokalisierung	Entnahmeposition	Animierte Pfeile (blau/weiß)	X	X	
	Zielposition	Animierte Pfeile (rot)	X	X	
F3: Identifikation	Bauteile, Werkzeuge	Animation	X	X	
	Fügelemente (Schrauben)	Text / Label	X	X	
F4: Anleitung und Instruktion	Instruktion	Action AVI / Instruction Overlay	X		
	Kernpunkte	Text / Label	X		
F5: Rückmeldung zur Ausführung	Ausführungsbereich	Hand-Tracking		X	
F6: Rückmeldung zum Arbeitsergebnis	Arbeitsergebnis	Animation: Grüner (i.O.) oder roter (n.i.O.) Haken			X
		Ton: Bestätigungssignal, Warnsignal			X

Der Übergang zwischen der ersten und der zweiten Phase wird durch die Lernenden ausgelöst (vgl. Ablaufsteuerung). Das *Instruction Overlay*, folglich die überlagert dargestellte Ausführung eines Arbeitsschrittes („Vormachen“), kann beliebig oft konsumiert werden. Sobald die Lernenden ihre Hände in den Erfassungsbereich des Kamerasytems begeben, beginnt die motorisch aktive Phase. In dieser Phase wird das *Instruction Overlay* ausgeblendet und durch das Hand-Tracking ersetzt. Somit erhalten Nutzende eine Rückmeldung, ob sie im relevanten Handlungsbereich agieren. Sobald beide Hände den Erfassungsbereich verlassen, wird die Validierung (optische Prüfung) des Montageergebnisses ausgelöst (dritte Phase). Entspricht das Ergebnis nicht dem definierten Zielzustand, erfolgt die Rückführung in die erste Phase (vgl. Funktion 7: Ablaufsteuerung). Dadurch erhalten die Lernenden erneut die Möglichkeit die korrekte Ausführung

des Arbeitsschrittes nachzuvollziehen und im Anschluss den Zielzustand durch eigene Ausführungen zu erreichen. Wurde ein Arbeitsschritt erfolgreich durchgeführt, erfolgt die Transition in die erste Phase des nächstfolgenden Arbeitsschrittes (vgl. Abbildung 3.2.3-8).

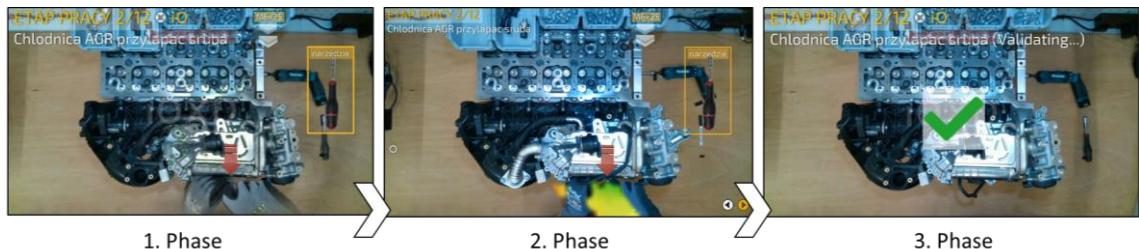


Abbildung 3.2.3-8: Phasenadaptive Informationsdarstellung
Verwendung von IOXP Workspace Management (ioAssist)

3.2.3.4 Zusammenfassung

Die AR-basierte Lehr-Lern-Anwendung wird in das zuvor definierte Arbeitssystem integriert. Das Arbeitssystem (inkl. Arbeitsmittel und Peripherie) sowie die verwendete Software eines Anwendungspartners definieren den Funktionsumfang, der im Rahmen der hier dargestellten Untersuchungen abgebildet werden kann. Bei der Definition der abgebildeten Funktionalitäten wurden allgemeine Gestaltungsempfehlungen multimedialer bzw. AR-basierter Lernumgebungen sowie die funktionale Ausrichtung kognitiver Assistenzsysteme berücksichtigt. Hervorzuheben ist die Realisierung der Augmentierungsakzeleratoren, welche im Vergleich mit konventionellen Medien der industriellen Arbeitsunterweisung (vgl. Kontrollmedium) eine wesentliche funktionale Erweiterung in Lernprozessen repräsentieren. In Verbindung mit der abgebildeten Peripherie können u.a. Instruktionen unmittelbar am Montageort sowie Rückmeldungen zur aktuellen Ausführung und zum Ausführungsergebnis realisiert werden. Der Einsatz virtueller Elemente erfolgt in Anpassung an das Verhalten der Lernenden (phasenadaptiv).

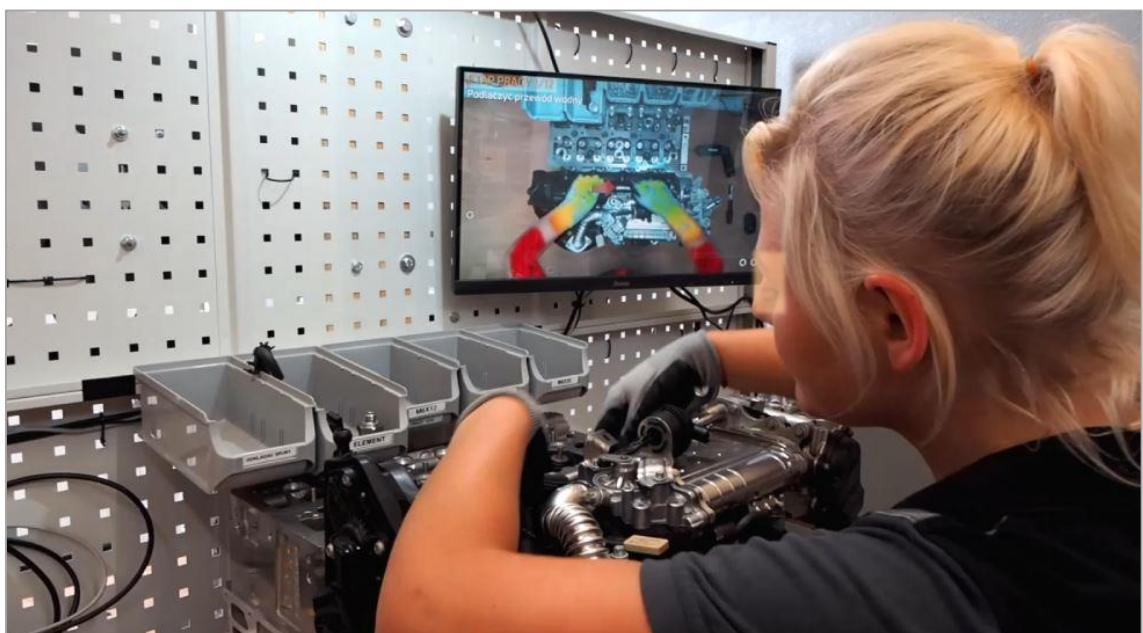


Abbildung 3.2.3-9: Probandin während der Nutzung der AR-basierten Anwendung (2. Phase)

3.2.4 Implementierung des Kontrollmediums

Im Hinblick auf die Realisierung einer Kontrollgruppenuntersuchung wurde parallel zum AR-basierten Lernmedium ein spezifisches Lernmedium zur Anwendung innerhalb der Kontrollgruppe entwickelt (vgl. Kapitel 3.1.3). Das Medium orientiert sich an gängigen Unterweisungsmedien der industriellen Montage. Die implementierten Funktionalitäten sowie die Bedienoberfläche (User-Interface) werden im folgenden Kapitel dargestellt.

3.2.4.1 User-Interface

Wie bei der AR-basierten Anwendung orientiert sich die Informationsdarstellung des Kontrollmediums an den Inhalten industrieller Unterweisungsmedien. Zudem dienen die bereits vorhandenen Unterweisungsunterlagen (Text-Bild-Kombination) des industriellen Anwendungspartners als Referenz. Hierbei wird generell unterschieden zwischen einer Gesamtübersicht aller Arbeitsschritte verschiedener Produktvarianten an einer Arbeitsstation (Standardarbeitsblatt - SAB) und der detaillierten Beschreibung einzelner Arbeitsschritte (Arbeitsschrittblatt - ASB). Die hier entwickelte Darstellung orientiert sich inhaltlich an der detaillierten Darstellung auf Arbeitsschrittebene.

Analog zu den Inhalten der AR-basierten Anwendung werden arbeitsschrittspezifische Inhalte dargestellt:

- Inhaltsbeschreibung zum aktuellen Arbeitsschritt
- Informationen zu benötigten Bauteilen
- Informationen zu benötigten Werkzeugen
- Abbildung des Montageergebnisses bei erfolgreicher Ausführung

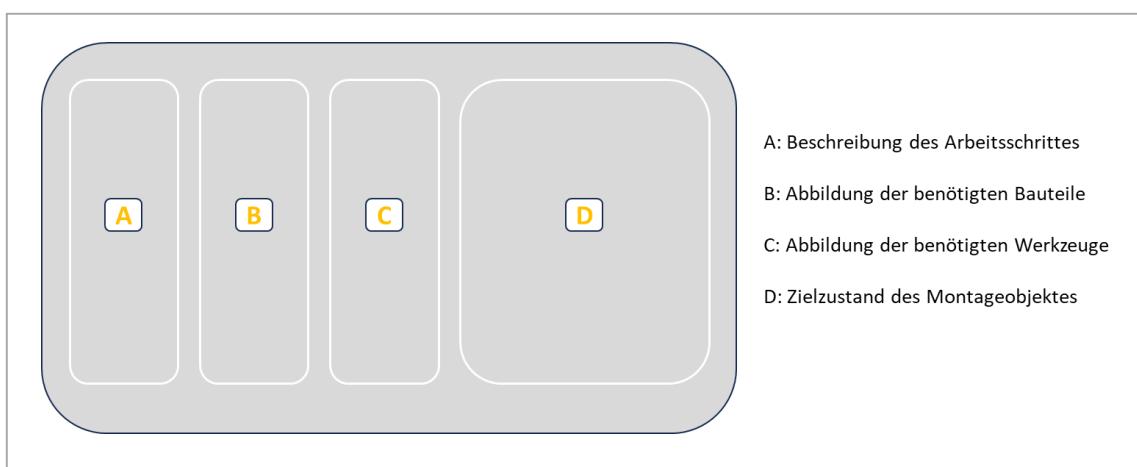


Abbildung 3.2.4-1: Anordnung der Inhalte des Kontrollmediums

Die hier definierten Inhalte werden über einen stationären 24 Zoll Touch-Monitor mit integrierten Lautsprechern visualisiert.

3.2.4.2 Funktionalitäten und Elemente

Die Definition der abzubildenden Funktionen orientiert sich an den Funktionen der AR-basierten Anwendung sowie den technischen Möglichkeiten einer gängigen Text-Bild-Kombination in Verbindung mit der zur Verfügung stehenden Peripherie. Daraus lassen sich für das Kontrollmedium folgende Funktionen ableiten bzw. übernehmen:

- (1) *Information*: Durch diese Funktion werden Informationen zum aktuellen Arbeitsschritt abgebildet.
- (2) *Lokalisierung*: Diese Funktion soll die Nutzenden dabei unterstützen benötigte Bauteile, Werkzeuge oder Entnahme- und Zielpositionen ohne größeren Suchaufwand zu lokalisieren.
- (3) *Identifikation*: Neben der Lokalisierung relevanter Arbeitsmittel werden Informationen zur eindeutigen Identifikation der relevanten Objekte ergänzt.
- (4) *Anleitung und Instruktion*: Diese Funktion umfasst instruktive Informationen, die den Nutzenden das Ergebnis der erfolgreichen Ausführung der Arbeitsschritte demonstriert.
- (5) *Ablaufsteuerung und Transition*: Nutzende können aktiv die Geschwindigkeit des Lernprozesses beeinflussen bzw. steuern.

Die Realisierung der definierten Funktionen erfolgt hauptsächlich durch die Bereitstellung ergänzender Texte und Grafiken (F1 bis F4). Lernende erhalten Informationen zum aktuellen Arbeitsschritt (Nummerierung und Beschreibung) sowie zu den benötigten Arbeitsmitteln (Text und Grafik) und dem definierten Zielzustand des Montageobjektes nach der Ausführung des aktuellen Arbeitsschrittes (Grafik inkl. Betonung von Kernpunkten). Durch die Einbindung von geeigneten Steuerelementen und der Nutzung der vorhandenen Peripherie-Funktionalität (Multi-Touch-Funktion), können Lernende selbstständig zwischen den Arbeitsschritten navigieren (F5) und sich dargestellte Abbildungen bzw. einzelne Bildbereiche vergrößert darstellen lassen (Zoomen).

Tabelle 3.2.4-1: Funktionen und Elemente des Kontrollmediums

Funktion	Information	Darstellungsart / Beispiel	Virtuelles Element
F1: Information	Arbeitsschrittnummerierung	Schritt X (aktueller Arbeitsschritt)	Text
	Arbeitsschrittbezeichnung	Bsp.: Haltermontage	Text
F2: Lokalisierung	Entnahmeposition	Angabe der Entnahmestelle (Behälter)	Text
	Zielposition	Pfeile am Montageobjekt	Pfeile und Kreise (rot)

Funktion	Information	Darstellungsart / Beispiel	Virtuelles Element
F3: Identifikation	Bauteile, Werkzeuge	Abbildung der benötigten Bauteile und Werkzeuge	Bild
	Fügeelemente (Schrauben)	Abbildung der benötigten Schrauben	Bild + Text
F4: Anleitung und Instruktion	Instruktion	Visualisierung des Montageergebnisses (Zielzustand)	Bild
	Kernpunkte	Bsp.: Anzugsreihenfolge mehrerer Schrauben	Text
F5: Ablaufsteuerung	—		Steuerungselement (Button)
	—		vor = navigieren zum nächsten Arbeitsschritt
	—		zurück = navigieren zum vorherigen Arbeitsschritt

Bei der Verwendung des Steuerelementes wird ein Bestätigungssignal erzeugt, wodurch der Wechsel zwischen den einzelnen Arbeitsschritten auditiv bestätigt wird. Der Abgleich zwischen dem abgebildeten Zielzustand eines Arbeitsschrittes und dem Ergebnis der eigenen Ausführung erfolgt durch die Lernenden selbst. Sie entscheiden eigenständig, ob der Arbeitsschritt abgeschlossen wurde und navigieren sich über das Steuerelement zum nachfolgenden Arbeitsschritt (vgl. Abbildung 3.2.4-2).

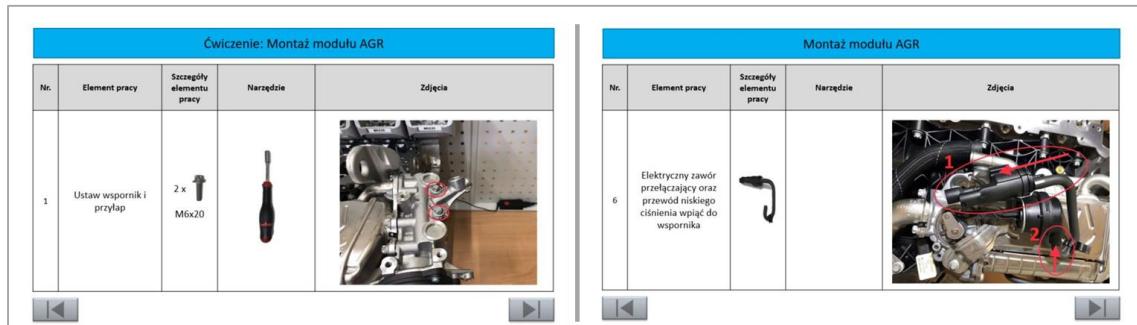


Abbildung 3.2.4-2: Darstellung einzelner Arbeitsschritte über das Kontrollmedium

3.2.4.3 Zusammenfassung

Das Kontrollmedium orientiert sich inhaltlich an den gängigen Unterweisungsmedien der industriellen Montage (Text-Bild-Kombination). Die Peripherie dieses Arbeitssystems entspricht, abgesehen von der Tiefenkamera, der Peripherie des AR-basierten Arbeitssystems. Die arbeitsschrittbezogenen Informationen werden den Nutzenden ebenfalls über einen 24 Zoll Monitor präsentiert. Durch die Nutzung der Multi-Touch Funktion des Monitors können Grafiken vergrößert dargestellt werden. Abgebildete Steuerelemente ermöglichen den Nutzenden die Navigation zwischen den einzelnen Arbeitsschritten. Zu betonen ist die im Vergleich zum AR-basierten Arbeitssystem selbständige Beurteilung und Entscheidung zum Abschluss eines Arbeitsschrittes (vgl. Entscheidungsassistenz). Der Abgleich zwischen dem eigenen Arbeitsergebnis und dem abgebildeten Zielzustand (Grafik) erfolgt selbstständig durch die Lernenden.



Abbildung 3.2.4-3: Integration des Kontrollmediums

3.2.5 Implementierung eines Mediums zur Unterstützung der Lernerfolgskontrolle

Dieses Medium begleitet die Lernerfolgskontrolle (LEK) und bietet Lernenden eine definierte Hilfestellung bei der Ausführung der bereits bekannten Arbeitsschritte aus dem AR- bzw. Text-Bild-Kombination (Kontrollmedium) -gestützten Lernszenario. Während der Lernerfolgskontrolle steht weder das AR-basierte noch das Kontrollmedium zur Verfügung. Sollten Schwierigkeiten bei der Ausführung der Arbeitsschritte auftreten, können die Versuchspersonen einen reduzierten Informationsumfang des Kontrollmedium nutzen.

3.2.5.1 User-Interface

Das LEK-Medium betont inhaltlich zwei Aspekte der Arbeitsaufgabe. Neben Informationen zur Aufgabenstruktur (Reihenfolge bzw. Nummerierung der Arbeitsschritte) werden Montageergebnisse (Zielzustände) abgebildet. Die Darstellung dieser Inhalte findet auf verschiedenen Ebenen der Benutzeroberfläche statt (vgl. Abbildung 3.2.5-1).

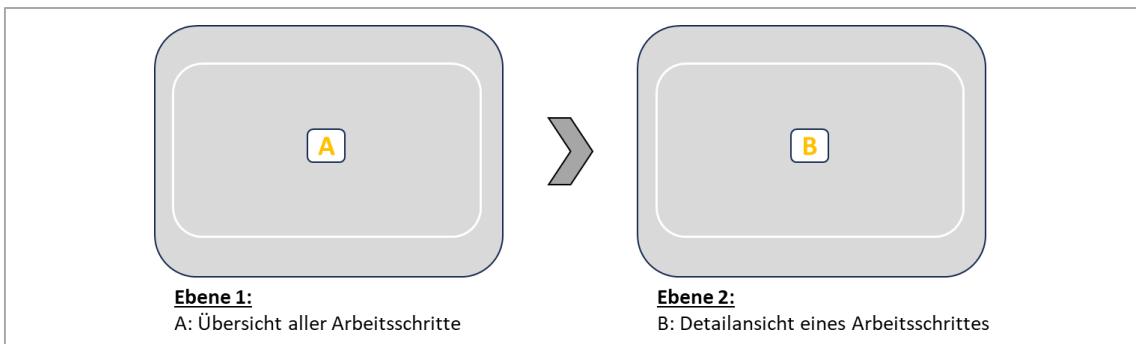


Abbildung 3.2.5-1: Anordnung der Inhalte des LEK-Mediums

3.2.5.2 Funktionalitäten und Elemente

Die definierten Inhalte werden den Funktionen der Information (1), der Lokalisierung (2), der Instruktion (3) sowie der Funktion der Ablaufsteuerung (4) zugeordnet und entsprechend realisiert.

Tabelle 3.2.5-1: Funktionen und Elemente des LEK-Mediums

Funktion	Information	Darstellungsart / Beispiel	Virtuelles Element
F1: Information	Arbeitsschrittnummerierung	Schritte 1 bis 7 (Montage)	Text
		Schritte 8 bis 12 (Demontage)	
F2: Lokalisierung	Zielposition	Pfeile am Montageobjekt	Pfeile und Kreise (rot)
F3: Anleitung und Instruktion	Instruktion	Visualisierung des Montageergebnisses (Zielzustand)	Bild
	Kernpunkte	Bsp.: Anzugsreihenfolge mehrerer Schrauben	Text
F4: Ablaufsteuerung	—	—	Steuerungselement (Button) Ebene 1: Navigation zu einem Arbeitsschritt Ebene 2: Navigation zur Übersicht aller Arbeitsschritte

Der Funktionsumfang sowie die verwendeten Elemente orientieren sich an der Implementierung des Kontrollmediums, werden jedoch in deutlich reduzierter Form abgebildet. Zu den einzelnen Arbeitsschritten werden hauptsächlich die entsprechende Arbeitsschrittnummer sowie das geforderte Montageergebnis abgebildet. Nutzende können selbständig einen Arbeitsschritt auswählen (Ebene 1) zu dem eine Hilfestellung in Form instruktiver Informationen benötigt wird (Ebene 2). Hierzu werden Kenntnisse zur Aufgabenstruktur benötigt, da ausschließlich die Arbeitsschrittnummern präsentiert werden. Die Ausführungen im Rahmen der Lernerfolgskontrolle finden ohne die zuvor implementierten Lehr-Lern-Medien statt (vgl. Abbildung 3.2.5-2).

POMOC

Montaż			
Element pracy 1	Element pracy 2	Element pracy 3	Element pracy 4
Element pracy 5	Element pracy 6	Element pracy 7	
Demontaż			
Element pracy 8	Element pracy 9	Element pracy 10	Element pracy 11
Element pracy 12			



Montaż modułu AGR



Ebene 1:
Übersicht aller Arbeitsschritte inkl. Navigationselemente

Ebene 2:
Detailansicht eines Arbeitsschrittes inkl. Navigationselement

Abbildung 3.2.5-2: Implementierung des LEK-Mediums

134

4 Darstellung der empirischen Untersuchungen

In diesem Kapitel werden die empirischen Untersuchungen zum Einsatz einer Augmented Reality-basierten Anwendung innerhalb eines Qualifizierungsszenarios der manuellen Serienmontage dargestellt. Bezogen auf den zentralen Untersuchungsgegenstand, die Wirksamkeit einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung, werden vier forschungsleitende Fragen formuliert, die durch die Ableitung entsprechender Hypothesen spezifiziert werden. Anschließend wird das entwickelte Untersuchungsdesign, notwendige Vorarbeiten sowie die angewandten Instrumente und Methoden der Datenerfassung beziehungsweise der Datenauswertung erläutert.

4.1 Forschungsleitende Fragen und Hypothesen

Die vorliegende Arbeit beschreibt empirische Untersuchungen zum arbeitsnahen Erlernen manueller Montagefertigkeiten unter Verwendung einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung. Das hier entwickelte Konzept eines AR-gestützten Montagetrainings zielt darauf ab, die **Wirksamkeit von AR-basierten Anwendungen im Kontext betrieblicher Unterweisungsprozesse der manuellen Serienmontage** mehrdimensional zu untersuchen (vgl. Kapitel 1.2). Die aus den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse zur Wirksamkeit tragen im weiteren Verlauf dieser Arbeit zur Diskussion der grundsätzlichen Eignung AR-basierter Anwendungen im Zusammenhang der betrieblichen Arbeitsunterweisung bei.

Ausgehend von der Wirksamkeit AR-basierter Lehr-Lern-Anwendung bei der Vermittlung manueller Montagefertigkeiten, die den zentralen Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit darstellt, wurden vier forschungsleitende Fragen abgeleitet. Im Sinne ungerichteter Unterschieds- beziehungsweise Zusammenhangshypothesen wurden zudem untersuchungsspezifische Hypothesen gebildet, welche basierend auf den Ergebnissen der quantitativen Datenanalyse diskutiert und interpretiert werden:

- (1) **Lassen sich Unterschiede hinsichtlich des Lernverhaltens der Versuchspersonen unter Einsatz einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung im Vergleich zu einem gängigen industriellen Unterweisungsmedium (Kontrollmedium) identifizieren?**

Die erste Fragestellung fokussiert das Lernverhalten der Nutzenden der AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung. Anlehnend an die Grundlagen zur Beschreibung des Arbeitslernens (vgl. Kapitel 2.1.2) werden erste eigene Ausführungen der Arbeitstätigkeit durch Lernende bei der Bewältigung der Arbeitsaufgabe analysiert (Montagetraining). Die Untersuchung des Lernverhaltens wird neben der Betrachtung der motorisch-aktiven Nutzungsphasen durch den Einbezug moto-

risch-passiver Phasen ergänzt (vgl. Kapitel 2.1.4.3). Durch diese Vorgehensweise wird eine differenzierte Analyse der Nutzungsintensität des Lernmediums im Kontext des Lernprozesses ermöglicht.

- **Hypothese 1.1:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der *Observationszeiten* während des Montagetrainings.
- **Hypothese 1.2:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der *Ausführungszeiten* während des Montagetrainings.
- **Hypothese 1.3:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der *Montagefehler* während des Montagetrainings.
- **Hypothese 1.4:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen einzelnen personalen Merkmalen und einzelnen Variablen des Lernverhaltens.

(2) Lassen sich Unterschiede hinsichtlich des objektiven und subjektiven Lernerfolgs unter Einsatz einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung im Vergleich zu einem gängigen industriellen Unterweisungsmedium (Kontrollmedium) identifizieren?

Die zweite Fragestellung konzentriert sich auf die Analyse des Lernerfolgs der Nutzenden. Das Ziel des vorgelagerten Montagetrainings besteht in der Vermittlung aller notwendigen (Teil-) Arbeitsschritte, welche für eine erfolgreiche Bewältigung der definierten Arbeitsaufgabe notwendig sind. Der Lernerfolg wird in der vorliegenden Untersuchung überwiegend im Sinne einer Leistungsmessung (Performanz) definiert. Die Analyse des Lernerfolgs bzw. der Performanz orientiert sich demnach an der Einhaltung der definierten Durchführungsbedingungen sowie an gängigen Qualitäts- und Leistungsmerkmalen der industriellen Praxis. Ergänzt wird diese arbeitswissenschaftlich geprägte Perspektive durch eine Selbsteinschätzung der Lernenden bezogen auf den Erreichungsgrad der Lernzielstufen des eigenständigen und geleiteten Nachvollzugs.

- **Hypothese 2.1:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der unmittelbar nach dem Montagetraining durchgeführten *Selbsteinschätzungen* der Versuchspersonen.
- **Hypothese 2.2:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der *Ausführungszeiten* während der Durchführung der Lernerfolgskontrolle (LEK) beobachten.
- **Hypothese 2.3:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich des *Fehleraufkommens* während der Durchführung der Lernerfolgskontrolle (LEK).

- **Hypothese 2.4:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der *Nutzung des Mediums zur Unterstützung der Lernerfolgskontrolle*.
- **Hypothese 2.5:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen einzelnen personalen Merkmalen und einzelnen Variablen des Lernerfolgs.

(3) Lassen sich Unterschiede hinsichtlich der Wahrnehmung des Lernmediums und der Arbeitsaufgabe zwischen der Experimental- (AR) und der Kontrollgruppe (ASB) identifizieren?

Die dritte Fragestellung ist auf die subjektiven Wahrnehmungen der Versuchspersonen im Rahmen des Montagetrainings ausgerichtet. Neben dem empfundenen Nutzen der Lernmedien (Usability) innerhalb des Lernprozesses wird die empfundene Arbeitsbelastung (Workload) während der Bearbeitung der abgebildeten Arbeitsaufgabe erfasst und diskutiert. Unter Einbezug entsprechender Referenzwerte (vgl. Kapitel 4.5.3.2) ermöglicht diese Analyse zudem Rückschlüsse auf die abgebildete Beanspruchung der Lernenden durch die Arbeitsaufgabe sowie auf die zielgruppenadäquate Gestaltung der im Rahmen dieser Arbeit implementierten Lernmedien.

- **Hypothese 3.1:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der von den Versuchspersonen *subjektiv wahrgenommenen Arbeitsbelastung* während des Montagetrainings.
- **Hypothese 3.2:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich des von den Versuchspersonen *situativ wahrgenommenen Nutzens* des gruppenspezifischen Lernmediums im Lernprozess.
- **Hypothese 3.3:** Es bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen einzelnen personalen Merkmalen und der Wahrnehmung des Lernmediums sowie der Arbeitsaufgabe.

(4) Lassen sich einzelne Funktionalitäten sowie virtuelle Elemente der AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung hervorheben, welche den Nutzen des Mediums im Lernprozess und den Lernerfolg erhöhen?

Die vierte Fragestellung adressiert eine wirksamkeitsfördernde Gestaltung AR-basierter Lehr-Lern-Anwendungen. Im Rahmen dieser Fragestellung soll untersucht werden, ob spezifische virtuelle Elemente und Funktionalitäten des Lernmediums identifiziert werden können, die von den Nutzenden bezüglich ihres Nutzens im Lernprozess hervorgehoben werden und somit zur Wirksamkeit der AR-basierten Anwendung beitragen. Diese Analyse ist limitiert durch den in Kapitel 3.2 definierten Funktionsumfang und umfasst ausschließlich die hier implementierten

Funktionalitäten sowie virtuellen Elemente. Zudem werden Zusammenhänge zwischen der Nutzungsintensität des Lernmediums, den Erfolgskriterien des Montagetrainings sowie der Lernerfolgskontrolle (Bsp.: Fehleraufkommen, Fehlerart) analysiert.

- **Hypothese 4.1:** Im Rahmen einer spezifischen Evaluation der implementierten *AR-basierten Elemente* lassen sich einzelne Elemente hinsichtlich ihrer Unterstützungsleistung im Lernprozess hervorheben.
- **Hypothese 4.2:** Im Rahmen der Analyse des Montagetrainings (vgl. Lernverhalten) lassen sich Unterschiede hinsichtlich der *Nutzungsintensität der systemgenerierten Handlungsinstruktion* ermitteln.
- **Hypothese 4.3:** Es bestehen statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Wahrnehmung beziehungsweise der Nutzung spezifischer Elemente des AR-basierten Lernmediums und einzelnen Variablen des Lernerfolgs sowie einzelnen personalen Merkmalen der Versuchspersonen.

Die vier Fragestellungen werden sowohl theoriegeleitet als auch durch quantitative Untersuchungsmethoden bearbeitet. Sie repräsentieren eine explorative Auseinandersetzung mit dem dargestellten Forschungsthema.

Ergänzend werden unter anderem weitere Analysen bezüglich der Merkmale und Eigenschaften der Nutzenden sowie der subjektiven Wahrnehmung der eingesetzten Lernmedien (Bsp.: Usability) im Rahmen der Untersuchungen vorgenommen. Diese Analysen bieten Unterstützung bei der Einordnung medienspezifischer Ergebnisse und bei der Beurteilung der hier entwickelten Lernmedien sowie deren Eignung für die Vermittlung berufsmotorischer Fertigkeiten. Weitere Annahmen, welche im Verlauf der Auswertung entwickelt wurden, werden im entsprechenden Ergebnisteil (Kapitel 5) dargestellt.

4.2 Untersuchungsdesign

Basierend auf den zuvor dargestellten Untersuchungsgegenständen und Fragestellungen wurde eine Untersuchungsform definiert sowie ein umfassendes Untersuchungsdesign entwickelt. Eine wesentliche Herausforderung bestand unter anderem darin, geplante Untersuchungen in die Prozesse und in die Umgebung eines betrieblichen Qualifizierungsszenarios zu integrieren.

4.2.1 Generelles Vorgehen

Im Sinne eines *Feldexperiments* fanden die vorliegenden Untersuchungen im Rahmen eines betrieblichen Qualifizierungsszenarios (*Onboarding-Phase bzw. Basisqualifizierung*) statt. Die innerhalb dieses Szenarios vorgesehenen Unterweisungseinheiten erstrecken sich über insgesamt drei Tage. Innerhalb dieser drei Tage erfolgte die Basisqualifizierung von 30 bis 40 Mitarbeitenden. In Form von Gruppen- sowie Einzelunterweisungen erfolgte die strukturierte Vermittlung

produkt- und montagespezifischer Kenntnisse sowie Fertigkeiten. Alle während des Untersuchungszeitraums anwesenden Mitarbeitenden wurden auf freiwilliger Basis als Versuchspersonen in die Untersuchung aufgenommen. Die geplanten Qualifizierungsmaßnahmen fanden ausschließlich im Umfeld einer betrieblichen Lerninsel statt.

Das Untersuchungsdesign umfasst zwei Untersuchungsabschnitte, welche in das betriebliche Qualifizierungsszenario sowohl prozessual als auch inhaltlich integriert wurden. Die Untersuchungen wurden in Form einer Kontrollgruppenuntersuchung durchgeführt. Durch die Integration der Untersuchung in ein reales betriebliches Qualifizierungsszenario wird die natürliche Umgebung einer manuellen Serienmontage sowie eine zielgruppenadäquate Auswahl an Versuchspersonen abgebildet. Alle Versuchspersonen durchlaufen die entsprechende Arbeitsstation bzw. den Versuchsaufbau innerhalb der ersten zwei Tage nach ihrer Ankunft in der betrieblichen Lerninsel. Die gewählte Untersuchungsform (Feldexperiment) soll eine hohe externe Validität der Untersuchungsergebnisse gewährleisten (vgl. Stein 2019, S. 129 ff.).

Im Hinblick auf die Untersuchung bestehender Ursache-Wirkungszusammenhänge im Rahmen der Hypothesentests wurden Maßnahmen zur Kontrolle potentieller Störfaktoren berücksichtigt. Grundsätzlich werden konstante Versuchsbedingungen über den gesamten Untersuchungszeitraum angestrebt und über standardisierte Abläufe sowie Inhalte umgesetzt. Darüber hinaus erfolgt zur Kontrolle der Versuchsbedingungen die stichhaltige Bildung von Experimental- und Kontrollgruppen. Durch Matchen beziehungsweise Parallelisierung werden zu Beginn der Untersuchung zwei Parallelgruppen mit gleichen Ausprägungen einzelner Merkmale gebildet (vgl. Stein 2019, S. 130). Im Rahmen der initialen Gruppenzuweisung wurden als potentielle Einflussfaktoren das Alter (Dispositionsmerkmal) und das Geschlecht (Konstitutionsmerkmal) der Versuchspersonen sowie die medien- und aufgabenbezogenen Vorkenntnisse inklusive des Resultats des vorgelagerten Montage- und Werkzeugtrainings (Kompetenzmerkmale) als Differenzierungsmerkmale betrachtet.

In Anbetracht der Erkenntnis, dass Qualifizierungsprozesse im Umfeld der industriellen Montage eine heterogene Zielgruppe adressieren, wurde bei der initialen Gruppenzuweisung eine entsprechende Heterogenität hinsichtlich der Ausprägung soziodemografischer und kompetenzorientierter Faktoren innerhalb beider Gruppen angestrebt. Die Realisierung dieser Zielsetzung wird durch die beschriebene Parallelisierung der Stichproben begünstigt.

Nach der Erfassung der personenbezogenen Merkmale sowie der Bildung der Parallelgruppen erfolgte die Durchführung des Montagetrainings (Lernprozess). Vor der Bearbeitung der eigentlichen Arbeitsaufgabe fand eine Demonstrationsphase statt, welche der Einweisung der Versuchspersonen hinsichtlich der technischen Ausstattung des Arbeitsplatzes diente. Der Experimentalgruppe wurde die hier entwickelte Anwendung zum AR-basierten Montagetraining als Unterweisungsmedium zur Verfügung gestellt. Die Kontrollgruppe nutzte die in dieser Arbeit dargestellte Variante einer digitalisierten Text-Bild-Beschreibung der Arbeitsschritte, welche ein gängiges Unterweisungsmedium der industriellen Montage repräsentiert. Die Arbeitsaufgabe, bestehend aus mehreren Arbeitsschritten der AGR-Modul Montage, wurde von allen Versuchspersonen unter Nutzung des jeweiligen Lernmediums dreimal absolviert.

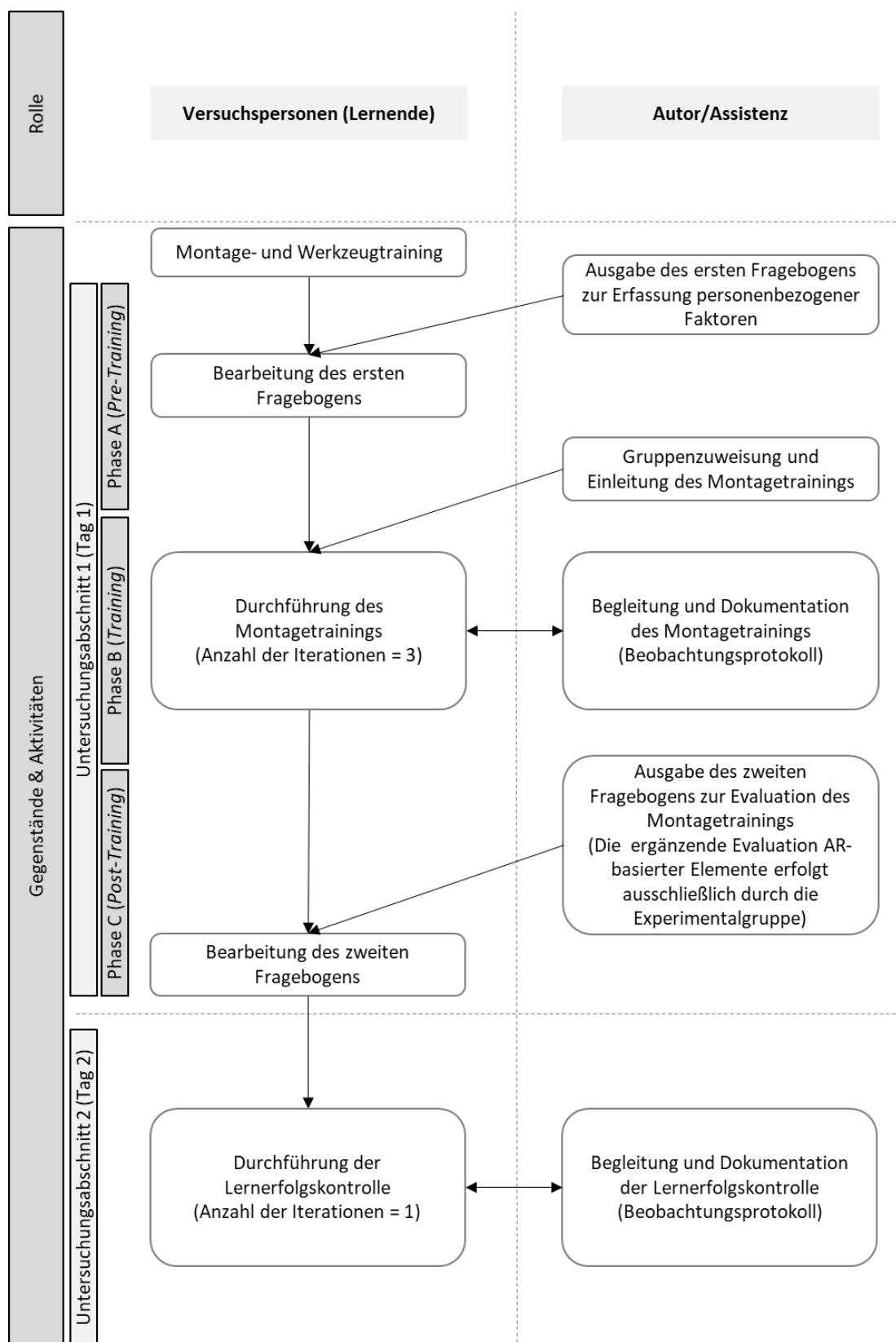


Abbildung 4.2.1-1: Darstellung des Untersuchungsdesigns

Um die Einhaltung des zeitlichen Ablaufs sowie des definierten Verbauungszustandes der Montageobjekte zu gewährleisten, wurde der Rückbau (Demontage) des Montageobjekts in den Anfangszustand ebenfalls in den Lernprozess integriert. Zu Beginn jeder Iteration wurde die Einhaltung des definierten Ausgangszustandes des Arbeitsplatzes sowie der Montageobjekte überprüft und sichergestellt. Das Montagetraining wurde an beiden Arbeitsstationen durch Beobachtungsprotokolle und Videoaufnahmen erfasst. Zum Abschluss des ersten Untersuchungsabschnittes erfolgte die Evaluation des Montagetrainings durch die Versuchspersonen. Diese Datenerfassung wird auf der Seite der Experimentalgruppe durch eine dedizierte Bewertung einzelner Elemente der AR-basierten Anwendung ergänzt.

Der zweite Untersuchungsabschnitt findet einen Tag (24 Stunden) nach dem Montagetraining statt. Dieser Abschnitt beschreibt die Durchführung einer Lernerfolgskontrolle (LEK). Die Aufgabe der Versuchspersonen beider Gruppen besteht darin, die vom Vortag bekannte Arbeitsaufgabe ohne Systemunterstützung zu bewältigen. Um im Bedarfsfall Hilfestellungen bei der Reproduktion der Arbeitsschritte anzubieten, wurde ein spezifisches Medium für die Lernerfolgskontrolle implementiert (vgl. Kapitel 3.2.5). Die Durchführung der Lernerfolgskontrolle wird ebenfalls durch Beobachtungsprotokolle sowie Videoaufnahmen erfasst und erfolgt nach einer standardisierten Einweisung der Versuchspersonen (vgl. Abbildung 4.2.1-1).

4.2.2 Versuchsaufbau

Zur Realisierung eines möglichst effizienten Ablaufs der Kontrollgruppenuntersuchung wurden zwei identische Arbeitsplätze bzw. Arbeitssysteme implementiert.

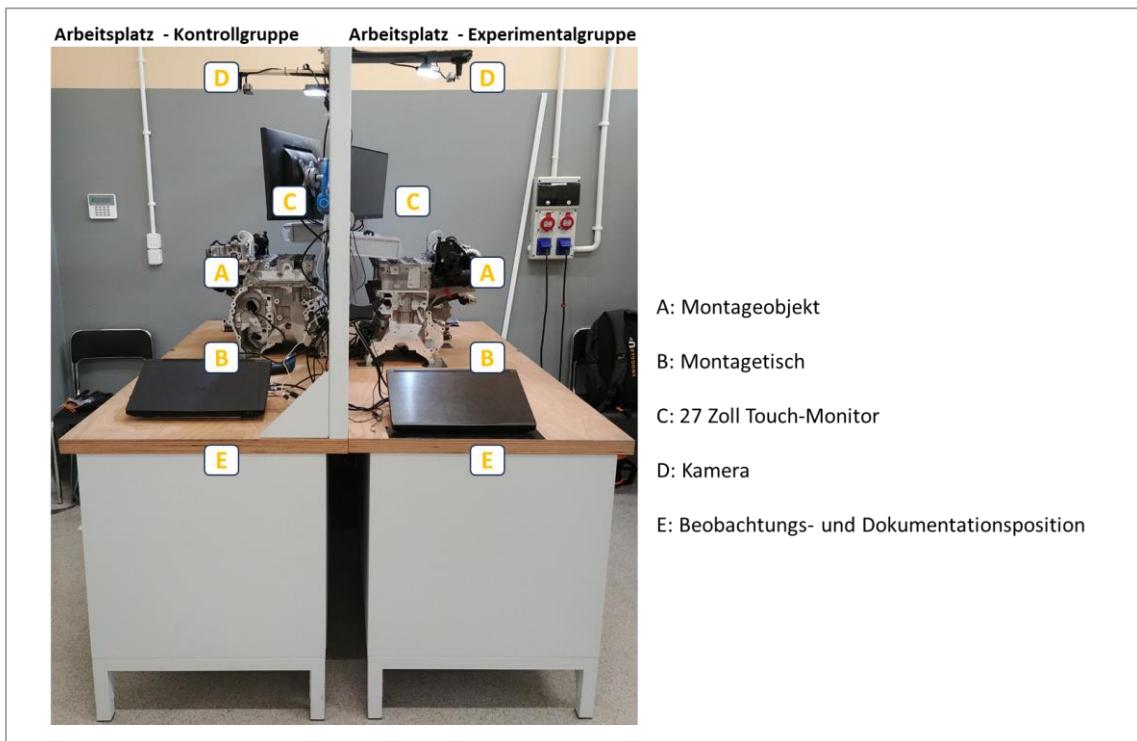


Abbildung 4.2.2-1: Versuchsaufbau - Zwei identische Arbeitssysteme

Wie bereits in Kapitel 3.2 dargestellt, entspricht der Aufbau des mit dem Kontrollmedium ausgestatteten Arbeitsplatzes (abgesehen von der AR-spezifischen Kameratechnik) dem Aufbau des AR-gestützten Arbeitsplatzes. Die zu bewältigende Arbeitsaufgabe beider Stationen ist ebenfalls identisch. Die beiden Arbeitsstationen werden gegenüberliegend angeordnet (vgl. Abbildung 4.2.2-1).

Während der Durchführung des Montagetrainings und der Lernerfolgskontrolle befindet sich jeweils eine Versuchsperson der beiden Versuchsgruppen an dem entsprechenden Arbeitsplatz. Der Autor übernahm die Beobachtung und Dokumentation auf der Seite der Experimentalgruppe. Um einen effizienten Parallelablauf innerhalb des Versuchsaufbaus zu realisieren, übernahm eine Assistenzperson die entsprechende Funktion auf der Seite der Kontrollgruppe.

4.2.3 Einführung der Versuchspersonen

Bevor die Versuchspersonen mit der Bearbeitung der Arbeitsaufgabe begannen bzw. in die Lernphase übergeleitet wurden, fand eine Einführungseinheit statt. Während dieser Einheit wurde den Versuchspersonen der zeitliche Ablauf und die Zielsetzung der Untersuchung sowie der dargestellte Versuchsaufbau inklusive der zu verwendenden Lernmedien erläutert. Diese Erläuterungen wurden in Form animierter Instruktionsvideos in polnischer Sprache realisiert.

4.2.3.1 Einführung in den Versuchsaufbau und Versuchsablauf

Die dargebotenen Instruktionsfilme stellen den grundsätzlichen Ablauf sowie Informationen zum Versuchsaufbau und der Arbeitsaufgabe dar. Es wird darauf hingewiesen, dass an beiden gegenüberliegenden Arbeitsstationen, unter Verwendung unterschiedlicher Lernmedien, definierte Arbeitsschritte der AGR-Modulmontage erlernt werden. Es wird erwähnt, dass sowohl die Arbeitsschritte zur Montage als auch zur Demontage dreimal hintereinander durchgeführt werden. Zudem erfolgt der Hinweis, dass die Arbeitsschritte selbstständig und möglichst ohne Einbezug der Beobachtenden ausgeführt werden sollen. Es erfolgt eine gruppenspezifische Einführung bezüglich der Nutzung der Lernmedien, bei der die Bedienung sowie dargebotene Funktionalitäten der Lernmedien erläutert werden. Zum Ende der Instruktionsfilme wird die bevorstehende Test- und Demonstrationsphase angekündigt (vgl. Abbildungen 4.2.3-1 u. 4.2.3-2).

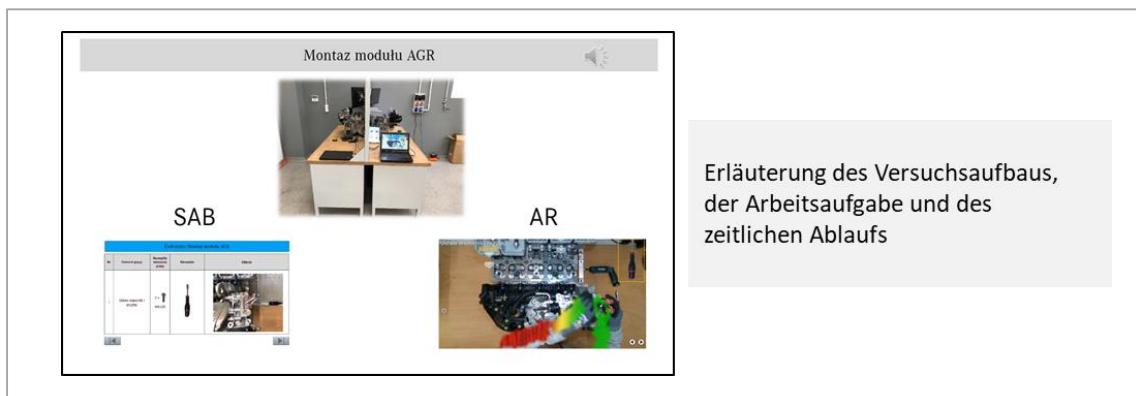


Abbildung 4.2.3-1: Auszüge der Instruktionsfilme I

Zur Einführung in die Untersuchung wurden drei medien- und gegenstandsspezifische Instruktionsfilme erstellt. Neben den Instruktionen bezüglich des Montagetrainings (spezifische Darstellungen beider Lernmedien) wurde ein Instruktionsfilm zur Erläuterung der Lernerfolgskontrolle (Ablauf der LEK und LEK-Medium) entwickelt.

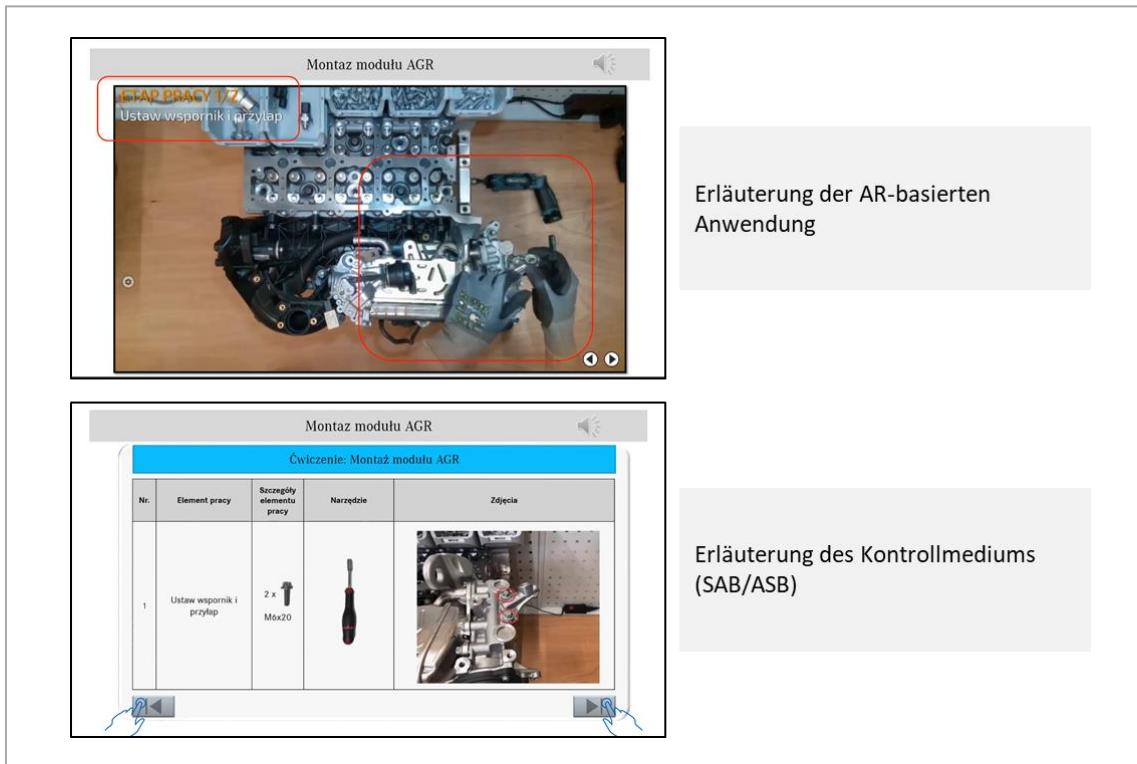


Abbildung 4.2.3-2: Auszüge der Instruktionsfilme II

4.2.3.2 Einführung in die Nutzung des Lernmediums

Zur Erläuterung der Bedienung und Anwendung der Lernmedien wurde unmittelbar vor der Durchführung der Arbeitsaufgabe (AGR-Modul Montage) eine Test- und Demonstrationsphase durchgeführt. Diese Phase diente nicht ausschließlich der Vermittlung der Bedienung der Lernmedien, sondern ermöglichte den Versuchspersonen erste Erfahrungen im Umgang mit den Systemen zu sammeln (vgl. Webel 2011, S. 98).

Zu Beginn demonstrierten der Versuchsleiter bzw. die Assistenzperson die Nutzung der AR-basierten Anwendung bzw. der digitalisierten Text-Bild-Kombination (SAB/ASB) anhand von zwei definierten Arbeitsschritten (Drucksensor-Halter montieren und verschrauben).

Tabelle 4.2.3-1: Arbeitsschritte der Test- und Demonstrationsphase

Demonstrationsphase	Nr.	Inhalt	Werkzeug	Verbindungselement	Anzahl	Fügervorgang
	0.1	Drucksensor -Halter montieren	Schraubendreher	Schraube M6x20	2	Anpressen, Einpressen: Anschrauben
	0.2	Drucksensor-Halter mit definiertem Drehmoment verschrauben	Akku-Knick-Schrauber	Schraube M6x20	2	Anpressen, Einpressen: Festschrauben

Im Anschluss an diese Demonstration führten die Versuchspersonen die entsprechenden Arbeitsschritte eigenständig unter Verwendung des jeweiligen Lernmediums durch.

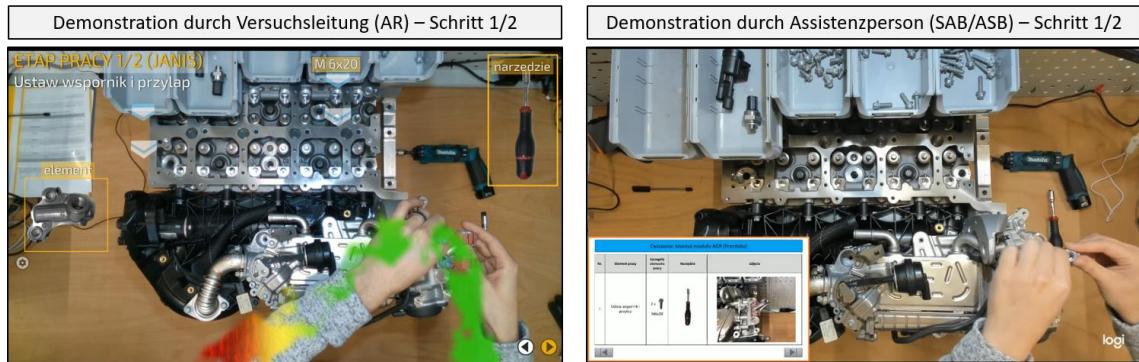


Abbildung 4.2.3-3: Auszüge der Test- und Demonstrationsphase

4.3 Vorarbeiten und Pretest

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden begleitende Untersuchungen durchgeführt, welche insbesondere der Analyse und Auswahl einzelner Messinstrumente sowie der Aufbereitung und Darstellung der Untersuchungsergebnisse dienten (vgl. Görthofer 2020; Weber 2019). Die Ergebnisse dieser begleitenden Untersuchungen sowie deren Relevanz für die Hauptuntersuchung dieser Arbeit werden in diesem Kapitel komprimiert dargestellt.

4.3.1 Recherche und Analyse definierter Messinstrumente

Bezogen auf die Erfassung personaler (interner) Merkmale sowie arbeitsaufgaben- und medienbezogener (externer) Merkmale wurden im Vorfeld zu dieser Hauptuntersuchung potentielle Messinstrumente identifiziert, diskutiert und teilweise für die vorliegende Untersuchung adaptiert. Neben konkreten Anforderungen, die das spezifische Forschungsdesign dieser Untersuchung definiert, werden an dieser Stelle Analyseergebnisse bezüglich geeigneter Messinstrumente aus explorativen Voruntersuchungen (vgl. Bortz 2002, S. 359 ff.) zusammenfassend dargestellt.

4.3.1.1 Anforderungen

Neben der Berücksichtigung allgemeingültiger Gütekriterien bezüglich der Datenqualität (Objektivität, Reliabilität, Validität) wurden ergänzende untersuchungsspezifische Anforderungen bezüglich der Auswahl potentieller Messinstrumente definiert. Hinsichtlich personaler Faktoren der Versuchspersonen wurde eine hohe Heterogenität erwartet. Sowohl fachfremde Personen als auch Versuchspersonen, welche über einen Abschluss eines technischen Studiums verfügen, gehörten zur Zielgruppe der Untersuchung. Ein Teil der teilnehmenden Personen war über einen längeren Zeitraum nicht berufstätig. Bei der Auswahl von Messinstrumenten sollte daher insbesondere die Zugänglichkeit der Instrumente (Verständlichkeit der verwendeten Begriffe, einfache Satzkonstruktionen) geprüft werden. Die vorliegende Untersuchung wurde in Polen

durchgeführt. Daher wurden neben den genannten Anforderungen der Gütekriterien sowie der Zielgruppenzugänglichkeit die Übersetzungsmöglichkeit potentieller Messinstrumente berücksichtigt. Es besteht die Möglichkeit, dass einzelne Begriffe in einer anderen Sprache unterschiedlich interpretiert werden und sich dadurch die Bewertung einzelner Items verändert. Es sollte sichergestellt werden, dass eine adäquate Übersetzung in die Zielsprache (Polnisch) möglich ist.

Bedingt durch die Integration in eine dreitägige betriebliche Qualifizierungsmaßnahme sollten potentielle Messinstrumente möglichst zeiteffizient und unter konstanten Umgebungsbedingungen im Rahmen der Untersuchung eingesetzt werden. Die Verfügbarkeit der Versuchspersonen ist zeitlich begrenzt, individuelle Erläuterungen beziehungsweise externe Eingriffe sind u.a. auf Grund sprachlicher Barrieren nicht vorgesehen.

Unter Berücksichtigung der dargestellten Anforderungen wurden potentielle Messinstrumente identifiziert und hinsichtlich ihrer Eignung für die vorliegende Untersuchung analysiert. Ergänzend wurden Erkenntnisse der Pretest-Phase zur untersuchungsspezifischen Adaption der Instrumente angewandt (vgl. Kapitel 4.3.1.2). Im Rahmen der Voruntersuchungen wurden insbesondere Messinstrumente zur Erfassung personaler Merkmale, der Usability sowie zur Erfassung der subjektiv empfundenen Arbeitsbelastung (Workload) diskutiert:

- Erfassung personaler Merkmale: Soziodemografische Merkmale, Leistungsmotiv, Selbstwirksamkeit, Emotionen
- Erfassung der Wahrnehmung des Lehr-Lern-Mediums: Usability bzw. User Experience
- Erfassung der Wahrnehmung der Arbeitsaufgabe bzw. des Lernvorgangs: Subjektiver Workload

4.3.1.2 Erfassung personaler Merkmale

Im Rahmen der Untersuchung sollten **soziodemografische Merkmale** sowie aufgaben- und medienspezifische Kenntnisse erfasst werden. In Anlehnung an demographische Standards (vgl. Beckmann et al. 2016) wurden Variablen wie Geschlecht, Alter, höchste Schulabschlüsse und berufsqualifizierende Abschlüsse in die Datenerfassung aufgenommen. Die Staatsangehörigkeit wurde nicht erfasst, da ausschließlich Versuchspersonen mit polnischer Staatsangehörigkeit erwartet wurden. Weitere Variablen wie Haushaltseinkommen und Familienstand wurden ebenfalls nicht berücksichtigt.

Leistungsmotive werden in implizite und explizite Motive unterteilt. Implizite Motive werden häufig durch projektive Verfahren erfasst. Dabei werden Personen indirekt dazu angeregt ihre Persönlichkeitsmerkmale und Motive zu offenbaren, welche ihr Verhalten in verschiedenen Situationen (hier: Lernsituation) beeinflussen. Als ein Vertreter für diese Vorgehensweise kann der thematische Apperzeptionstest (TAT) genannt werden. Hierbei erzählen Versuchspersonen Geschichten zu Bildern, welche im Kontext ihrer Erfahrungen interpretiert werden (vgl. Murray 1943). Die Durchführung solcher Tests erfordert jedoch einen hohen Aufwand, insbesondere bei

großen Personengruppen. Im Gegensatz dazu bieten Fragebogen eine alternative Methode zur Messung expliziter Motive, da sie bewusste und verbalisierbare Motive erfassen.

Ein im deutschsprachigen Raum etabliertes Messinstrument zur Erfassung des **expliziten Leistungsmotivs** stellt die *Achievement Motive Scale* (AMS) dar. Sie besteht aus 30 Items, welche die beiden Konstrukte *Hoffnung auf Erfolg* (HE) und *Furcht vor Misserfolg* (FM) erfassen (vgl. Kuhn und Göttert 1980; Gjesme und Nygard 1970). Zur Bestimmung der Ausprägung beider Konstrukte erfolgt mittels einer vierstufigen Likert-Skala die Erfassung der individuellen Angaben der Versuchspersonen. Hierdurch können Aussagen getroffen werden, ob die Hoffnung auf Erfolg oder die Furcht vor Misserfolg überwiegt (Nettohoffnung) und in welcher Ausprägung beide Konstrukte vorliegen (Gesamtleistungsmotiv). Es existiert eine reduzierte Variante der Achievement Motive Scale (zehn Items), welche eine höhere Konstruktvalidität bei ausreichender Reliabilität aufweist und ohne Anpassungen in die polnische Sprache übersetzt werden konnte (vgl. Lang und Fries 2006).

Ergänzend wurden die *Patterns of Adaptive Learning Scales* (PALS) als ein potentielles Messinstrument analysiert, jedoch aufgrund ihres Umfangs und der zeitlichen Restriktionen, bedingt durch die gegenwärtige Forschungsumgebung, nicht für die vorliegende Untersuchung berücksichtigt. Die PALS dienen der Erfassung des Einflusses der Lernumgebung auf die Motivation, des emotionalen Wohlbefindens sowie des Verhaltens der Lernenden.

Instrument	Allgemeine Gütekriterien		Zusätzliche Anforderungen	
	Objektivität	Reliabilität	Praktikabilität und Verfügbarkeit	Zielgruppenadäquatheit
AMS Gjesme & Nygard (1970) Deutsche Version Göttert & Kuhl (1980)	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat; Anweisungen zur Auswertung	Anzahl Items: 30 Bearbeitungsdauer 4 min. / leicht auszuwerten frei zugänglich	Sprache: u.a. Deutsch und Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: einfache Sprache Stichprobenzusammensetzung: Jugendliche und Erwachsene
	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .71 bis .83 HE: .71 bis .83 FM: .81 bis .89 Test-Retest-Reliabilität: .60 bis .61		
	Validität	Faktorenanalytische Konstruktion und exploratorische Faktorenanalyse; Hinweise auf Konstruktvalidität		
AMS-R Kurzform Lang & Fries (2006)	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat; Anweisungen zur Auswertung	Anzahl Items: 10 Bearbeitungsdauer 3 min.. / leicht auszuwerten frei zugänglich	Sprache: u.a. Deutsch, kein Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: teilw. akademische Sprache Stichprobenzusammensetzung: Akademiker und Erwachsene
	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .70 bis .77 HE: .83 bis .88		
	Validität	Aufwendige Evaluation der Konstruktvalidität		

Abbildung 4.3.1-1: Instrumente zur Erfassung des expliziten Leistungsmotivs
(Darstellung aus Weber 2019, S. 45)

Zur Erfassung der **Selbstwirksamkeit** wurde die General-Self-Efficacy-Scale (GSE-Scale) als potentielles Messinstrument analysiert (vgl. Schwarzer und Jerusalem 1999). Die GSE-Scale beschreibt zehn Items, welche Aussagen zu generalisierten optimistischen Selbstüberzeugungen enthalten. Die Erfassung erfolgt mittels einer vierstufigen Likert-Skala. Die Skala wurde bereits in 30 Sprachen übersetzt und wird bis heute in internationalen Studien eingesetzt. Die auf sechs Items reduzierte Variante (GSE-6), welche im Rahmen großangelegter klinischer Studien Verwendung findet, gilt ebenfalls als reliables und valides Messinstrument (vgl. Romppel et al.

2013). Der Ansatz der *ASKU-Skala* (vgl. Beierlein et al. 2012), als ein weiteres potentielles Messinstrument zur Erfassung der allgemeinen Selbstwirksamkeit, umfasst drei Items und ähnelt der GSE-Skala. Beide Skalen gelten als valide und ermöglichen eine effiziente Anwendung in sozialwissenschaftlichen Studien.

Die GSE-6 Skala wurde in die Fragebogenkonstruktion integriert, da sie bereits in großen Studien evaluiert wurde und eine kompakte Version der etablierten GSE-Skala darstellt. Kritisch zu bemerken ist, dass die Inhalte der Items der deutschen Originalversion bei der Übersetzung in die englische Sprache teilweise eine abweichende Bedeutung annehmen.

Instrument		Allgemeine Gütekriterien		Zusätzliche Anforderungen	
GSE Schwarzer & Jerusalem (1999) Schwarzer (2014)	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat; Anweisungen zur Auswertung	Praktikabilität und Verfügbarkeit Zielgruppenadäquatheit	Anzahl Items: 10 Bearbeitungsdauer 4 min. / leicht auszuwerten frei zugänglich	Sprache: Deutsch und Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: akademische Sprache Stichprobenzusammensetzung: Jugendliche, erwachsene Bevölkerung
	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .80 bis .90 Test-Retest-Reliabilität: .47 bis .75			
	Validität	Mehrjährige Entwicklung und Evaluation der Konstruktvalidität			
GSE-6 Rompell et al. (2013)	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat; Anweisungen zur Auswertung	Praktikabilität und Verfügbarkeit Zielgruppenadäquatheit	Anzahl Items: 6 Bearbeitungsdauer 3 min. / leicht auszuwerten frei zugänglich	Sprache: u.a. Deutsch und Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: teilw. akademische Sprache Stichprobenzusammensetzung: Patienten mit Risikofaktoren für Herzversagen
	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .79 bis .88 Test-Retest-Reliabilität: .50 bis .60			
	Validität	Evaluation der Konstruktvalidität			
ASKU Beierlein et al. (2012)	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat; Handanweisung und Auswertungsbogen erforderlich	Praktikabilität und Verfügbarkeit Zielgruppenadäquatheit	Anzahl Items: 3 Bearbeitungsdauer 40 Sekunden frei verfügbar	Sprache: Deutsch / kein Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: einfache Sprache Stichprobenzusammensetzung: Jugendliche, erwachsene Bevölkerung
	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .81 bis .86 Retest-Reliabilität: .50			
	Validität	Hinweise auf Konstruktvalidität			

Abbildung 4.3.1-2: Instrumente zur Erfassung der allgemeinen Selbstwirksamkeit
(Darstellung aus Weber 2019, S. 47)

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurden ergänzend Instrumente zur Erfassung von **Emotionen bzw. Gemütszuständen der Versuchspersonen** diskutiert. Als potentielle Messinstrumente wurde die deutsche Version der *PANAS Skala* und die Kurzversion der *PANAVA Skala* in Betracht gezogen.

Die deutsche Version der PANAS Skala und die Kurzversion der PANAVA Skala stellen zwei valide Messinstrumente dar. Das Akronym PANAS steht in der Originalversion für *Positive and Negative Affect Schedule*. Ziel ist hierbei die Erhebung positiver sowie negativer Gemütszustände. Die Skala kann je nach Instruktion als Messinstrument zur Erfassung der habituellen, momentanen oder aktuellen Affektivität eingesetzt werden (vgl. Breyer und Bluemke 2016). Im Rahmen der Voruntersuchung wurde die viermalige Erfassung der Gefühlslage diskutiert, um den Zeitfaktor hinsichtlich der Entscheidungsfindung ausreichend zu berücksichtigen. Die PANAVA-Kurzskala (KS) wurde vorerst ohne Modifikationen in die Fragebogenkonstruktion übernommen.

Das Messen der Valenz und der Aktivierung wurde aufgrund der zeitlichen Limitierung der Datenerhebung bzw. der begrenzten Verfügbarkeit der Versuchspersonen bereits frühzeitig für die Hauptuntersuchung ausgeschlossen (vgl. Kapitel 4.3.1.1). Daher erfolgen bezüglich dieser Messinstrumente im weiteren Verlauf der Ausarbeitung keine weiterführenden Ausführungen.

Instrument	Allgemeine Gütekriterien			Zusätzliche Anforderungen
	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat; Anweisungen zur Auswertung	Praktikabilität und Verfügbarkeit	
PANAS Watson, Clark & Tellegen (1988) Deutsche Version Krohne et al. (1996)	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .86 bis .93 Test-Retest-Reliabilität: .59	Zielgruppenadäquatheit	Sprache: Deutsch und Englisch, kein Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: akademische Sprache Stichprobenzusammensetzung: Akademiker, erwachsene Bevölkerung,
PANAVA-KS Schallberger (2005)	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat; Anweisungen zur Auswertung	Praktikabilität und Verfügbarkeit	Anzahl Items: 10 Bearbeitungsdauer 30-40 Sekunden. / leicht auszuwerten frei zugänglich
	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .76 bis .94	Zielgruppenadäquatheit	Sprache: u.a. Deutsch, kein Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: teilw. akademische Sprache Stichprobenzusammensetzung: Berufstätige Erwachsene
	Validität	Aufwendige Evaluation der Konstruktvalidität		

Abbildung 4.3.1-3: Instrumente zur Erfassung der Affektlage / des Erlebens
(Darstellung aus Weber 2019, S. 42)

4.3.1.3 Erfassung der Usability

Zahlreiche Instrumente zur Erfassung der Usability wurden gezielt für technische Produkte oder Software entwickelt. In diesem Kontext wird häufig die Frage untersucht, wie eine nachhaltige emotionale Bindung zu einem Produkt entsteht und wie diese bewertet werden kann. Diese langfristige Bindung steht im Einklang mit dem Konzept der User Experience (vgl. Kapitel 2.2.2.2). Die vorliegende Untersuchung betont den situativ wahrgenommenen Nutzen bzw. die Usability einer Lehr-Lern-Anwendung. Die Usability beschreibt einen bedeutenden Bestandteil der User Experience. Daher wurde dieser Begriff (User Experience) ebenfalls bei der Literaturrecherche verwendet.

Die System *Usability Scale* (SUS) nach Brooke (1996) gilt als ein international anerkanntes und valides Instrument zur Messung der Benutzerfreundlichkeit (Usability). Der Fragebogen umfasst zehn Items, die auf einer fünfstufigen Likert-Skala bewertet werden. Die Berechnung des Scores erfolgt durch die Umwandlung der Item-Wertungen in numerische Werte, deren Summe anschließend mit 2.5 multipliziert wird. Die zu erreichende Punktzahl liegt im Bereich von 0 bis 100 Punkten. Während der Gesamtscore aussagekräftige Informationen liefert, sind die einzelnen Items in ihrer Aussagekraft begrenzt (vgl. Brooke 1996). Eine umfassende Analyse der Usability erscheint mit diesem Instrument nicht zuverlässig durchführbar. Im Jahr 2013 wurde im Rahmen eines Projekts eine deutsche Version der Usability-Scale von Usability-Experten (SAP) und der Universität Paderborn entwickelt (vgl. Rummel 2016). Die ermittelten Werte zur Reliabilität und Validität beziehen sich auf die englische Version (vgl. Abbildung 4.3.1-4).

Als ein weiteres potentielles Messinstrument wurde der *ISONORM Fragebogen* (vgl. Prümper 1997) analysiert. Der Fragebogen basiert auf den sieben Grundsätzen der Dialoggestaltung (ISO

9241/10) und umfasst mehrere Dimensionen (Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit). Er beschreibt fünf bipolare Items pro Dimension und wird primär zur Bewertung von Softwareanwendungen verwendet. Bezuglich des Einsatzes für die vorliegenden Untersuchungen wurde ein erhöhter Modifikationsbedarf des Fragebogens erwartet.

Ergänzend wurde der *meCUE Fragebogen* analysiert. Dieser Fragebogen ist modular aufgebaut und erfasst subjektiv wahrgenommene Eigenschaften eines Produkts sowie empfundene Emotionen und sich daraus ableitende Nutzungskonsequenzen (vgl. *User Experience*) (vgl. Minge et al. 2017). Für die Bewertung von Lernmedien eignet sich der Fragebogen als Gesamtkonstrukt nur unzureichend. Jedoch ermöglicht der modulare Aufbau die Nutzung einzelner Module. Das Modul zur Erfassung der Nützlichkeit und Benutzbarkeit kann im Kontext der Bewertung von Lernmedien in Betracht gezogen werden (Modul 1). Der *meCUE* Fragebogen wurde im Jahr 2013 an der TU Berlin entwickelt und bisher ausschließlich innerhalb der eigenen Forschungsgruppe evaluiert, sodass keine externen Erfahrungswerte vorliegen.

Instrument		Allgemeine Gütekriterien		Zusätzliche Anforderungen	
IsoNorm 9241/110 Prümper & Anft (1993)	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat, klare Auswertungsvorgaben	Praktikabilität und Verfügbarkeit	Anzahl Items: 35 / 7-stufige Likert-Skala Bearbeitungsdauer 15 min. / leicht auszuwerten Frei zugänglich	
	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .81 bis .89 Test-Retest-Reliabilität: .59			
	Validität	Fragebogenentwicklung basiert auf wissenschaftlicher Basis / keine Faktorenanalyse	Zielgruppenadäquatheit	Sprache: u.a. Deutsch, kein Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: akademische Sprache Stichprobenzusammensetzung: Büromitarbeiter / Software	
MeCUE 2.0 Modul 1 Minges & Riedel (2013)	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat, klare Auswertungsvorgaben	Praktikabilität und Verfügbarkeit	Anzahl Items: 6 / 7-stufige Likert-Skala Bearbeitungsdauer 1-2 min. / leicht auszuwerten / frei zugänglich	
	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .83 bis .90			
	Validität	Faktorenanalytische Konstruktion	Zielgruppenadäquatheit	Sprache: u.a. Deutsch / kein Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: einfache Sprache Stichprobenzusammensetzung: Büromitarbeiter und Studierende / Technische Produkte, Software	
SUS Brooke (1986)	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat, klare Auswertungsvorgaben	Praktikabilität und Verfügbarkeit	Anzahl Items: 10 / 5-stufige Likert Skala Bearbeitungsdauer 1-2 min. / leicht aufwendig auszuwerten / frei zugänglich	
	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .85 bis 0.91			
	Validität	Aufwendige Evaluation der Konstruktvalidität	Zielgruppenadäquatheit	Sprache: u.a. Deutsch / kein Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: größtenteils akademisch Stichprobenzusammensetzung: Erwachsene - Büromitarbeiter / Software	

Abbildung 4.3.1-4: Instrumente zur Erfassung der Usability
(Darstellung aus Weber 2019, S. 34)

4.3.1.4 Erfassung des Workloads

Als adäquates Instrument zur Erfassung des durch die Versuchspersonen wahrgenommenen Workloads wurde der *NASA Task Load Index* (TLX) definiert (vgl. Hart und Staveland 1988). Der NASA Task Load Index gilt als das bekannteste multidimensionale Messinstrument zur Erfassung des subjektiv wahrgenommenen Workloads. Zudem kann er kosten- und zeiteffizient über Fragebogen realisiert werden. Der *Workload* als Gegenstand umfasst innerhalb von sechs Dimensionen mentale, körperliche und zeitliche Anforderungen sowie die Leistung, Anstrengung und Frustration. Diese Dimensionen werden zusätzlich individuell gewichtet und werden als bipolare Skalen

dargestellt. Dadurch können individuelle Angaben der Versuchspersonen bezüglich der Ausprägungen einzelner Dimensionen erfasst werden. Ziel ist es, eine individuelle und realistische Darstellung des Workloads zu erhalten und Ursachen für erhöhten Workload zu identifizieren (vgl. Hart 2006). Der NASA TLX wurde in verschiedene Sprachen übersetzt und in zahlreichen Studien evaluiert (vgl. Hart 2006; Hart und Staveland 1988). Zudem existieren Untersuchungen, die eine hohe Korrelation der Ergebnisse sowohl mit als auch ohne Gewichtung abbilden (vgl. Nygren 1991). Findet die Ermittlung des Task Load Index ohne eine entsprechende Gewichtung statt, wird von einem *Raw TLX* (RTLX) gesprochen. Es wird empfohlen, den Fragebogen unmittelbar nach der Arbeitsaufgabe zu bearbeiten. Dadurch soll vermieden werden, dass relevante Merkmale in Vergessenheit geraten.

Ergänzend zum NASA TLX wurde die *Subjective Workload Assessment Technique* (SWAT) als potentielle Messmethode analysiert (vgl. Reid und Nygren 1988). SWAT wurde in zahlreichen internationalen Studien eingesetzt und wird als ein valides sowie reliables Messinstrument anerkannt (vgl. Rubio et al. 2004). Der Ansatz beschreibt drei Dimensionen (zeitliche Belastung, mentale Anstrengung und psychische Belastung), welche hinsichtlich ihrer Ausprägungen durch die Versuchspersonen eingeordnet werden (niedrig, mittel oder hoch). Die Ermittlung des Workloads erfolgt in drei Schritten. Zunächst bewerten die Versuchspersonen alle möglichen Kombinationen (3x3x3) hinsichtlich ihres subjektiven Workload-Empfindens. Im zweiten Schritt erfolgt die Bewertung der realen Arbeitsaufgabe anhand von drei Dimensionen. Abschließend werden die Angaben mit Hilfe des Ratings aus dem ersten Schritt in eine Punktzahl (Score) zwischen 0 und 100 umgewandelt.

Weitere potentielle Messinstrumente wie beispielsweise die eindimensionale *Cooper-Harper-Scale* (vgl. Cooper und Harper 1969) beziehungsweise die modifizierte Variante, die *Bedford Workload Scale* (ursprünglich für Piloten entwickelt) (vgl. Roscoe und Britannia Airways 1992), wurden bereits frühzeitig aufgrund ihrer spezifischen Zielgruppenorientierung oder Spezifikationen hinsichtlich ihrer Handhabung für die geplante Untersuchung als ungeeignet eingeschätzt.

Instrument	Allgemeine Gütekriterien			Zusätzliche Anforderungen
	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat, aufwendige Auswertungsvorgaben	Praktikabilität und Verfügbarkeit	
SWAT Reid & Nygren (1988)	Reliabilität	Cronbach's Alpha: .81 bis .89 Test-Retest-Reliabilität: .59		
	Validität	Einsatz des Instruments in vielen Kontexten sowie viele unabhängige Evaluationen weisen auf eine hohe Validität hin	Zielgruppenadäquatheit	Sprache: u.a. Deutsch, kein Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: akademische Sprache Stichprobenzusammensetzung: Erwachsene / Branchen: Luftfahrt, Militär, Atomkraft, Automobil
NASA TLX Hart & Staveland (1988)	Objektivität	Geschlossenes Antwortformat, klare Auswertungsvorgaben	Praktikabilität und Verfügbarkeit	Anzahl Items: 6 bipolare Skalen Bearbeitungsdauer 1-2 min. / vor, während und nach der Aufgabe ausfüllbar / leicht auszuwerten / frei zugänglich
	Reliabilität	Cronbach's Alpha: > .80 Test-Retest-Reliabilität: .51 bis 0.75		
	Validität	Aufwendige und langjährige Fragebogenentwicklung sowie viele unabhängige Evaluationen weisen auf eine hohe Validität hin	Zielgruppenadäquatheit	Sprache: u.a. Deutsch, kein Polnisch Formulierung & Verständlichkeit: teilw. akademische Sprache Stichprobenzusammensetzung: Erwachsene / Branchen: Luftfahrt, Militär, Automobil, IT, Gesundheitswesen

Abbildung 4.3.1-5: Instrumente zur Erfassung des Workloads
(Darstellung aus Weber 2019, S. 38)

4.3.1.5 Zusammenfassung

Neben der theoriegeleiteten Auswahl geeigneter Messinstrumente wurde im Rahmen einer sich anschließenden Pretest-Phase die Eignung der Instrumente innerhalb der Forschungsumgebung erprobt. Die Erfassung personaler Merkmale, der Usability sowie des subjektiv empfundenen Workloads wurde mittels Fragebogen realisiert. Die Fragebogen wurden vorab von einem internen Übersetzungsservice des industriellen Anwendungspartners in die polnische Sprache übersetzt. Zudem wurden die erstellten Fragebogen innerhalb der Pretest-Phase gemeinsam mit einem bilingualen Expat¹³ inhaltlich analysiert. Neben der generellen Eignung der Messinstrumente wurde im weiteren Verlauf der Voruntersuchungen die Integration der Fragebogen bzw. der Instrumente in den Zeit- und Ablaufplan der Datenerhebung evaluiert.

4.3.2 Pretest

Im Rahmen des durchgeführten Pretests wurden mehrere zentrale Aspekte der Datenerfassung erprobt und definiert. Zur reibungslosen Integration der Datenerhebung in die Forschungsumgebung (betriebliches Qualifizierungsszenario der manuellen Montage) wurde zunächst die Gesamtdurchlaufzeit der Versuchspersonen erfasst. Diese beinhaltet sowohl die Dauer des Montagetrainings als auch die Bearbeitungszeit der Fragebogen. Zudem wurde die zielgruppenadäquate Gestaltung der entwickelten Fragebogen bzw. der definierten Messinstrumente erprobt. Es wurde überprüft, ob die Formulierungen und die Struktur der Fragebogen für die Zielgruppe verständlich und nachvollziehbar sind. Darüber hinaus wurden Erprobungen zur Erstellung der Beobachtungsprotokolle durchgeführt (*Beobachtertraining*). Die Zielsetzung dieser Maßnahme bestand darin, die Beobachtenden in der Anwendung der Beobachtungsbogen zu schulen und somit sicherzustellen, dass die Beobachtungen konsistent und objektiv erfasst werden (vgl. Bortz 2002, S. 273 f.).

4.3.2.1 Fragebogen und einzelne Messinstrumente

Nach der theorie- und anforderungsgeleiteten Auswahl einzelner Messinstrumente wurden im Vorfeld der Hauptuntersuchung weiterführende Untersuchungen durchgeführt (Pretest). Zu Beginn der Pretest-Phase wurden gemeinsam mit einem bilingualen Expat des industriellen Anwendungspartners die erstellten Fragebogen analysiert. Hierbei standen insbesondere die Rückübersetzung sowie die adäquate Darstellung einzelner Wortbedeutungen und die inhaltliche Interpretation einzelner Items der Fragebogen im Vordergrund. Im Anschluss wurden die Fragebogen bereits durch erste Versuchspersonen bearbeitet, wodurch erste Einschätzungen bezüglich der Handhabung, der zu erwartenden Bearbeitungszeit sowie der generellen Zugänglichkeit ermöglicht wurden. Der Einbezug der Versuchspersonen wurde durch zwei Workshops realisiert.

¹³ Expats (Expatriates) sind Mitarbeitende eines international tätigen Unternehmens, die für einen definierten Zeitraum (meist 1-3 Jahre) als hochqualifizierter Wissensträger*innen in eine Zweigstelle ins Ausland entsandt werden.

Workshop-Ergebnisse

Während der gemeinsamen Analyse mit dem bilingualen Expat ergaben sich hinsichtlich der Übersetzung keine Auffälligkeiten. Die in den Fragebogen abgebildeten Items wurden korrekt interpretiert. Im Rahmen der ersten Workshop-Phase erfolgte die Bearbeitung der Fragebogen durch drei Versuchspersonen. Die Fragebogen konnten ohne Unterbrechungen und externe Eingriffe ausgefüllt werden. Hauptsächlich ergaben sich Änderungen bei den Items des NASA TLX. Einzelne Items wurden im Rahmen des Workshops hinsichtlich ihrer Übersetzung in die polnische Sprache sowie ihrer Interpretationsmöglichkeiten intensiv diskutiert und teilweise durch semantisch adäquate Substantive der polnischen Sprache ersetzt. Zudem wurde im Sinne einer homogenen Darstellungsweise innerhalb der Fragebogen eine invertierte numerische Skala (1-10) für Items des NASA TLX erstellt. Die Bearbeitungsdauer der PANAVA-Scale lag deutlich über den Erwartungen, weshalb im weiteren Verlauf der Untersuchungen auf dieses Instrument verzichtet wurde.

Während der zweiten Workshop-Phase erfolgte die Bearbeitung der angepassten Fragebogen durch drei weitere Versuchspersonen. Während der Bearbeitung der Fragebogen wurden keine Rückfragen von den Versuchspersonen gestellt. Diese berichteten, dass sie keine Schwierigkeiten bei der Interpretation der Items und bei der entsprechenden Bewertung hatten. Es ergaben sich hauptsächlich Anpassungen in Bezug auf die Gestaltung der Fragebogen sowie eine Reduzierung und Neusortierung der möglichen Bildungs- und Berufsabschlüsse (soziodemographische Merkmale). Durch die Änderungsmaßnahmen aus dem ersten Workshop konnte die Bearbeitungszeit der Fragebogen um 3:50 Minuten (Workshop 1 = 12:01 Minuten, Workshop 2 = 08:11 Minuten – höchste Bearbeitungszeit) beziehungsweise um 2:53 Minuten (Workshop 1 = 08:54 Minuten, Workshop 2 = 06:01 Minuten – niedrigste Bearbeitungszeit) reduziert werden. Dieser Entwicklungsstand der Fragebogen beziehungsweise der Messinstrumente wurde für den anstehenden Testdurchlauf (Pretest) eingesetzt.

Testdurchlauf

Bei der Durchführung der Testdurchläufe konnten Daten von zehn Versuchspersonen erfasst werden. Die Fragebogen konnten von den Versuchspersonen ohne Rückfragen ausgefüllt werden. Die Bearbeitung der Fragebogen wurde sowohl vollständig als auch korrekt durchgeführt. Die durchschnittliche Dauer eines vollständigen Testdurchlaufs (inkl. Montagetraining, Iterationszahl = 3) betrug zwischen 25 und 30 Minuten. Diese Ergebnisse stimmen mit den zuvor geschätzten Werten überein.

Dieser Entwicklungsstand der Fragebogen bzw. der Messinstrumente wird für die Hauptuntersuchung übernommen (vgl. Kapitel 4.4).

4.3.2.2 Verhaltensbeobachtung

Zur Erfassung des Lernverhaltens (Ausführung der Arbeitsschritte und Interaktion mit dem Lernmedium) wurden Beobachtungsbogen entwickelt und eingesetzt. Die Erstellung der Protokolle erfolgte durch den Autor (Experimentalgruppe) und eine Assistenzperson (Kontrollgruppe). Im Rahmen des Pretests erfolgten analog zur Bearbeitung der Fragebogen erste Erprobungen des

abgebildeten Montagetrainings. Zwischen dem Autor und der Assistenzperson erfolgte während dieser Phase eine regelmäßige Analyse der erstellten Beobachtungsprotokolle (*Beobachtertraining*). Dadurch sollte sichergestellt werden, dass eine einheitliche Beurteilung des Lernverhaltens sowie eine äquivalente Interpretation der Protokoll-Items und somit eine möglichst objektive, vergleichbare Dokumentation durch beide Beobachtungsinstanzen erfolgt (vgl. Bortz 2002, S. 273 ff.). Insbesondere die Definition von Montagefehlern, der Anfangs- und Endzustände sowie die Festlegung von Messzeitpunkten zur Zeiterfassung erforderten detaillierte Abstimmungen zwischen den Beobachtenden. Zur nachträglichen Evaluation der Beobachtungsprotokolle wurde die Durchführung des Montagetrainings sowie der Lernerfolgskontrolle mittels einer Kamera über dem Montageobjekt aufgezeichnet.

Um sich mit der Arbeitsaufgabe vertraut zu machen, führten sowohl der Autor als auch die Assistenzperson die abgebildete Arbeitsaufgabe mehrfach selbst aus, bis ein fortgeschrittener Übungsgrad erreicht wurde.

4.3.2.3 Arbeitsumfang und Iterationszahl

Wie bereits im Rahmen der Erstellung der Fragebogen abgebildet, stellte die zeitlich begrenzte Verfügbarkeit der Versuchspersonen einen limitierenden Faktor für die vorliegende Untersuchung dar. Die Arbeitsaufgabe wurde in der Konzeptionsphase inhaltlich definiert und entsprechend bei der Implementierung des Arbeitssystems realisiert (AGR-Modul Montage). Um externe Eingriffe zu vermeiden und einen unterbrechungsfreien Ablauf des Montagetrainings zu gewährleisten, wurden neben der eigentlichen Montage des AGR-Moduls entsprechende Arbeitsschritte zur Demontage in den Ablauf integriert.

Zur Ermittlung einer in den zeitlichen Ablauf des betrieblichen Qualifizierungsszenarios integrierbaren Iterationszahl wurde eine zu erwartende Gesamtdurchlaufzeit je Versuchsperson ermittelt. Bezuglich der Bearbeitungszeit der Fragebogen lagen hierzu bereits verwertbare Erkenntnisse aus den Voruntersuchungen vor (vgl. Kapitel 4.3.2.1). Die Ermittlung der Durchlaufzeit für das Montagetraining orientierte sich an den Instruktionszeiten (Action AVI) der AR-basierten Lernanwendung. Es sollte den Versuchspersonen als Mindestanforderung zeitlich ermöglicht werden, mindestens eine vollständige Instruktion der Arbeitsschritte zu konsumieren. Diese Instruktionen bilden die Ausführungen der notwendigen Arbeitsschritte in moderater Ausführungsgeschwindigkeit ab und dienen als zeitliche Referenz für die sich anschließenden Ausführungen der Versuchspersonen. Die reine Instruktionszeit für alle Arbeitsschritte der Montage sowie der Demontage liegt bei 3.53 Minuten (212 Sekunden). Wird eine mit der Instruktionszeit vergleichbare Bearbeitungszeit angenommen, liegt die Durchlaufzeit für eine Iteration bei 7.06 Minuten (424 Sekunden). Hinzu kommt die benötigte Zeit zur Bearbeitung der Fragebogen. Ergänzend muss berücksichtigt werden, dass die Schätzungen keine Übergangs- oder Verteilzeiten beinhalteten. Um eine reibungsfreie Integration der Untersuchung in das betriebliche Qualifizierungsszenario zu realisieren, wurden drei Iterationen je Versuchsperson im Rahmen des Montagetrainings definiert. Der voraussichtliche Zeitaufwand für die Teilnahme am Montagetraining, einschließlich der Datenerfassung durch Fragebogen, wird auf ca. 30 Minuten geschätzt.

Tabelle 4.3.2-1: Dauer der AR-basierten Instruktionen

	Nr.	Inhalt	Dauer der Instruktion (Action AVI) in Sekunden
Montage	1	Wasserleitung anschließen	8
	2	AGR Kühler mit Schraube anschrauben	20
	3	AGR Modul (hinten) mit zwei Schrauben anschrauben	42
	4	AGR Modul mit definiertem Drehmoment festschrauben	22
	5	Drucksensor mit Dichtring an Gehäuse anschrauben	14
	6	Elektr. Umschaltventil und Unterdruckleitung aufstecken am Halter und an U-Dose aufstecken	18
	7	Unterdruckleitung an U-Dose aufstecken und an Omega-Clip montieren	19
Demontage	8	Demontage der Wasserleitung	3
	9	Demontage des Drucksensors	9
	10	Demontage des Unterdruckleitung	10
	11	Demontage des elekt. Unterdruckventils	9
	12	Demontage der drei Schrauben am AGR Modul	38
		Summe	212

4.3.3 Montage- und Werkzeugtraining

Im Vorfeld zu den vorliegenden Untersuchungen absolvierten alle Versuchspersonen eine vorbereitende Schulungsmaßnahme, bei der erste Erfahrungen mit gängigen Fügevorgängen (Bsp.: Anschrauben) und später verwendeten Werkzeugen (Bsp.: elektr. Schrauber) gesammelt werden konnten. Im Rahmen dieser Schulungsmaßnahme wurde eine entsprechende Montagevorrichtung zur Realisierung der Arbeitsschritte genutzt (vgl. Abbildung 4.3.3-1).

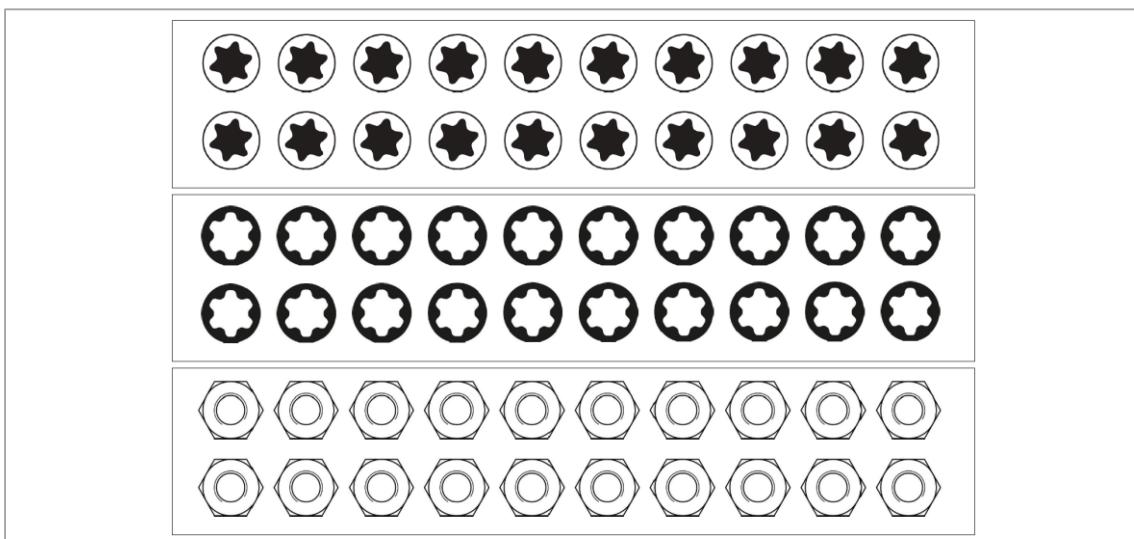


Abbildung 4.3.3-1: Schematische Darstellung der Montagevorrichtung

Im oberen Bereich der Vorrichtung bestand die Aufgabe darin, Schrauben des Typs M6 mit Außen-Torx ohne Unterlegscheibe mit der Platte (Gewinde vorhanden) zu verschrauben. Im mittleren Bereich sollten Schrauben mit Innen-Torx und Unterlegscheibe montiert werden. Im unteren Bereich wurden Sechskantmuttern auf einen Gewindestift aufgeschraubt. Die maximale Anzahl an Schrauben und Muttern pro Platte lag bei 20. Innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens wurden alle korrekt angebrachten Schrauben und Muttern gezählt.

Die Erfassung dieser Werte war nicht Bestandteil der durchgeführten Untersuchung. Dennoch konnten diese Informationen als erste Orientierung hinsichtlich der montagerelevanten Vorerfahrungen der Versuchspersonen herangezogen werden. Darüber hinaus wurde durch diese Maßnahme gewährleistet, dass alle Versuchspersonen bereits mit der Handhabung der im Versuchsaufbau verwendeten Werkzeuge vertraut waren.

4.4 Instrumente und Methodik

Als Untersuchungsinstrumente wurden zwei unterschiedliche Fragebogen, zwei gruppenspezifische Beobachtungsbogen zur Erfassung des Montagetrainings sowie ein Beobachtungsbogen zur Dokumentation der Lernerfolgskontrolle entwickelt. Der Recherche-, Analyse- und Auswahlprozess, der zur Entwicklung der in diesem Kapitel dargestellten Fragebogen beigetragen hat, wurde in Kapitel 4.3 ausführlich dargestellt.

4.4.1 Untersuchung des Lernverhaltens

Zur Untersuchung des Lernverhaltens erfolgte eine offene, nichtteilnehmende und strukturierte Fremdbeobachtung der Lernenden (vgl. Bortz 2002, S. 262 ff.). Im Kontext der Beobachtung wird das Lernverhalten als das beobachtbare, äußere Verhalten der Versuchspersonen während der Lern- bzw. Ausführungsphase des Montagetrainings definiert. Als Instrument zur Datenerfassung wurden gruppenspezifische Beobachtungsbogen entwickelt. Zur Gewährleistung der Objektivität beziehungsweise der Reliabilität wurden Erprobungen sowie Einweisungen der beobachtenden Personen durchgeführt (vgl. Kapitel 4.3.2.2).

Strukturell orientiert sich das Protokoll zur Beobachtung des Montagetrainings an etablierten industriellen Ansätzen zur Tätigkeitsanalyse (Bsp.: MTM, Refa-Zeitaufnahme). Diese arbeitswissenschaftlichen Systeme bilden unter anderem eine Untergliederung von Arbeitstätigkeiten, notwendige Bewegungsausführungen sowie erfasste Ausführungszeiten ab (vgl. Kapitel 2.2.1.2). Inhaltlich wird der Beobachtungsbogen durch spezifische Beobachtungen zur Mediennutzung sowie durch die Dokumentation von Fehlerfällen bzw. Fehlerarten ergänzt. Bei der Beobachtung der Versuchspersonen wird zudem zwischen den Beobachtungen während der aktiven Tätigkeitsausführung und den Beobachtungen während motorisch-passiver Phasen der Versuchspersonen differenziert.

4.4.1.1 Motorisch-passive Phase

Die motorisch-passive Phase beschreibt den Beobachtungszeitraum, indem Versuchspersonen keine motorisch aktiven Handlungen am Montageobjekt durchführen. In diesem Zeitraum haben die Versuchspersonen die Möglichkeit, den gesamten Arbeitsbereich zu erkunden und die arbeitsschrittspezifischen Informationen des integrierten Lernmediums zu konsumieren (*observative Trainingselemente* - vgl. Kapitel 2.1.4.3). In dieser Phase werden systematische Beobachtungen zur Nutzung der Lernmedien durchgeführt, um Indikatoren für die *Nutzungsintensität* der Medien zu erheben.

Bei der Experimentalgruppe, welche die AR-basierte Anwendung nutzte, wurde neben der Zeit bis zur ersten eigenen Ausführung der Konsum der Handlungsinstruktionen (Instruction Overlay / Action AVI) dokumentiert. Im Rahmen der Beobachtung wurde erfasst, wie häufig eine Versuchsperson die dargestellte Instruktion zur Durchführung eines Arbeitsschrittes vollständig konsumierte. Bei der Beobachtung der Kontrollgruppe, die eine Text-Bild-Kombination zur Instruktion nutzte, wurde ausschließlich die Zeit bis zur ersten aktiven Ausführung des jeweiligen Arbeitsschrittes erfasst.

Die Versuchspersonen treffen eigenständig die Entscheidung, zu welchem Zeitpunkt sie mit der Ausführung des erforderlichen Arbeitsschrittes beginnen.

4.4.1.2 Motorisch-aktive Phase

Die motorisch-aktive Phase beschreibt den Beobachtungszeitraum, indem eigenständige Ausführungen der Arbeitsschritte (*motorische Trainingselemente* - vgl. Kapitel 2.1.4.3) durch die Versuchspersonen erfolgen. In dieser Phase sieht das Beobachtungsprotokoll, neben der Erfassung der Ausführungszeit der einzelnen Arbeitsschritte, die Dokumentation des Montageergebnisses vor (i.O. oder n.i.O.). Bei einem negativen Resultat werden vorliegende Montagefehler erfasst. Abhängig vom genutzten Lernmedium werden spezifische Angaben zur Fehlerdokumentation hinterlegt (vgl. Webel 2011, S. 145).

Durch die systemgenerierte Validierung des Montageresultats, die nach der Ausführung eines Arbeitsschrittes stattfindet, erhalten Versuchspersonen der Experimentalgruppe eine unmittelbare Bewertung der eigenen Ausführung (i.O. bzw. n.i.O.). Die systemgenerierten Validierungsresultate werden über das Beobachtungsprotokoll erfasst. Im Fehlerfall wird auf ein n.i.O.-Ergebnis hingewiesen. Hierbei erfolgt keine Erläuterung, welcher Fehler zu der negativen Bewertung geführt hat. Die Anzahl der Montagefehler, die zu einem n.i.O.-Ergebnis geführt haben, wird ebenfalls dokumentiert.

Eine systemgenerierte Validierung des Montageergebnisses wird unter der Nutzung des Kontrollmediums nicht dargestellt. Diese Funktionalität besteht ausschließlich innerhalb der Experimentalgruppe. Während der Ausführungen der Kontrollgruppe werden über das gruppenspezifische Protokoll ebenfalls die Ausführungszeit sowie das Resultat der Arbeitsschritte erfasst. Bei der Dokumentation im Fehlerfall wird zwischen *selbst bemerkten, jedoch eigenständig korrigierten Fehlern* und *nicht bemerkten (unerkannten) Fehlern* differenziert.

4.4.1.3 Gesamtdarstellung

Die dargestellten Beobachtungsgegenstände werden durch die hier entwickelten untersuchungsgruppenspezifischen Beobachtungsbogen erfasst. Unter Nutzung des Beobachtungsbogens werden bei der Experimentalgruppe, welche die AR-basierte Lernanwendung nutzt, folgende Gegenstände dokumentiert:

- Das Verhalten vor der ersten aktiven Tätigkeitsausführung (motorisch-passive Zeit, Konsum der Instruktion)
- Das Verhalten während der aktiven Tätigkeitsausführung (Arbeitsschritt-Zeit, Montagefehler, Montageergebnis)
- Externe Eingriffe

Tabelle 4.4.1-1: Auszug aus dem Beobachtungsbogen (Experimentalgruppe)

Lernmedium: AR		Interaktion Nr. _____				
Montage: AGR-Modul	Interaktion mit dem Lernmedium <u>vor</u> erster Handlung (passiv)*		Interaktion mit dem Lernmedium <u>während</u> der Durchführung (aktiv)			Trainereingriff und/oder Bemerkung
	Konsumierte Instruktion	Zeit bis zur ersten aktiven Handlung*	Anzahl: Fehler, die zum n.i.O. geführt haben	Anzahl: Systemvalidierung n.i.O.	Zeit: Systemvalidierung i.O.	
Arbeitsschritt	Anzahl	n. vollst.				
1		$t_b=t_f$ $t_f=$		$t_b=$ $t_f=$		ja <input type="radio"/>
2		$t_b=$ $t_f=$		$t_b=$ $t_f=$		ja <input type="radio"/>
3		$t_b=$ $t_f=$		$t_b=$ $t_f=$		ja <input type="radio"/>
4		$t_b=$ $t_f=$		$t_b=$ $t_f=$		ja <input type="radio"/>
5		$t_b=$ $t_f=$		$t_b=$ $t_f=$		ja <input type="radio"/>
6		$t_b=$ $t_f=$		$t_b=$ $t_f=$		ja <input type="radio"/>
7		$t_b=$ $t_f=$		$t_b=$ $t_f=$		ja <input type="radio"/>

Während der Beobachtung der Versuchspersonen der Kontrollgruppe wurden, bedingt durch die medienspezifischen Funktionalitäten, folgende Beobachtungsgegenstände erfasst:

- Das Verhalten vor der ersten aktiven Tätigkeitsausführung (motorisch-passive Zeit)
- Das Verhalten während der aktiven Tätigkeitsausführung (Arbeitsschritt-Zeit, Montagefehler, Montageergebnis)
- Externe Eingriffe

Tabelle 4.4.1-2: Auszug aus dem Beobachtungsbogen (Kontrollgruppe)

Lernmedium: SAB / ASB	Interaktion Nr. _____				
Montage: AGR-Modul	Zeit bis zur ersten aktiven Handlung*	Interaktion mit dem Lernmedium <u>vor</u> erster Handlung (passiv)*			Trainereingriff und/oder Bemerkung
		Anzahl: bemerkte, selbst korrigierte Fehler	Anzahl: nicht bemerkte Fehler	Arbeitsergebnis	
Arbeitsschritt					
1	$t_0=t_f$ $t_f=$			i.O. <input type="radio"/> n.i.O. <input type="radio"/>	$t_0=$ $t_f=$
2	$t_0=$ $t_f=$			i.O. <input type="radio"/> n.i.O. <input type="radio"/>	$t_0=$ $t_f=$
3	$t_0=$ $t_f=$			i.O. <input type="radio"/> n.i.O. <input type="radio"/>	$t_0=$ $t_f=$
4	$t_0=$ $t_f=$			i.O. <input type="radio"/> n.i.O. <input type="radio"/>	$t_0=$ $t_f=$
5	$t_0=$ $t_f=$			i.O. <input type="radio"/> n.i.O. <input type="radio"/>	$t_0=$ $t_f=$
6	$t_0=$ $t_f=$			i.O. <input type="radio"/> n.i.O. <input type="radio"/>	$t_0=$ $t_f=$
7	$t_0=$ $t_f=$			i.O. <input type="radio"/> n.i.O. <input type="radio"/>	$t_0=$ $t_f=$

Die vollständigen Beobachtungsbogen befinden sich im Anhang dieser Arbeit (Anhang 8.2).

4.4.2 Untersuchung des Lernerfolgs

Bei der Untersuchung des Lernerfolgs wurde neben der handlungsorientierten Form einer Lernerfolgskontrolle die subjektive Wahrnehmung der Versuchspersonen erfasst. Die Lernerfolgskontrolle wurde mittels eines Beobachtungsbogens dokumentiert. Die im Rahmen der Dokumentation erfassten Variablen (Bsp.: Ausführungszeit, Fehlerzahl) fungieren als Indikatoren für die Performanz der beobachteten Tätigkeitsausführung. Ergänzend werden über einen Fragebogen Angaben zum subjektiv empfundenen Lernerfolg der Versuchspersonen erfasst.

4.4.2.1 Fremdeinschätzung

Die Methode und die entwickelten Instrumente zur Fremdeinschätzung des Lernerfolgs orientiert sich an der Untersuchung des Lernverhaltens. Es erfolgte ebenfalls eine offene, nichtteilnehmende und strukturierte Fremdbeobachtung der Versuchspersonen. Es wurde ein spezifischer Beobachtungsbogen zur Dokumentation einer handlungsorientierten Form der Lernerfolgskontrolle (vgl. Kapitel 2.1.4) erstellt.

Als Untersuchungsgegenstände wurden die Ausführungszeit, das Montageergebnis sowie das Fehleraufkommen erfasst. Die Ausführungszeit wurde einzeln für jeden Arbeitsschritt erfasst. Das Ergebnis der Arbeitsschritte wurde mit i.O. oder n.i.O. bewertet. Bei der Dokumentation von Fehlern wurde zwischen verschiedenen Fehlerarten unterschieden beziehungsweise beobachtete Fehler mithilfe des Beobachtungsbogens spezifiziert. Neben den Abweichungen von einem

definierten Zielzustand (Montagefehler) wurde die Einhaltung der Arbeitsschrittfolge (*Reihenfolgefehler*) erfasst. Aufgabe der Versuchspersonen war es, die Arbeitsschritte in der am Vortag dargestellten Reihenfolge auszuführen. Grundsätzlich sollte die Arbeitsaufgabe ohne Unterstützung absolviert werden. Um einen unterbrechungsfreien Ablauf ohne externe Eingriffe zu realisieren, wurde ein Medium zur Begleitung der Lernerfolgskontrolle implementiert (vgl. Kapitel 3.2.5). Die optionale Nutzung des Hilfsmittels wurden ebenfalls durch den Beobachtungsbogen dokumentiert.

Die Gegenstände des Beobachtungsbogens zur Dokumentation der Lernerfolgskontrolle lassen sich somit zusammenfassend darstellen:

- Fehleranzahl und Fehlerart
- Ausführungszeit auf Arbeitsschrittebene
- Montageergebnis (i.O. bzw. n.i.O.)
- Einhaltung der Schritt-Reihenfolge
- Nutzung des Hilfsmittels (Abbildung des Zielzustandes)

Die Lernerfolgskontrolle wurde einen Tag nach dem Montagetraining durchgeführt. Der Beobachtungsbogen zur Erfassung der Lernerfolgskontrolle wurde für beide Untersuchungsgruppen eingesetzt.

Tabelle 4.4.2-1: Auszug aus dem Beobachtungsbogen der LEK

LEK	Fehler								Bewertung	Zeiten	
	nicht erfüllte Forderung/ Abweichung (TS = Teilschritt)				Korrektuuen/ Hilfen		Gesamtreihefolge				
Lernmedium: ohne	Teil vergessen	Andere TS Reihenfolge	TS nicht durchgeführt	Falsches Beuteil verwendet	Falsch montiert/ f. Position	Verschraubungs- fehler / Anzugreihefolge n.i.O.	Anzahl: nicht bemerkt Fehler	Anzahl: Hilfe angefragt	Schritt-Nr. eingehalten	Arbeitsergebnis	Arbeitsschritt beendet
Montage: AGR-Modul											
Arbeitsschritt											
1									ja <input type="radio"/>	i.O. <input type="radio"/>	$t_g =$
									nein <input type="radio"/> an Nr. __	n.i.O. <input type="radio"/>	$t_f =$
2									ja <input type="radio"/>	i.O. <input type="radio"/>	$t_g =$
									nein <input type="radio"/> an Nr. __	n.i.O. <input type="radio"/>	$t_f =$
3									ja <input type="radio"/>	i.O. <input type="radio"/>	$t_g =$
									nein <input type="radio"/> an Nr. __	n.i.O. <input type="radio"/>	$t_f =$
4									ja <input type="radio"/>	i.O. <input type="radio"/>	$t_g =$
									nein <input type="radio"/> an Nr. __	n.i.O. <input type="radio"/>	$t_f =$
5									ja <input type="radio"/>	i.O. <input type="radio"/>	$t_g =$
									nein <input type="radio"/> an Nr. __	n.i.O. <input type="radio"/>	$t_f =$
6									ja <input type="radio"/>	i.O. <input type="radio"/>	$t_g =$
									nein <input type="radio"/> an Nr. __	n.i.O. <input type="radio"/>	$t_f =$
7									ja <input type="radio"/>	i.O. <input type="radio"/>	$t_g =$
									nein <input type="radio"/> an Nr. __	n.i.O. <input type="radio"/>	$t_f =$

4.4.2.2 Selbsteinschätzung

Ergänzend zur objektiven, weitestgehend auf die Performanz ausgerichteten Beurteilung des Lernerfolgs wurden Angaben zur Selbsteinschätzung der Versuchspersonen in die Untersuchung integriert. Diese Selbsteinschätzung erfolgte unmittelbar nach dem Montagetraining über einen Fragebogen. Der entsprechende Abschnitt des Fragebogens beschreibt zwei Items, die mittels einer fünfstufigen Likert-Skala hinsichtlich des Zustimmungsgrades beurteilt werden. Diese Angaben sollen erste Einschätzungen bezüglich der durch das Montagetraining subjektiv erreichten Lernzielstufe ermöglichen. Die beiden Items stehen repräsentativ für die Lernzielstufen (vgl. Kapitel 2.1.3.3) des *eigenständigen* und des *geleiteten Nachvollzugs*. Das Erreichen höherer Lernzielstufen, die den Aufbau einer Detail- oder gefestigten Feinkoordination beschreiben, kann aufgrund der niedrigen Iterationszahl bzw. der geringen Übungsdauer nicht erwartet werden. Realistischer erscheinen frühe Entwicklungsphasen einer Rahmen- bzw. Grobkoordination (Grobschema der Bewegungsabfolge).

- Das Item „Ich habe das Gefühl, alle Arbeitsschritte an der Arbeitsstation selbstständig und fehlerfrei durchführen zu können“ bildet die höhere Lernzielstufe ab, welche sich an dem eigenständigen Nachvollzug orientiert.
- Das Item „Ich habe das Gefühl, bei der Durchführung der Arbeitsschritte noch Unterstützung zu benötigen, um fehlerfrei arbeiten zu können“ repräsentiert die niedrigere Lernzielstufe im Sinne eines geleiteten Nachvollzugs.

Tabelle 4.4.2-2: Auszug aus Fragebogen II, Abschnitt 2

2. Wie sicher fühlen Sie sich bei der Bewältigung der Arbeitsschritte nach dem Training?					
	Stimme zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu
Ich habe das Gefühl, alle Arbeitsschritte an der Arbeitsstation selbstständig und fehlerfrei durchführen zu können.	<input type="checkbox"/>				
Ich habe das Gefühl, bei der Durchführung der Arbeitsschritte noch Unterstützung zu benötigen, um fehlerfrei arbeiten zu können.	<input type="checkbox"/>				

Diese Items bilden den zweiten Abschnitt des zweiten Fragebogens (Anhang 8.1.3).

4.4.3 Untersuchung zur Wahrnehmung der Arbeitsaufgabe und des Lernmediums

Zur Untersuchung der Lern- bzw. Arbeitsaufgabe sowie des entwickelten Lernmediums wurden Instrumente zur Erfassung der Wahrnehmung dieser Gegenstände definiert. Ziel dabei ist es, Analysen bezüglich der kognitiven Lernanforderungen (vgl. *Instructional System Design*) bzw. der kognitiven Belastung (vgl. *Cognitive Load Theorie*) der Lernenden im hier abgebildeten Lern-

prozess zu ermöglichen (vgl. Kapitel 2.1.4.2). Zur Erfassung der Wahrnehmung der Arbeitsaufgabe wurde der NASA TLX Index eingesetzt. Durch dieses Instrument erfolgen Angaben zur subjektiv empfundenen Arbeitsbelastung der Lernenden. Darüber hinaus können Rückschlüsse auf die Komplexität der Arbeitsaufgabe sowie auf die damit verbundenen Lernanforderungen gezogen werden. Durch die Anwendung der System Usability Scale (SUS) erfolgen Angaben zum situativ wahrgenommenen Nutzen des Lernmediums im Lernprozess. Ergänzend dazu werden spezifische Angaben zum wahrgenommenen Nutzen einzelner AR-basierter Elemente und Technologien erfasst. Dadurch sollen Aussagen zur lern- und zielgruppenorientierten Gestaltung der AR-basierten Lernanwendung ermöglicht werden. Durch die Kombination dieser beiden Untersuchungsgegenstände wird eine mehrdimensionale Betrachtung kognitiver Anforderungen und Wahrnehmungen ermöglicht, welche bei der Gestaltung von Lernprozessen unterstützend wirken kann.

4.4.3.1 Wahrnehmung der Arbeitsaufgabe

Zur Erfassung der subjektiv wahrgenommenen Arbeitsbelastung (Workload) wurde der NASA Task Load Index als Messinstrument definiert (vgl. Kapitel 4.3.1). Das multidimensionale Messinstrument wurde mittels Fragebogen in die Untersuchung integriert. Über den Fragebogen wird die empfundene Arbeitsbelastung auf sechs verschiedenen Dimensionen erfasst (mentale, körperliche und zeitliche Anforderungen sowie Leistung, Anstrengung und Frustration). Mittels einer bipolaren Skala erfolgen die Angaben zur dimensionsbezogenen Ausprägung der Arbeitsbelastung. Die Ausprägung wird als ganzzahliger Wert zwischen 0 und 10 dargestellt, wobei der Wert 0 eine geringe und der Wert 10 eine hohe Ausprägung repräsentiert.

Tabelle 4.4.3-1: Auszug aus Fragebogen II, Abschnitt 1

1. Kreuzen Sie in jeder Skala den Punkt an, der Ihre Erfahrung mit der Aufgabe am besten verdeutlicht.										
Geistige Anstrengung										Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Erinnern, Hinsehen, Suchen usw.)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll?
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gering Hoch
Manuelle Geschicklichkeit										In welchem Maße war die manuelle Geschicklichkeit bei dieser Aufgabe erforderlich?
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gering Hoch
Zeitdruck										Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder des Taks, in der bzw. in dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gering Hoch
Zufriedenheit										Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung?
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gering Hoch
Schwierigkeitsgrad										Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gering Hoch
Frustration										Wie unsicher, entmutigt, gestresst und irritiert fühlten Sie sich während der Aufgabe?
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gering Hoch

Bei der in der Hauptuntersuchung eingesetzten Variante des NASA TLX wurden die Erkenntnisse der Voruntersuchungen und der Pretest-Phase berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.3.1 und 4.3.2). Neben der Verwendung der numerisch invertierten Skala (1-10) wurden zielgruppenorientierte, sprachliche Anpassungen vorgenommen. Im Zuge der Übersetzung in die polnische Sprache wurden einzelne Items im Sinne einer bedeutungstreuen, adäquaten Übersetzung angepasst. Demnach werden folgende Items über den Fragebogen abgebildet:

- Geistige Anstrengung - Wysiłek umysłowy (adaptiert)
- Manuelle Geschicklichkeit - Sprawność manualna (adaptiert)
- Zeitdruck - Presja czasu (adaptiert)
- Zufriedenheit - Satysfakcja (adaptiert)
- Schwierigkeitsgrad - Stopień trudności (adaptiert)
- Frustration - Frustracja

Die Angaben der Versuchspersonen erfolgten unmittelbar nach der Bewältigung der Arbeitsaufgabe (Montagetraining).

4.4.3.2 Wahrnehmung des Lernmediums

Die Analyse der Wahrnehmung der hier dargestellten Lernmedien erfolgt durch die Erfassung des situativ wahrgenommenen Nutzens der Lernmedien im Lernprozess sowie durch spezifische Angaben zur Wahrnehmung einzelner virtueller Elemente und Technologien. Die ergänzende systemspezifische Datenerfassung erfolgt ausschließlich im Rahmen der Nutzung der AR-basierten Anwendung (Experimentalgruppe).

Usability der Lernmedien

Zur Erfassung des situativ wahrgenommenen Nutzens bzw. der Akzeptanz (vgl. Kapitel 2.2.2.2) der hier eingesetzten Lehr-Lern-Medien wurde die System Usability Scale (SUS) als Messinstrument definiert (vgl. Kapitel 4.3.1.3). In Form eines Fragebogens werden zehn Items zur Beurteilung des genutzten Systems erfasst. Mittels einer fünfstufigen Likert-Skala werden diese Items hinsichtlich des Zustimmungsgrades durch die Versuchspersonen beurteilt. Im Rahmen der Voruntersuchungen erfolgten untersuchungs- und zielgruppenspezifische Anpassungen. Der ursprüngliche Wortlaut wurde überwiegend beibehalten. Der Begriff „System“ (Items 1, 3 und 5) wurde durch den Begriff „Lernmedium“ ersetzt. Zudem wurde die Bezeichnung „komplex“ (Item 2) durch „kompliziert“, „technischer Support“ (Item 4) durch „Unterstützung“ und „Inkonsistenzen“ (Item 6) durch „Widersprüchlichkeiten“ ersetzt. Unter Berücksichtigung dieser Anpassungen resultieren folgende Items:

- Ich kann mir sehr gut vorstellen, das Lernmedium regelmäßig zu nutzen.
- Ich empfinde das Lernmedium als unnötig kompliziert.

- Ich empfinde das Lernmedium als einfach zu nutzen.
- Ich denke, dass ich Unterstützung brauchen würde, um das Lernmedium zu nutzen.
- Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Lernmediums gut integriert sind.
- Ich finde, dass es im Lernmedium zu viele Widersprüchlichkeiten gibt.
- Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.
- Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.
- Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.
- Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.

Die Angaben der Versuchspersonen erfolgten unmittelbar nach der Bewältigung der Arbeitsaufgabe beziehungsweise nach der Nutzung der Lehr-Lern-Anwendungen. Die Abbildung der System Usability Scale erfolgt im dritten Abschnitt des zweiten Fragebogens.

Tabelle 4.4.3-2: Auszug aus Fragebogen II, Abschnitt 3

3. In welchem Maße können Sie folgenden Aussagen bezüglich des Lernmediums (AR/SAB) zustimmen?					
	Stimme zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu
a) Ich kann mir sehr gut vorstellen, das Lernmedium regelmäßig zu nutzen.	<input type="checkbox"/>				
b) Ich empfinde das Lernmedium als unnötig kompliziert.	<input type="checkbox"/>				
c) Ich empfinde das Lernmedium als einfach zu nutzen.	<input type="checkbox"/>				
d) Ich denke, dass ich Unterstützung brauchen würde, um das Lernmedium zu nutzen.	<input type="checkbox"/>				
e) Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Lernmediums gut integriert sind.	<input type="checkbox"/>				
f) Ich finde, dass es im Lernmedium zu viele Widersprüchlichkeiten gibt.	<input type="checkbox"/>				
g) Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.	<input type="checkbox"/>				
h) Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.	<input type="checkbox"/>				
i) Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.	<input type="checkbox"/>				
j) Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.	<input type="checkbox"/>				

Elemente der AR-Anwendung

Ergänzend zur Erfassung der Usability der Lernmedien wurden Items zur spezifischen Evaluation der AR-basierten Elemente in den Fragebogen integriert. Die fünf Items basieren auf den in Kapitel 3.2.3.3 dargestellten Funktionalitäten und virtuellen Elementen, welche den Lernprozess

der Experimentalgruppe unterstützen. Mittels einer fünfstufigen Skala werden diese Items hinsichtlich ihrer Unterstützungsleistung während des Lernprozesses durch die Versuchspersonen beurteilt. Folgende Items wurden über den Fragebogen abgebildet:

- Orientierungspfeile: Lokalisierung der Zielposition
- Vormachen der Schritte durch die halbtransparenten Hände: Instruktion durch Instruktions-Overlay
- Einfärbung der Hände (grün/rot): Lokalisierung durch Hand-Tracking
- Einblendung der relevanten Werkzeuge und Bauteile: Lokalisierung benötigter Elemente
- Rückmeldung bzw. Qualitätskontrolle (grüner Haken/rotes Kreuz): Validierung des Montageergebnisses

Tabelle 4.4.3-3: Auszug aus Fragebogen II, Abschnitt 4

4. Zusätzliche Fragen bei der Nutzung des Lernmediums AR. In welchem Maße empfanden Sie folgende Elemente des Lernmediums als hilfreich im Lernprozess?					
	Sehr hilfreich	Etwas hilfreich	Weder noch	Eher nicht hilfreich	Nicht hilfreich
k) Orientierungspfeile	<input type="checkbox"/>				
l) Vormachen der Schritte durch die halbtransparenten Hände	<input type="checkbox"/>				
m) Einfärbung der Hände (grün/rot)	<input type="checkbox"/>				
n) Einblendung der relevanten Werkzeuge und Bauteile	<input type="checkbox"/>				
o) Rückmeldung bzw. Qualitätskontrolle (grüner Haken/rotes Kreuz)	<input type="checkbox"/>				

Als Hilfestellung zur Beurteilung dieser Items wurden den Versuchspersonen Detailaufnahmen der virtuellen Elemente (inkl. Item-Zuordnung) zur Verfügung gestellt.



Abbildung 4.4.3-1: Abbildungen zur Evaluation der AR-Elemente

Zur eindeutigen Identifikation der virtuellen Elemente bzw. der zu beurteilenden Funktionalität wurde die entsprechende Fragestellung auf der Abbildung ergänzt (vgl. Abbildung 4.4.3-1). Die Erfassung der Items erfolgte über den vierten Abschnitt des zweiten Fragebogens.

4.4.4 Untersuchung personaler Merkmale

Zur Erfassung personaler Merkmale wurde ein multidimensionaler Fragebogen entwickelt. Es wurden verschiedene Messinstrumente integriert, welche der Analyse der Versuchsgruppen sowie der Erfassung definierter Einflussfaktoren bezüglich der Lerntransfereffektivität dienen. Ergänzend wurden explizit auf die Versuchsumgebung angepasste aufgaben- sowie medienbezogene Vorkenntnisse der Versuchspersonen erfasst.

4.4.4.1 Soziodemographische Daten

Die Items zur Erfassung soziodemographischer Daten werden innerhalb der ersten beiden Abschnitte des ersten Fragebogens abgebildet. Im ersten Abschnitt erfolgen grundsätzliche Angaben zur Person. Es werden Angaben zum Geschlecht sowie zum Alter der Versuchsperson erfasst. Diese Angaben orientieren sich an demographischen Standards (vgl. Beckmann et al. 2016) sowie an einzelnen Bestimmungsgrößen der Arbeitsleistung (vgl. Kapitel 2.2.1.2: Konstitutions- und Dispositionsmale (vgl. Schlick et al. 2018, S. 61)). Die ergänzende Erfassung des Namens der Versuchsperson diente ausschließlich der Ansprache der Versuchsperson im Rahmen der Untersuchung. Die Datenauswertung erfolgte nach Zuweisung einer eindeutigen Kodierung anonymisiert. Folgende Merkmale wurden über den Fragebogen abgebildet:

- Name der Versuchsperson (diente ausschließlich der Ansprache der Versuchsperson)
- Geschlecht
- Alter
- vorhandene Sehhilfe (Erfassung der Sehfähigkeit)

In diesem Abschnitt wurde die Erfassung der Sehfähigkeit ergänzt. Es ist erforderlich, dass bei jeder Versuchsperson sichergestellt wird, dass eine uneingeschränkte visuelle Wahrnehmung der Lernmedien sowie der Arbeitsgegenstände gegeben ist.

Tabelle 4.4.4-1: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 1

1. Allgemeine Angaben zu Ihrer Person		
Vorname:	Nachname:	
.....
Benötigen Sie Sehhilfen (Brillen, Kontaktlinsen)?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Geschlecht:	<input type="checkbox"/> weiblich	<input type="checkbox"/> männlich
	<input type="checkbox"/> keine Angabe	
Alter:	<input type="checkbox"/> keine Angabe	
.....	

Der zweite Abschnitt des Fragebogens bildet die Erfassung der höchsten Schulabschlüsse sowie berufsqualifizierender Abschlüsse der Versuchspersonen ab. Im Rahmen der Voruntersuchungen wurden grundsätzlich mögliche und häufig vorkommende polnische Schul- und berufsqualifizierende Abschlüsse identifiziert. Der Abschluss „*Gimnazjum*“ (vergleichbar mit dem deutschen *Realschulabschluss*) wurde als Mindestvoraussetzung des betrieblichen Anwendungspartners formuliert und wird daher nicht im Fragebogen abgebildet. Es werden folgende Angaben über den Fragebogen erfasst:

- Szkoła zawodowa (≈ berufsbildende Schule)
- Liceum ogólnokształcące (≈ allgemeinbildendes Gymnasium)
- Dyplom mistrzowski (≈ Meisterdiplom bzw. Meisterbrief)
- Technikum (≈ technische Oberschule bzw. Techniker)
- Hochschulabschlüsse: Licencjat (≈ Bachelor), Inżynier (≈ Bachelor der Ingenieurwissenschaften), Magister (≈ Master/Diplom)
- Alternative Angaben

Ergänzende Angaben zur Fachrichtung (*Profil/kierunek*) der Ausbildung beziehungsweise des Hochschulabschlusses (*Tematyka*) konnten ebenfalls hinterlegt werden.

Tabelle 4.4.4-2: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 2

2. Alle Bildungs- bzw. Berufsabschlüsse mit fachlichem Schwerpunkt:	
<input type="checkbox"/> Szkoła zawodowa	Profil/kierunek:
<input type="checkbox"/> Liceum ogólnokształcące	Profil/kierunek:
<input type="checkbox"/> Dyplom mistrzowski	Profil/kierunek:
<input type="checkbox"/> Technikum	Profil/kierunek:
<input type="checkbox"/> Licencjat <input type="checkbox"/> Inżynier <input type="checkbox"/> Magister	Tematyka:
<input type="checkbox"/> Sonstiges: Bitte ergänzen	Profil/kierunek:

4.4.4.2 Vorkenntnisse

Die Erfassung der Vorkenntnisse findet im dritten Abschnitt des ersten Fragebogens statt und orientiert sich an der Vorgehensweise von Jeske (2013). Als potentielle Einflussgrößen (vgl. Kapitel 2.1.4.4) werden tätigkeits- und medienspezifische Kenntnisse der Versuchspersonen hinsichtlich ihrer Ausprägung über eine vierstufige Likert-Skala erfasst.

Aufgabenbezogene Kenntnisse

Zur Erfassung tätigkeitspezifischer Vorkenntnisse wurden die Erfahrungen im Umgang mit technische Zeichnungen, Montagetätigkeiten sowie Kenntnisse der Motorentechnik mithilfe einer

vierstufigen Likert-Skala dokumentiert (vgl. Jeske 2013, S. 37 ff.). Diese Items orientieren sich inhaltlich an der im Versuchsaufbau abgebildeten Arbeitsaufgabe der manuellen Serienmontage:

- Lesen von technischen Zeichnungen (Interpretation und Anwendung der Lernmittel bzw. Visualisierungen)
- Durchführen von Montagetätigkeiten (tätigkeitsbezogene Kenntnisse)
- Kenntnisse der Motorentechnik (objekt- bzw. produktbezogene Kenntnisse)

Tabelle 4.4.4-3: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 3 (a bis c)

3. Wie schätzen Sie Ihre Kenntnisse und Fähigkeiten in folgenden Bereichen ein?				
	Sehr gut	Gut	Gering	Keine
a) Lesen von technischen Zeichnungen	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
b) Durchführen von Montagetätigkeiten	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
c) Kenntnisse in der Motorentechnik	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1

Medienbezogene Kenntnisse

Medienspezifische Vorkenntnisse (Mediennutzungsgewohnheiten bzw. Medienkompetenzen) wurden durch Erfahrungen in der Bedienung von Smartphones, Tablets und dem Lernen mit digitalen Medien wie YouTube-Tutorials und E-Learning erfasst. Diese Angaben werden ergänzt durch Erfahrungen mit Virtual und Augmented Reality-Anwendungen, die sowohl im Gaming-Bereich als auch beim Konsum von Filmen gesammelt wurden. Anwendungsbeispiele aus diesen Bereichen sind in Privathaushalten am wahrscheinlichsten zu beobachten. Diese Items orientieren sich inhaltlich an den implementierten Lernmedien beziehungsweise an den dargebotenen Funktionalitäten des Versuchsaufbaus:

- Bedienung von Smartphones und Tablets (Touch-Screen-Bedienung)
- Lernen mit digitalen Medien (Bsp.: Videoinstruktionen)
- Augmented und Virtual Reality (Konsum und Interaktion mit virtuellen Elementen)

Tabelle 4.4.4-4: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 3 (d bis h)

d) Bedienen von Smartphones	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
e) Bedienen von Tablets	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
f) Lernen mit digitalen Medien (z. B. YouTube-Tutorials, E-Learning usw.)	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
g) Virtual Reality / Augmented Reality durch Gaming (z. B. Playstation)	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
h) Virtual Reality / Augmented Reality durch Filme	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1

4.4.4.3 Leistungsmotiv und Selbstwirksamkeit

Das individuelle Selbstwirksamkeitserleben bzw. die Selbstwirksamkeit sowie die Lernmotivation bilden potentielle Einflussfaktoren der Lernleistung bzw. der Lerntransfereffektivität ab (vgl. Kapitel 2.1.4.4). Zur Erfassung dieser Faktoren wurden im Rahmen der Voruntersuchungen geeignete Messinstrumente definiert (vgl. Kapitel 4.3.1). Die Items zur allgemeinen Selbstwirksamkeit sowie die Angaben zur Ermittlung des expliziten Leistungsmotivs werden im ersten Fragebogen im vierten Abschnitt abgebildet.

Explizites Leistungsmotiv

Durch die Verwendung der Achievement Motive Scale (AMS) in ihrer reduzierten Form (AMS-R) wird ein Instrument zur Erfassung des expliziten Leistungsmotivs in die Untersuchung integriert (vgl. Gjesme und Nygard 1970; Kuhn und Göttert 1980; Lang und Fries 2006). Im Sinne einer Motivationserfassung werden zehn Items hinsichtlich des Zustimmungsgrades über eine vierstufige Likert-Skala von den Versuchspersonen bewertet.

Tabelle 4.4.4-5: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 4 (a bis j)

4. In welchem Maße können Sie persönlich folgenden Aussagen zustimmen?				
	Stimme zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme gar nicht zu
a) Es macht mir Spaß, an Problemen zu arbeiten, die für mich ein bisschen schwierig sind.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
b) Ich mag Situationen, in denen ich feststellen kann, wie gut ich bin.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
c) Probleme, die schwierig zu lösen sind, reizen mich.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
d) Mich reizen Situationen, in denen ich meine Fähigkeiten testen kann.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
e) Ich möchte gern vor eine etwas schwierige Arbeit gestellt werden.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
f) Es beunruhigt mich, etwas zu tun, wenn ich nicht sicher bin, dass ich es kann.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
g) Auch bei Aufgaben, von denen ich glaube, dass ich sie kann, habe ich Angst zu versagen.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
h) Dinge, die etwas schwierig sind, beunruhigen mich.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
i) Wenn eine Sache etwas schwierig ist, hoffe ich, dass ich es nicht machen muss, weil ich Angst habe, es nicht zu schaffen.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
j) Wenn ich ein Problem nicht sofort verstehe, werde ich ängstlich.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1

Die AMS-R wurde als Messinstrument ohne Modifikationen übernommen und in die polnische Sprache übersetzt. Folgende Items wurden über den Fragebogen abgebildet:

- Es macht mir Spaß, an Problemen zu arbeiten, die für mich ein bisschen schwierig sind.
- Ich mag Situationen, in denen ich feststellen kann, wie gut ich bin.
- Probleme, die schwierig zu lösen sind, reizen mich.
- Mich reizen Situationen, in denen ich meine Fähigkeiten testen kann.

- Ich möchte gern vor eine etwas schwierige Arbeit gestellt werden.
- Es beunruhigt mich, etwas zu tun, wenn ich nicht sicher bin, dass ich es kann.
- Auch bei Aufgaben, von denen ich glaube, dass ich sie kann, habe ich Angst zu versagen.
- Dinge, die etwas schwierig sind, beunruhigen mich.
- Wenn eine Sache etwas schwierig ist, hoffe ich, dass ich es nicht machen muss, weil ich Angst habe, es nicht zu schaffen.
- Wenn ich ein Problem nicht sofort verstehe, werde ich ängstlich.

Allgemeine Selbstwirksamkeit

Zur Erfassung der allgemeinen Selbstwirksamkeit wurde die reduzierte Variante der General Self-Efficacy Scale (GSE-Scale) als Messinstrument definiert (vgl. Schwarzer und Jerusalem 1999; Romppel et al. 2013). Folgende Items wurden in den Fragebogen integriert und mittels einer vierstufigen Likert-Skala von den Versuchspersonen hinsichtlich ihrer Zustimmung eingeordnet:

- Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.
- Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, meine Absichten und Ziele zu verwirklichen.
- In unerwarteten Situationen weiß ich immer, wie ich mich verhalten soll.
- Auch bei überraschenden Ereignissen glaube ich, dass ich gut mit ihnen zurechtkommen kann.
- Was auch immer passiert, ich werde schon klarkommen.
- Wenn ein Problem auftaucht, kann ich es aus eigener Kraft meistern.

Tabelle 4.4.4-6: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 4 (k bis p)

k) Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
l) Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, meine Absichten und Ziele zu verwirklichen.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
m) In unerwarteten Situationen weiß ich immer, wie ich mich verhalten soll.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
n) Auch bei überraschenden Ereignissen glaube ich, dass ich gut mit ihnen zurechtkommen kann.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
o) Was auch immer passiert, ich werde schon klarkommen.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
p) Wenn ein Problem auftaucht, kann ich es aus eigener Kraft meistern.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1

Als Basis für die Übersetzung der GSE-6 Items in die polnische Sprache wurde die deutsche Originalversion verwendet.

4.5 Zusammenfassung und Auswertungsmethodik

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurden zwei verschiedene Fragebogen sowie drei unterschiedliche Beobachtungsbogen zur Datenerfassung eingesetzt. Durch umfassende Voruntersuchungen konnten geeignete Messinstrumente identifiziert werden, welche den Gütekriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität entsprechen. Diese Instrumente wurden in Anpassung an das spezifische Untersuchungsdesign teilweise modifiziert. Die Auswahl und Modifikation der Messinstrumente erfolgte vorwiegend theoriebasiert und in Anpassung an die Rahmenbedingungen des hier beschriebenen betrieblichen Qualifizierungsszenarios. Durch die Kombination der Messinstrumente sowie die Integration arbeitswissenschaftlicher Systeme zur Dokumentation von Tätigkeitsausführungen konnten in Anlehnung an die Untersuchungsgegenstände dieser Arbeit verschiedene Frage- und Beobachtungsbogen zur multidimensionalen Datenerfassung entwickelt werden.

4.5.1 Darstellung der Datenerfassung

Die an dieser Stelle der Ausarbeitung präsentierte Zusammenfassung bildet die Kombination verschiedener Messinstrumente (realisiert durch Fragebogen) sowie die Auswahl einzelner Gegenstände zur Beobachtung des Lernverhaltens (Beobachtungsbogen) ab.

4.5.1.1 Fragebogen I

- Abschnitt 1-2: Erfassung soziodemographischer Daten
- Abschnitt 3: Erfassung aufgaben- und medienbezogener Vorkenntnisse
- Abschnitt 4: Explizites Leistungsmotiv und allgemeine Selbstwirksamkeit

Die Bearbeitung des ersten Fragebogens erfolgte am ersten Tag der Untersuchung (Untersuchungsabschnitt 1) vor der Durchführung des Montagetrainings (Phase A: Pre-Training).

4.5.1.2 Beobachtungsbogen I-II (Montagetraining)

- Erfassung der motorisch-passiven Phase (Nutzungsintensität des Lernmediums)
- Erfassung der motorisch-aktiven Phase (Nutzungsintensität und Arbeitsleistung)

Es wurden zwei system- bzw. gruppenspezifische Beobachtungsbogen erstellt. Die Bearbeitung der Beobachtungsbogen und die Dokumentation des Lernverhaltens erfolgte parallel durch zwei Beobachtungsinstanzen während der Bearbeitung der Arbeitsaufgabe durch die Versuchspersonen (Montagetraining). Das Montagetraining erfolgte am ersten Untersuchungstag (Abschnitt 1 - Phase B: Training).

4.5.1.3 Fragebogen II

- subjektiv wahrgenommene Arbeitsbelastung (Workload)
- Selbsteinschätzung des Lerntransfers bzw. des Lernerfolgs

- Usability der Lernmedien
- Bewertung der AR-basierten Elemente

Der zweite Fragebogen wurde zum Abschluss des ersten Untersuchungsabschnitts (Tag 1) unmittelbar nach der Durchführung des Montagetrainings bearbeitet (Phase C: Post-Training).

4.5.1.4 Beobachtungsbogen III (Lernerfolgskontrolle)

- Fremdeinschätzung des Lerntransfers bzw. des Lernerfolgs
- Erfassung der motorisch-aktiven Phase bzw. der Arbeitsleistung
- Nutzung des Mediums zur Unterstützung der Lernerfolgskontrolle

Die Lernerfolgskontrolle fand einen Tag nach der Durchführung des Montagetrainings statt (Tag 2 – Untersuchungsabschnitt 2). Während der Bearbeitung der Arbeitsaufgabe (ohne Hilfsmittel) wurde die Tätigkeitsausführung mithilfe des dritten Beobachtungsbogens dokumentiert.

4.5.2 Übersicht: Modell zur Untersuchung der Wirksamkeit

An dieser Stelle werden die aus den Fragestellungen abgeleiteten Untersuchungsgegenstände bezüglich ihres synergetischen Zusammenwirkens bei der Ermittlung von Indikatoren zur Wirksamkeit des AR-basierten Lernmediums resümierend dargestellt. Die Analyse der definierten Untersuchungsgegenstände (Lernverhalten, Lernerfolg, personale Einflussfaktoren, Wahrnehmung des Lernmediums sowie der Arbeitsaufgabe) wird durch den Einsatz spezifischer Messinstrumente und arbeitswissenschaftlicher Ansätze realisiert. Unter Berücksichtigung potentieller Wechselwirkungen und Einflussfaktoren soll diese Vorgehensweise dazu dienen, Aussagen zur Wirksamkeit der im Rahmen dieser Arbeit implementierten Lernanwendung zu ermöglichen (vgl. Abbildung 4.5.2-1).

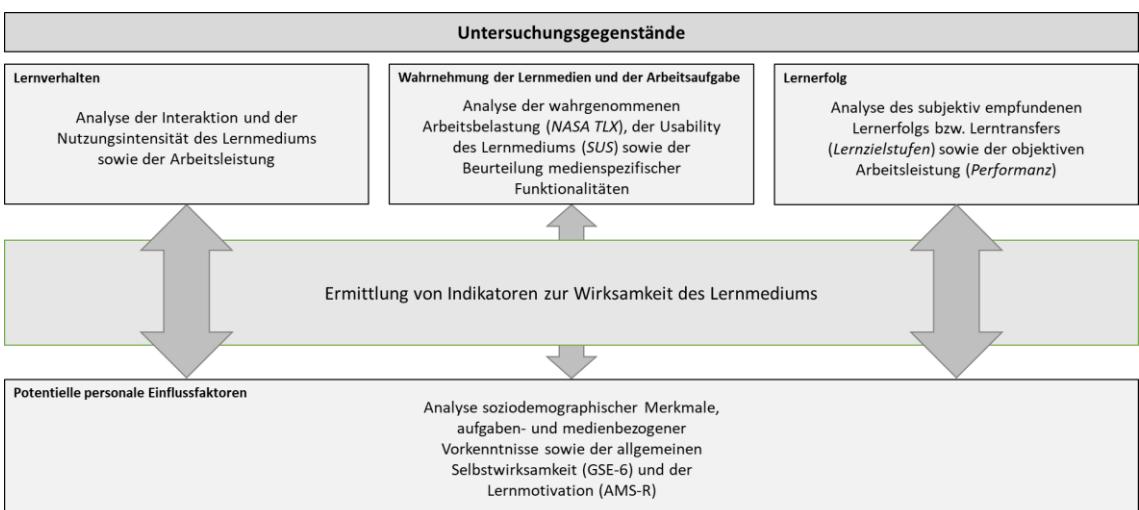


Abbildung 4.5.2-1: Gegenstände der Untersuchung und der Datenanalyse (erweiterte Darstellung)

Nach der theoriegeleiteten Definition potentieller Einflussfaktoren erfolgt die strukturierte Erfassung des Lernverhaltens (Trainingsparameter) sowie der individuellen Wahrnehmungen der Versuchspersonen hinsichtlich der Arbeitsaufgabe, des Lernmediums und der erreichten Lernzielstufe im Rahmen des Montagetrainings. Die Durchführung der Lernerfolgskontrolle ermöglicht die Erfassung definierter Parameter zur objektiven Beurteilung des Lernerfolgs.

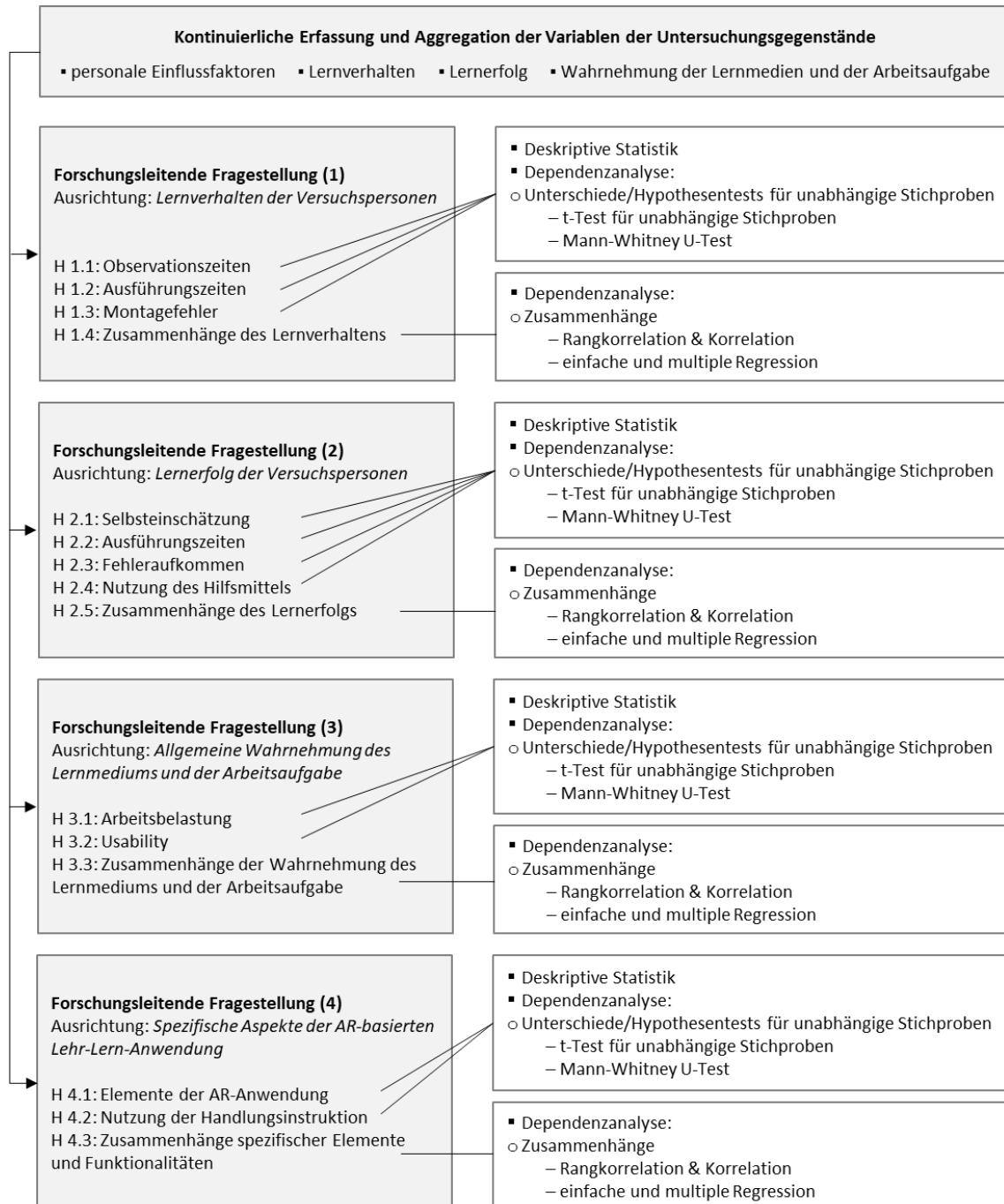


Abbildung 4.5.2-2: Modell zur Untersuchung der Wirksamkeit

Im Rahmen der Dependenzanalysen werden Unterschiede zwischen beiden Gruppen hinsichtlich einzelner Variablen und deren Ausprägungen geprüft. Zudem werden Zusammenhänge zwischen personalen Merkmalen und den Parametern des Montagetrainings sowie der Lernerfolgskontrolle analysiert. Im Rahmen der Korrelations- und Regressionsanalysen werden während der Untersuchung entstandene Variablen und Erkenntnisse im Sinne einer explorativen Vorgehensweise sukzessive in die Datenanalyse aufgenommen.

Aus der zentralen Fragestellung der vorliegenden Arbeit wurden vier forschungsleitende Fragestellungen abgeleitet, welche durch die Generierung mehrerer Hypothesen spezifiziert wurden (vgl. Abbildung 4.5.2-2). Die Verfahren zur Verifizierung dieser Hypothesen beziehungsweise die angewandten Methoden zur Datenanalyse werden in dem sich anschließenden Kapitel tiefergehend erläutert (vgl. Kapitel 4.5.3).

4.5.3 Methoden der Datenauswertung

Die Auswahl der Methoden zur Datenauswertung basiert auf den zuvor beschriebenen Messinstrumenten sowie den spezifischen Fragestellungen dieser Untersuchung. Im Rahmen der Forschung wurden vier zentrale Fragestellungen formuliert, die durch mehrere Hypothesen hinsichtlich ihrer Untersuchungsschwerpunkte präzisiert wurden. Zur Datenerfassung wurden Beobachtungs- und Fragebogen eingesetzt. Die erfassten Daten wurden sowohl deskriptiv als auch inferenzstatistisch analysiert. Im Rahmen begleitender Untersuchungen wurden bereits erste Erkenntnisse zur Auswertungsmethodik sowie zur interpretierenden Analyse einzelner Forschungsergebnisse erlangt (vgl. Venitz et al. 2021; Görthofer 2020; Weber 2019). Die Datenauswertung wurde unter Verwendung von IBM SPSS Statistics (Version 29) und Microsoft Excel 2016 durchgeführt. Bei der Darstellung der statistischen Ergebnisse wurden zur Optimierung der Lesbarkeit Dezimalstellen durch einen Punkt (.) gekennzeichnet.

In diesem Kapitel werden die Methodik zur quantitativen Auswertung der Forschungsdaten sowie spezifische Interpretationsempfehlungen der Forschungsergebnisse detailliert dargestellt.

4.5.3.1 Quantitative Datenauswertung

Alle Forschungsdaten wurden unter Nutzung der Beobachtungs- und Fragebogen manuell erfasst und nach Abschluss der Untersuchungen zu einem strukturierten sowie anonymisierten Gesamtdatensatz aggregiert. Die erfassten Daten der Beobachtungsbogen (insbesondere Montagefehler, Observations- und Ausführungszeiten) wurden durch den Autor mittels der entsprechenden Videoaufnahmen validiert.

Als Teil der deskriptiven Statistik werden im Zuge der Datenauswertung *Lagemaße* wie der Median oder das arithmetische Mittel sowie *Streuungsmaße* in Form der Standardabweichung oder der Varianz ermittelt. Abhängig vom Untersuchungsgegenstand bzw. von den betrachteten Variablen werden Häufigkeiten sowie Maximal- und Minimalwerte bestimmt. Teilweise werden im Rahmen der Ergebnisdarstellung bei Ordinalskalen Durchschnittswerte abgebildet. Diese Dar-

stellung dient lediglich der Differenzierung der Werte zwischen den beiden Gruppen beziehungsweise der Abbildung von Trends. Zur grafischen Darstellung werden Balkendiagramme, Histogramme sowie Box-Plots erstellt.

Der überwiegende Teil der inferenzstatistischen Verfahren setzt das Vorliegen einer Normalverteilung als grundlegende Annahme für die Durchführung der Tests voraus (vgl. Bühner und Ziegler 2009, S. 236 ff.). Im Rahmen der Datenanalyse wird zur Beurteilung der statistischen Signifikanz das allgemein übliche Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$ verwendet (vgl. Rasch et al. 2014a, S. 42). Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgt durch den *Kolmogorow-Smirnow-Test*, den *Shapiro-Wilk-Test* sowie durch die Erstellung von Histogrammen (grafischer Abgleich). Der Shapiro-Wilk-Test wird in der vorliegenden Arbeit aufgrund seiner höheren Robustheit bevorzugt. Der Test geht bei der Nullhypothese davon aus, dass die Daten normalverteilt sind. Liegt die Signifikanz unter dem üblichen Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$, wird die Nullhypothese abgelehnt und es ist anzunehmen, dass keine Normalverteilung der Daten vorliegt.

Eine Normalverteilung wird bei parametrischen Tests wie dem t-Test vorausgesetzt. Zudem werden metrische (abhängige Variablen) beziehungsweise nominale Variablen (Faktorvariablen) sowie eine Homogenität der Varianzen angenommen. Zur Untersuchung der Varianzgleichheit wird in dieser Arbeit der *Levene-Test* verwendet (vgl. Rasch et al. 2014b, S. 17). Die Nullhypothese des Levene-Tests geht davon aus, dass Varianzgleichheit besteht.

Bezogen auf die zuvor formulierten Unterschiedshypothesen werden im Rahmen der Datenanalyse überwiegend der t-Test für unabhängige Stichproben (parametrische Verfahren) und der Mann-Whitney-U-Test (nichtparametrische Verfahren) angewandt. Durch diese Tests können Unterschiede zwischen zwei Gruppen beziehungsweise zwischen zwei Mittelwerten oder Unterschiede zwischen einer Stichprobe und einem theoretischen Wert analysiert werden. Ergänzend werden zur Analyse potentieller Zusammenhänge vereinzelt Kreuztabellen im Rahmen des Chi²-Tests erstellt. Dieser Test kann gezielt bei zwei ordinal- oder nominalskalierten Variablen eingesetzt werden (vgl. Bühner und Ziegler 2009, S. 288 f.).

$$t_{df} = \frac{\text{Mittelwertdifferenz (empirisch)}}{\text{geschätzter Standardfehler der Mittelwertdifferenz}}$$

$$t_{df} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\hat{\sigma}_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}$$

t-Test (vereinfachte Formel)
(vgl. Rasch et al. 2014a, S. 38)

Liegt keine Normalverteilung der Daten vor, werden nichtparametrische Alternativen wie der Mann-Whitney-U-Test eingesetzt. Dieser Test eignet sich zudem bei ordinalskalierten (abhängigen) Variablen (vgl. Rasch et al. 2014b, S. 94 f.). Als parametrischer Test liefert der t-Test für zwei unabhängige Stichproben eine Aussage, ob sich zwei (unabhängige) Gruppen statistisch signifikant unterscheiden. Der Test geht bei der Nullhypothese davon aus, dass die Mittelwerte beider Gruppen gleich sind. Als Ergebnis liegt der t-Wert als Schätzwert bezüglich des Unterschiedes

zwischen den Gruppen sowie der p-Wert zur Beobachtungswahrscheinlichkeit des Unterschiedes vor.

Zur weiterführenden Interpretation wird ergänzend zum Ergebnis des t-Tests (t-Wert, p-Wert) eine Effektgröße bzw. Effektstärke ermittelt (*Cohen's d*) (vgl. Cohen 1988, S. 20). Zur Interpretation der Effektgröße dient die Konvention nach Cohen (1988). Demnach wird ab einem Wert von $r=0.1$ von einem schwachen, ab $r=0.3$ von einem moderaten und ab $r=0.5$ von einem starken Effekt gesprochen (vgl. Cohen 1988, S. 82). Die Interpretation der Effektstärke bei nichtparametrischen Alternativen wie dem Mann-Whitney-U-Test (Testergebnis: U-Wert, p-Wert) orientiert sich ebenfalls an dieser Konvention zur Einordnung der Effektgröße r . Die Berechnung der Effektstärke bei der Anwendung eines U-Tests orientiert sich an dem Korrelationskoeffizienten r nach *Pearson*.

Zur Untersuchung hinsichtlich bestehender Zusammenhänge (Zusammenhangshypothesen) zwischen einzelnen oder mehreren Variablen werden Korrelationstests sowie Regressionsanalysen durchgeführt (vgl. Bühner und Ziegler 2009, S. 143). Um zu überprüfen, ob ein Zusammenhang zwischen zwei Variablen besteht (Korrelation), wird bei vorliegender Normalverteilung und metrischen Variablen der Korrelationskoeffizient r nach *Pearson* berechnet. Durch das Vorzeichen (positiv oder negativ) des Koeffizienten wird neben der „Stärke“ der Beziehung die „Richtung“ des Zusammenhangs angegeben (positiver oder negativer Zusammenhang). Liegt keine Normalverteilung vor oder sind die zu untersuchenden Daten ordinalskaliert, wird auf die *Spearmans Rangkorrelation* ausgewichen. Die Interpretation dieser Koeffizienten orientiert sich ebenfalls an den Konventionen nach Cohen (1988).

Weiterführend werden einfache sowie multiple Regressionsanalysen betrachtet. Ziel dieser Verfahren ist es, den „Einfluss“ einzelner oder mehrerer (unabhängiger) Variablen zu quantifizieren sowie Aussagen zur Vorhersagefähigkeit eines Kriteriums (abhängige Variable) durch andere Variablen (Prädiktoren) zu treffen. Als bedeutende Voraussetzungen für die Durchführung einer multiplen Regressionsanalyse sind eine lineare Beziehung der Variablen untereinander sowie eine nicht vorhandene bzw. schwach ausgeprägte Multikollinearität und Autokorrelation (Durbin-Watson-Test) hervorzuheben. Bei der Auswertung der Regressionsanalysen werden im Zuge der Darstellung der Untersuchungsergebnisse insbesondere die Angaben zur Modellgüte durch R^2 bzw. das korrigierte R^2 (bei mehreren unabhängigen Variablen), die standardisierten Regressionskoeffizienten (Beta-Werte) sowie die Signifikanz (p-Wert) betrachtet.

Im Rahmen der empirischen Datenerhebung der vorliegenden Arbeit wurden sowohl bestehende etablierte Skalen und Tests angewandt (vgl. Kapitel 4.3.1) als auch eigene untersuchungsspezifische Skalen entwickelt. Zur Untersuchung der internen Konsistenz der entwickelten Skalen wird der Alpha-Koeffizient nach Cronbach (1951) berechnet und interpretiert (vgl. Bortz 2002, S. 198).

4.5.3.2 Spezifische Interpretationsempfehlungen

Im Hinblick auf die Forschungsergebnisse spezifischer Messinstrumente (SUS, AMS-R, NASA TLX und GSE-6) wurden im Rahmen der Vorarbeiten zu der vorliegenden Untersuchung fundierte Referenzwerte sowie Interpretationsansätze ermittelt.

AMS-R

Bei der Interpretation der Ergebnisse zum expliziten Leistungsmotiv muss berücksichtigt werden, dass die Kurzform der Skala eingesetzt wurde. Die reduzierte Variante der Skala (AMS-R) umfasst zehn Items, die Originalversion (AMS) besteht aus 30 Items. Es ist davon auszugehen, dass sich die Resultate der reduzierten Skala nicht uneingeschränkt mit Resultaten der Originalskala vergleichen lassen. Zur Orientierung werden die Erkenntnisse von Engeser (2005) in die Interpretation der vorliegenden Arbeit einbezogen. Basierend auf drei Stichproben wurden Hinweise zur Normierung der Kurz- und Langform der AMS Skala ermittelt (vgl. Tabelle 4.5.3-1).

Tabelle 4.5.3-1: Mittelwerte (Standardabweichungen) der AMS Kurz- und Langform
(Darstellung aus Engeser 2005, S. 12)

HE ^a		FM ^b			
		Frauen		Männer	
Kurzform	Langform	Kurzform	Langform	Kurzform	Langform
<u>M</u> (<u>SD</u>)					
14.93	45.85	10.34	31.67	9.35	28.90
(2.58)	(6.03)	(3.05)	(8.06)	(2.99)	(7.96)

Anmerkung. N = 958 (Frauen N = 666; Männer N = 292)

Das Konstrukt *Hoffnung auf Erfolg* (HE) erreicht in der Kurzform einen Mittelwert von 14.93 bei einem Maximalwert von 20 und einem Minimalwert von fünf Punkten. Bei dem Konstrukt *Furcht vor Misserfolg* (FM) findet eine geschlechtsspezifische Differenzierung statt. Weibliche Teilnehmerinnen (10.34 Punkte) weisen über alle Studien hinweg eine höhere FM-Ausprägung auf als männliche Teilnehmer (9.35 Punkte). Zudem wurde ein (positiver) Zusammenhang zwischen dem Alter und der Ausprägung des Konstrukts HE festgestellt. Ausgehend von einem Lebensalter von 25.9 Jahren steigt bzw. fällt die Punktzahl um 0.032 Punkte pro Lebensjahr. Analog verhält es sich bei dem Konstrukt FM (abnehmende Punktzahl ab einem Lebensalter von 25.9 Jahren).

GSE-6

Zur Erfassung der allgemeinen Selbstwirksamkeit wird die reduzierte Variante der General Self-Efficacy Scale (GSE-Scale) verwendet (sechs Items). Der Mittelwert der ursprünglichen GSE Skala für Erwachsene (Punktebereich zwischen 10 und 40 Punkten) liegt bei ca. 29 Punkten bei einer Standardabweichung von ca. vier Punkten (vgl. Hinz et al. 2006). Das Äquivalent unter Anwendung der reduzierten Variante (Punktebereich 6 bis 24 Punkte) liegt bei einem Mittelwert von 17.43 Punkten (vgl. Romppel et al. 2013).

SUS

Zur Erfassung des situativ wahrgenommenen Nutzens bzw. der Akzeptanz der hier eingesetzten Lehr-Lern-Medien wurde die System Usability Scale (SUS) ausgewählt. Diese Skala beschreibt einen Wertebereich von 0 bis 100. Zur Interpretation der SUS-Werte werden die Erkenntnisse nach Bangor et al. (2008) berücksichtigt. Demnach kann ein Punktwert zwischen 25 und 40 als „schlecht“ bzw. nicht zufriedenstellend und ein Wert im Bereich von 80 Punkten als „sehr gut“ interpretiert werden.

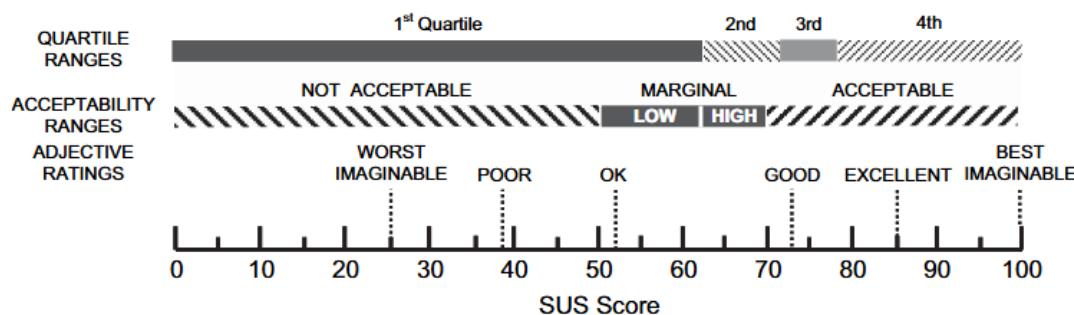


Abbildung 4.5.3-1: Interpretation der SUS-Werte
(Darstellung aus Bangor et al. 2008, S. 592)

NASA TLX

Der NASA TLX Load Index wird in der vorliegenden Untersuchung zur Erfassung der subjektiv wahrgenommenen Arbeitsbelastung eingesetzt. Als Referenzwerte bei der Interpretation der NASA TLX Punktwerte werden die Erkenntnisse von Meta-Analysen nach Grier (2015) betrachtet. Basierend auf der Analyse von über 1000 Studienergebnissen wurden branchen- und aufgabenspezifische Referenzwerte ermittelt. Bei der Analyse mechanischer Tätigkeiten wurde basierend auf 22 Studien für diese spezifische Aufgabenkategorie ein Minimalwert von 20.10 sowie ein Maximalwert von 51.03 Punkten bestimmt. Im Rahmen der Bewältigung kognitiver Aufgaben liegt das Minimum bei 13.08 und das Maximum bei 64.90 Punkten (31 Studien) (vgl. Grier 2015, S. 1729). Diese Erkenntnisse werden als Referenzwerte für die vorliegende Untersuchung verwendet.

5 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Aufbauend auf den zuvor formulierten forschungsleitenden Fragen und Hypothesen werden an dieser Stelle die Ergebnisse der Datenanalyse dargestellt (vgl. Kapitel 4.1). Im Hinblick auf die Untersuchung potentieller Ursache-Wirkungszusammenhänge werden insbesondere statistische Verfahren (u.a. Hypothesentests) zur Identifikation von Unterschieden zwischen beiden Gruppen der Kontrollgruppenuntersuchung sowie von Zusammenhängen zwischen einzelnen Variablen angewandt (vgl. Kapitel 4.5.3). Die Darstellung der Untersuchungsergebnisse erfolgt überwiegend ohne eine Interpretation der Ergebnisse. Eine tiefergehende Interpretation und Diskussion der Untersuchungsergebnisse wird im sechsten Kapitel der Ausarbeitung abgebildet. Einzelne Fälle wurden aufgrund fehlerhafter oder unvollständiger Daten von der Datenauswertung vollständig oder teilweise ausgeschlossen (vgl. Anhang 8.3.2). Die entstandenen Ausgabedateien der Datenanalyse (*SPSS Statistics Output Document*) wurden der Ausarbeitung in elektronischer Form beigefügt (vgl. Anhang 8.3.4).

5.1 Darstellung der Stichproben

Einleitend werden die erfassten Daten der Stichproben abgebildet. Es erfolgt die allgemeine und gruppenspezifische Darstellung der Ausprägungen einzelner personaler Merkmale der Versuchspersonen (soziodemographische Daten, Vorkenntnisse, Leistungsmotiv und Selbstwirksamkeit).

5.1.1 Soziodemografische Daten

Die erfassten soziodemographischen Daten setzen sich aus dem Geschlecht, dem Alter, dem Bildungsniveau sowie der Berufsgruppe der Versuchspersonen zusammen und werden an dieser Stelle differenziert dargestellt.

5.1.1.1 Alter und Geschlecht

An der vorliegenden Untersuchung nahmen insgesamt 104 Versuchspersonen im Alter zwischen 20 und 58 Jahren teil (Durchschnittsalter: 35.59 Jahre, SD=9.24). Dabei handelte es sich um 54 weibliche (51.9%) und 50 männliche (48.1%) Versuchspersonen. Nach der Bearbeitung des ersten Fragebogens erfolgte die Gruppenzuteilung. Alle Versuchspersonen wurden unter Berücksichtigung einzelner Aspekte (vgl. Kapitel 4.2.1: Parallelisierung) in zwei gleich große Gruppen eingeteilt (Experimentalgruppe= AR, Kontrollgruppe= ASB). Im Zuge der Gruppenzuweisung erfolgte die Kennzeichnung jeder Versuchsperson durch eine entsprechende Kodierung (**ATT-MMXX**=Experimentalgruppe, **STTMMXX**=Kontrollgruppe).

Tabelle 5.1.1-1: Merkmal *Geschlecht* - Experimental- und Kontrollgruppe
Darstellung aus SPSS

Geschlecht		Gruppe		
		AR Anzahl	ASB Anzahl	Gesamt Anzahl
w		27	27	54
m		25	25	50

Die Anzahl weiblicher sowie männlicher Versuchspersonen (27 Frauen, 25 Männer) liegt in beiden Gruppen zu gleichen Anteilen vor. Sowohl das Durchschnittsalter (MW-Gruppe AR: 35.23 Jahre; MW-Gruppe ASB: 35.94 Jahre) als auch die Spannweite von 38 bzw. 37 Jahren befinden sich bei beiden Gruppen auf einem vergleichbaren Niveau. Die beobachtete Spannweite dient als Indikator für die Heterogenität bezüglich des Alters der Versuchspersonen.

Tabelle 5.1.1-2: Merkmal *Alter* – Experimental- und Kontrollgruppe
Darstellung aus SPSS

Alter	Gruppe	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum	Spannweite
	AR	35,23	36	20	58	38
	ASB	35,94	36	21	58	37

Nach Durchführung des Levene-Tests (Prüfung auf Varianzhomogenität) wird die Nullhypothese, dass die beiden Varianzen gleich sind, nicht verworfen ($p=0.986$). Daher wird für weitere Analysen (t-Test) davon ausgegangen, dass die Varianzen bezogen auf das Merkmal *Alter* in beiden Gruppen gleich sind. Die Tests auf Normalverteilung (KS- und Shapiro-Wilk-Test) deuten darauf hin, dass die Daten bezüglich der Variable *Alter* bei beiden Gruppen nicht signifikant von der Normalverteilung abweichen ($p=0.292$ (AR), $p=0.195$ (ASB) nach Shapiro-Wilk).

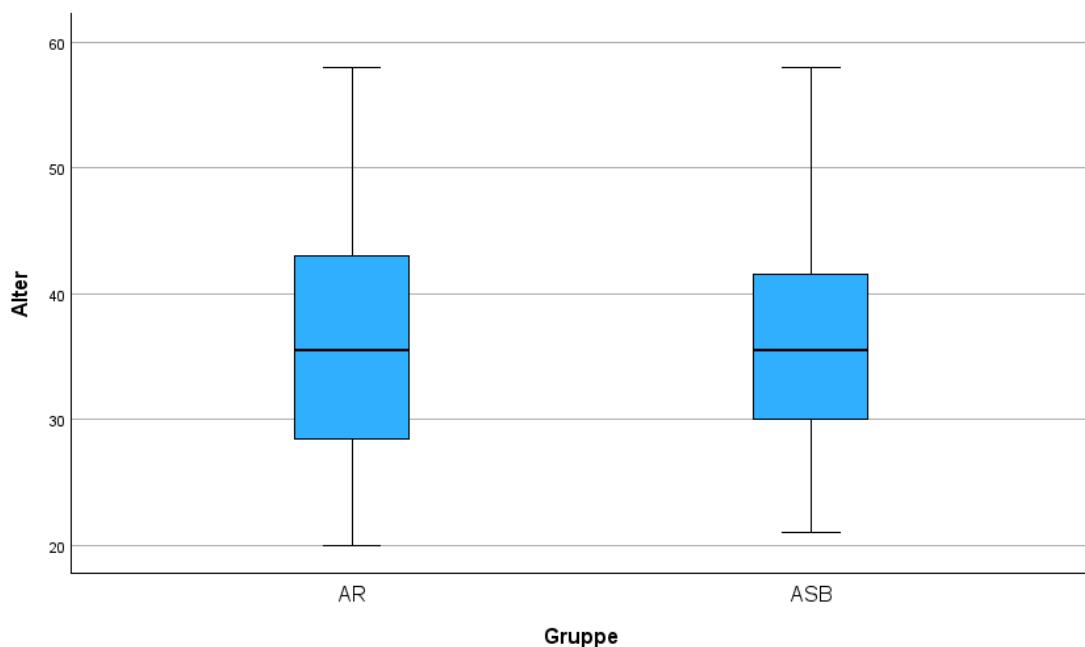


Abbildung 5.1.1-1: Boxplot zur Variable *Alter*
Darstellung aus SPSS

Der t-Test für unabhängige Stichproben bestätigt, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Variable Alter besteht ($t(102) = -0.391$; $p=0.696$; $d=0.08$ - *sehr schwacher Effekt*). Die Nullhypothese (es existiert kein signifikanter Unterschied bezüglich der Mittelwerte) wird daher nicht abgelehnt.

5.1.1.2 Bildungsabschlüsse und Berufsgruppen

Bei der Auswertung der höchsten Schulabschlüsse und berufsqualifizierenden Abschlüsse wurde jeweils ausschließlich der höchste Abschluss gewertet. Ein berufsqualifizierender Abschluss wurde höher bewertet als ein schulischer Abschluss. Unter den Versuchspersonen waren alle dargestellten Schul- und berufsqualifizierenden Abschlüsse des polnischen Bildungssystems vertreten. Die Abschlüsse *Szkoła zawodowa* (\approx berufsbildende Schule) mit 33.7 Prozent, *Liceum ogólnokształcące* (\approx allgemeinbildendes Gymnasium) mit 28.8 Prozent sowie *Technikum* (\approx technische Oberschule bzw. Techniker) mit 26.9 Prozent bilden dabei den Großteil der vertretenen Bildungsabschlüsse ab. Die drei abgebildeten Hochschulabschlüsse (Licenjat, Magister und Inzynier) bilden einen Anteil von insgesamt 9.6 Prozent ab.

Tabelle 5.1.1-3: Häufigkeiten zum Merkmal *höchster Abschluss*
Darstellung aus SPSS

		Anzahl	Anteil in Prozent
Höchster Abschluss	Szkoła zawodowa	35	33,7%
	Liceum	30	28,8%
	Technikum	28	26,9%
	Licenjat	5	4,8%
	Magister	3	2,9%
	Inzynier	2	1,9%
	Inne (Sonstige)	1	1,0%

Nach der Gruppenzuteilung liegen die dargestellten Profile zu ähnlichen Anteilen in beiden Gruppen vor. Sowohl in der Kontrollgruppe als auch in der Experimentalgruppe überwiegen die Abschlüsse *Szkoła zawodowa*, *Liceum ogólnokształcące* und *Technikum*. Beide Versuchspersonen mit einem abgeschlossenen Bachelorstudium der Ingenieurwissenschaften (Inzynier) befinden sich in der Experimentalgruppe (AR). Bei einer Versuchsperson wurde die Angabe *Inne* (sonstige) erfasst. Es erfolgte keine Spezifizierung der Angabe, wodurch dieses Profil keiner Berufsgruppe (technisch oder nicht technisch) zugeordnet werden konnte.

Basierend auf den Angaben der Versuchspersonen zum Bildungsabschluss bzw. zur Fachrichtung (*Profil/kierunek*) wurden die Profile technischen oder nicht technischen Berufsgruppen zugeordnet (vgl. Bundesagentur für Arbeit 2011a, 2011b). Wurden keine ergänzenden Angaben durch die Versuchspersonen hinterlegt, konnte keine Zuweisung zu einer der beiden Berufsgruppen erfolgen. Bei der Experimentalgruppe konnte in fünf Fällen, bei der Kontrollgruppe in sechs Fällen, keine Zuordnung zu einer technischen oder nicht technischen Berufsgruppe erfolgen (elf Fälle insgesamt).

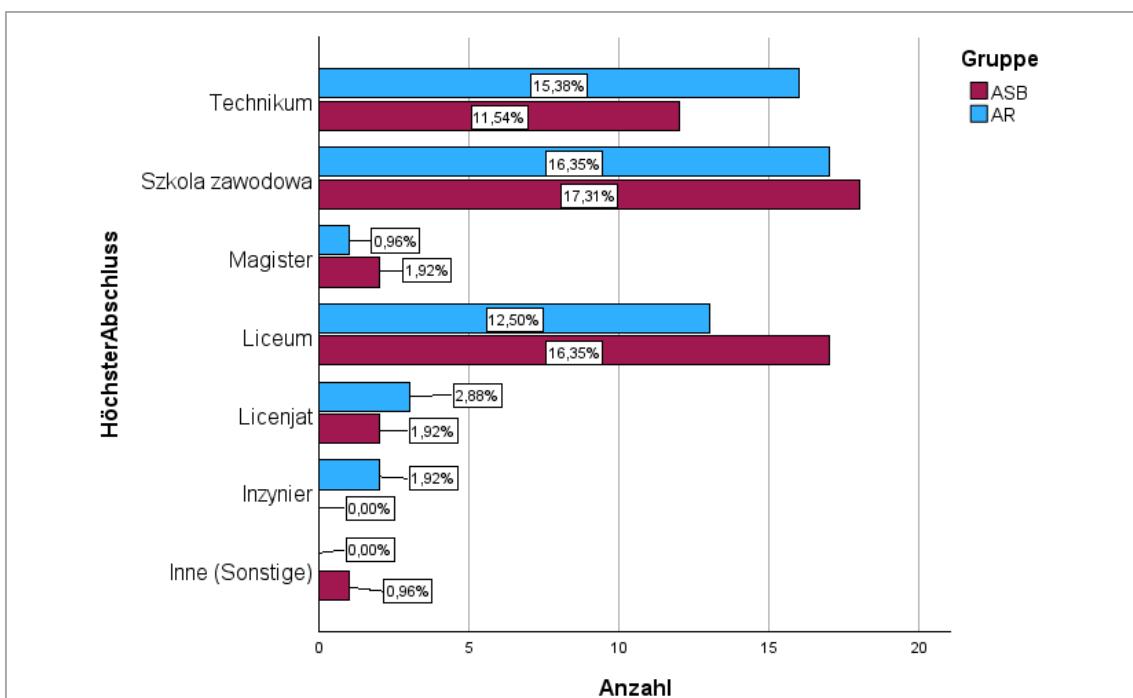


Abbildung 5.1.1-2: Balkendiagramm - Höchster Abschluss nach Gruppen
Darstellung aus SPSS

Über beide Gruppen hinweg wurden insgesamt 41 technische (AR-Gruppe: 21 Personen, ASB-Gruppe: 20 Personen) und 52 nicht technische (AR-Gruppe: 26 Personen, ASB-Gruppe: 26) Berufsprofile erfasst. Die Gesamtheit der Versuchspersonen der nicht technischen Berufsgruppe setzt sich zu 63.46 Prozent aus weiblichen Versuchspersonen (N=33) und zu 36.54 Prozent aus männlichen Versuchspersonen (N=19) zusammen. Die technische Berufsgruppe besteht zu 68.29 Prozent aus Männern (N=28) und zu 31.71 Prozent aus Frauen (N=13). Der χ^2 -Test zeigt, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Berufsgruppe und dem Geschlecht der Versuchspersonen besteht ($\chi^2(1)=9.247$; $p=0.002$; Cramér's V=0.32 - *moderer Effekt*).

Tabelle 5.1.1-4: Kreuztabelle Berufsgruppe - Geschlecht
Darstellung aus SPSS

		Berufsgruppe * Geschlecht Kreuztabelle		
		Geschlecht		
Anzahl		W	m	Gesamt
Berufsgruppe	nicht-technisch	33	19	52
	technisch	13	28	41
Gesamt		46	47	93

Die Durchführung eines weiteren χ^2 -Tests bestätigt, dass kein statistischer Zusammenhang zwischen der Gruppenzugehörigkeit (AR/ASB) und der Variable *Berufsgruppe* besteht ($\chi^2(1)=0.014$; $p=0.907$; Cramér's V=0.01 - sehr schwacher Effekt). Die Nullhypothese wird nicht abgelehnt.

Tabelle 5.1.1-5: Kreuztabelle Berufsgruppe - Gruppenzuordnung (AR/ASB)
Darstellung aus SPSS

		Berufsgruppe * Gruppe Kreuztabelle		
		Gruppe		
Anzahl		AR	ASB	Gesamt
Berufsgruppe	nicht-technisch	26	26	52
	technisch	21	20	41
Gesamt		47	46	93

5.1.2 Vorkenntnisse

Die erfassten Vorkenntnisse der Versuchspersonen setzen sich aus aufgaben- und medienbezogenen Kenntnissen sowie dem Resultat des vorgelagerten Montage- und Werkzeugtrainings zusammen. Neben der Darstellung der individuellen Ausprägungen der Vorkenntnisse wird an dieser Stelle die Untersuchung der internen Konsistenz der verwendeten Skalen ergänzt.

5.1.2.1 Aufgaben- und medienbezogene Vorkenntnisse

Aufgabenspezifische sowie medienbezogene Kenntnisse der Versuchspersonen wurden mittels einer vierstufigen Likert-Skala erfasst. Die drei aufgabenbezogenen Items erfassen Erfahrungen im Umgang mit technischen Zeichnungen, Montagetätigkeiten sowie Kenntnisse der Motoren-technik.

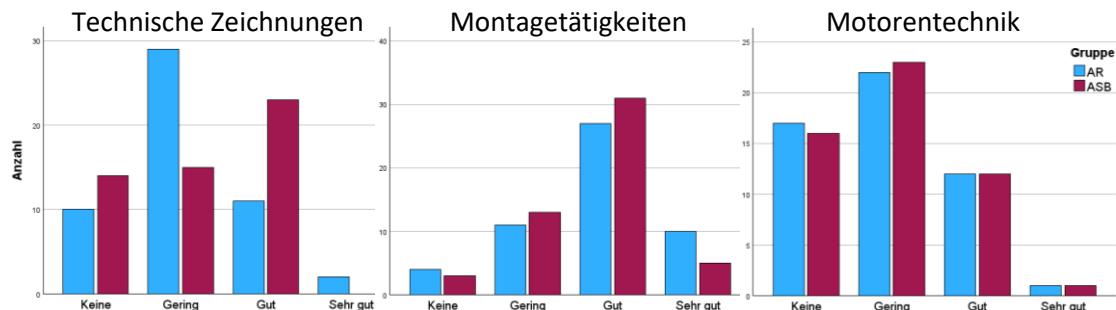


Abbildung 5.1.2-1: Histogramme zu den aufgabespezifischen Vorkenntnissen
Darstellung aus SPSS

Über beide Gruppen hinweg konnte bezüglich des ersten Items (Lesen von technischen Zeichnungen) ein Mittelwert von 2.13 (Median=2, entspricht „gering“), beim zweiten Item (Durchführen von Montagetätigkeiten) ein Mittelwert von 2.78 (Median=3, entspricht „gut“) und beim dritten Item (Kenntnisse der Motoren-technik) ein Mittelwert von 1.95 (Median=2, entspricht „gering“) ermittelt werden. Bei allen drei Items lag die Spannweite bei einem Wert von drei Punkten, d.h. bei allen Items wurde vereinzelt sowohl die höchste als auch die niedrigste Merkmalsausprägung angegeben.

In der Experimentalgruppe liegt der Mittelwert des ersten Items (Lesen von technischen Zeichnungen) bei 2.10 (Standardabweichung: 0.75), in der Kontrollgruppe bei 2.17 (Standardabweichung: 0.83). Bezuglich der Durchführung von Montagetätigkeiten liegt der Mittelwert bei 2.83

innerhalb der Experimentalgruppe (Standardabweichung: 0.83) beziehungsweise bei 2.73 (Standardabweichung: 0.72) innerhalb der Kontrollgruppe. Bei den Kenntnissen der Motorentechnik ist ein Mittelwert von 1.94 für die Experimentalgruppe (Standardabweichung: 0.8) und ein Mittelwert von 1.96 (Standardabweichung: 0.79) für die Kontrollgruppe zu beobachten.

Tabelle 5.1.2-1: Teststatistiken zu aufgabenspezifischen Vorkenntnissen
Darstellung aus SPSS

	Teststatistiken ^a		
	Techn_Zeichnung	Montagetätigkeiten	Motorentechnik
Mann-Whitney-U-Test	1243,000	1248,000	1332,500
Wilcoxon-W	2621,000	2626,000	2710,500
Z	-,757	-,751	-,136
Asymp. Sig. (2-seitig)	,449	,453	,892

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Bezüglich der Variable *Lesen von technischen Zeichnungen* wird nach Durchführung des Levene-Tests die Nullhypothese, dass die beiden Varianzen gleich sind, verworfen ($p=0.027$). Daher wird für weitere Analysen davon ausgegangen, dass die Varianzen hinsichtlich dieser Variable in beiden Gruppen nicht gleich sind. Die Tests auf Normalverteilung (KS- und Shapiro-Wilk-Test) deuten zudem darauf hin, dass die Daten bezüglich dieser Variable bei beiden Gruppen signifikant von der Normalverteilung abweichen ($p<0.001$ (AR), $p<0.001$ (ASB) nach Shapiro-Wilk). Nach Durchführung des Mann-Whitney U-Tests ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der abhängigen Variable *Lesen von technischen Zeichnungen* ($p=0.449$; $r=0.07$ - *sehr schwacher Effekt*). Die Nullhypothese wird beibehalten.

Nach Durchführung des Levene-Tests wird hinsichtlich der erfahrungsbezogenen Variable *Durchführen von Montagetätigkeiten* die Nullhypothese, dass die beiden Varianzen gleich sind, nicht verworfen ($p=0.494$). Es wird davon ausgegangen, dass die Varianzen hinsichtlich dieser Variable in beiden Gruppen gleich sind. Der Kolmogorow-Smirnow und der Shapiro-Wilk-Test deuten darauf hin, dass die erfassten Daten in beiden Gruppen mit $p<0.001$ signifikant von der Normalverteilung abweichen. Der Mann-Whitney U-Test lässt vermuten, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der abhängigen Variable *Durchführen von Montagetätigkeiten* besteht ($p=0.453$; $r=0.07$ - *sehr schwacher Effekt*). Die Nullhypothese wird beibehalten.

Der Levene-Test deutet bezüglich der Variable *Kenntnisse der Motorentechnik* darauf hin, dass die Nullhypothese (beiden Varianzen sind gleich) nicht verworfen wird ($p=0.809$). Es wird davon ausgegangen, dass die Varianzen hinsichtlich dieser Variable in beiden Gruppen gleich sind. Es wird zudem davon ausgegangen, dass die erfassten Daten in beiden Gruppen signifikant von der Normalverteilung abweichen ($p<0.001$ (AR), $p<0.001$ (ASB) nach Shapiro-Wilk). Der Mann-Whitney U-Test zeigt, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der Variable *Lesen von technischen Zeichnungen* statistisch nicht signifikant ist. Die Nullhypothese wird damit beibehalten ($p=0.892$; $r=0.01$ - *sehr schwacher Effekt*).

Die fünf medienbezogenen Items erfassen Erfahrungen mit der Bedienung von Smartphones sowie Tablets und dem Lernen mit digitalen Medien wie YouTube-Tutorials und E-Learning. Ergänzend wurden Erfahrungen mit Virtual- und Augmented Reality-Anwendungen erfasst, die sowohl im Gaming-Bereich als auch beim Konsum von Filmen gesammelt wurden.

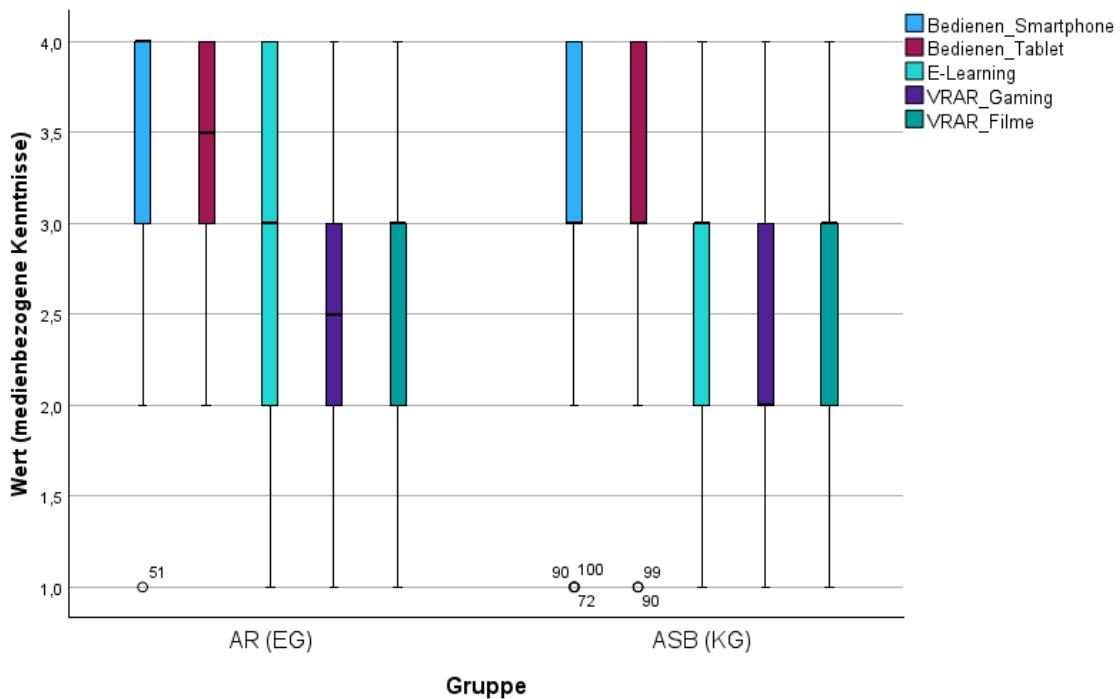


Abbildung 5.1.2-2: Boxplot zu medienspezifischen Vorkenntnissen
Darstellung aus SPSS (o Ausreißer)

Über beide Gruppen hinweg konnte bezüglich des ersten Items (Bedienen von Smartphones) ein Mittelwert von 3.36 (Median=3.5; Modus=4; entspricht „sehr gut“), beim zweiten Item (Bedienen von Smartphones) ein Mittelwert von 3.31 (Median=3; Modus=4; entspricht „sehr gut“) und beim dritten Item (Lernen mit digitalen Medien) ein Mittelwert von 2.87 (Median=3; entspricht „gut“) festgestellt werden. Bezuglich der AR- bzw. VR-spezifischen Angaben wurde beim vierten Item (Erfahrung durch Gaming) ein Mittelwert von 2.52 (Median=2; entspricht „gering“) und beim fünften Item ein Mittelwert von 2.61 (Median=3; entspricht „gut“) ermittelt. Bei allen fünf Items lag die Spannweite bei einem Wert von drei Punkten, d.h. es wurde sowohl die höchste als auch die niedrigste Merkmalsausprägung bei allen Items erfasst.

In der Experimentalgruppe liegt der Mittelwert des ersten Items (Bedienen von Smartphones) bei 3.48 (Standardabweichung: 0.7), in der Kontrollgruppe bei 3.23 (Standardabweichung: 0.83) und beim zweiten Item (Bedienen von Smartphones) bei 3.37 (Experimentalgruppe; Standardabweichung: 0.71) beziehungsweise bei 3.25 (Kontrollgruppe; Standardabweichung: 0.76). Der Mittelwert bezüglich des Lernens mit digitalen Medien (drittes Item) liegt bei 2.94 (Standardabweichung: 0.89) innerhalb der Experimentalgruppe und bei 2.79 (Standardabweichung: 0.91) innerhalb der Kontrollgruppe.

Hinsichtlich der Erfahrungen mit AR oder VR durch Gaming-Anwendungen (viertes Item) wurde bei der Experimentalgruppe ein Mittelwert von 2.58 (Standardabweichung: 0.98) und bei der Kontrollgruppe ein Mittelwert von 2.46 (Standardabweichung: 0.94) ermittelt. Der Mittelwert des fünften Items (Erfahrungen mit AR oder VR durch Filme) liegt bei 2.62 (Standardabweichung: 0.89) innerhalb der Experimentalgruppe beziehungsweise bei 2.60 (Standardabweichung: 0.82) innerhalb der Kontrollgruppe.

Der Levene-Test deutet hinsichtlich der Variable *Bedienen von Smartphones* darauf hin, dass die Varianzen hinsichtlich dieser Variable in beiden Gruppen gleich sind ($p=0.547$). Die Nullhypothese wird nicht verworfen. Ergänzend wird davon ausgegangen, dass die erfassten Daten in beiden Gruppen signifikant von der Normalverteilung abweichen ($p<0.001$ (AR), $p<0.001$ (ASB) nach Shapiro-Wilk). Durch die Anwendung des Mann-Whitney U-Tests kann dargestellt werden, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der Variable *Bedienen von Smartphones* statistisch nicht signifikant ist. Die Nullhypothese wird beibehalten ($p=0.101$; $r=0.16$ - *sehr schwacher Effekt*).

Basierend auf dem Ergebnis des Levene-Tests wird bei der Variable *Bedienen von Tablets* davon ausgegangen, dass die Varianzen in beiden Gruppen gleich sind. Die Nullhypothese wird nicht verworfen ($p=0.709$). Zudem wurde festgestellt, dass bezüglich dieser Variable innerhalb beider Gruppen keine Normalverteilung vorliegt ($p<0.001$ (AR), $p<0.001$ (ASB) nach Shapiro-Wilk). Das Resultat des Mann-Whitney U-Tests zeigt, dass bezüglich der Variable *Bedienen von Tablets* zwischen den beiden Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied besteht ($p=0.448$; $r=0.07$ - *sehr schwacher Effekt*).

Die Nullhypothese, dass die beiden Varianzen der Variable *Lernen mit digitalen Medien* in den Gruppen gleich sind, wird nicht verworfen (Levene-Test mit $p=0.688$). Eine Normalität bzw. Normalverteilung der erfassten Daten bezüglich dieser Variable ist nicht gegeben ($p<0.001$ (AR), $p<0.001$ (ASB) nach Shapiro-Wilk). Durch den Mann-Whitney U-Test wird dargestellt, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen, bezogen auf die Variable *Lernen mit digitalen Medien*, statistisch nicht signifikant ist ($p=0.407$; $r=0.08$ - *sehr schwacher Effekt*). Die Nullhypothese wird beibehalten.

Tabelle 5.1.2-2: Teststatistiken zu medienspezifischen Vorkenntnissen (Items 1-3)
Darstellung aus SPSS

	Teststatistiken ^a		
	Bedienen Smartphone	Bedienen Tablet PC	E-Learning
Mann-Whitney-U-Test	1124,500	1245,500	1231,000
Wilcoxon-W	2502,500	2623,500	2609,000
Z	-1,640	-,760	-,830
Asymp. Sig. (2-seitig)	,101	,448	,407

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Der Levene-Test deutet bei beiden AR- bzw. VR-spezifischen Variablen darauf hin, dass die Varianzen dieser Variablen (Erfahrung durch Gaming oder Filme) in beiden Gruppen gleich sind (Erfahrung durch Gaming: $p=0.655$; Erfahrung durch Filme: $p=0.532$). Ergänzend wurde ermittelt, dass bezüglich beider Variablen innerhalb beider Gruppen keine Normalverteilung vorliegt ($p<0.001$ (AR), $p<0.001$ (ASB) nach Shapiro-Wilk). Der Mann-Whitney U-Test zeigt, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen, bezogen auf die Variable *Erfahrung mit VR oder AR durch Gaming*, statistisch nicht signifikant ist ($p=0.558$; $r=0.06$ - *sehr schwacher Effekt*). Gleiches gilt für die Variable *Erfahrung mit VR oder AR durch Filme* ($p=0.895$; $r=0.01$ - *sehr schwacher Effekt*). Die Nullhypothese wird in beiden Fällen nicht abgelehnt.

Tabelle 5.1.2-3: Teststatistiken zu medienspezifischen Vorkenntnissen (Items 4-5)
Darstellung aus SPSS

	Teststatistiken ^a	
	VRAR_Gaming	VRAR_Filme
Mann-Whitney-U-Test	1266,000	1333,000
Wilcoxon-W	2644,000	2711,000
Z	-,586	-,132
Asymp. Sig. (2-seitig)	,558	,895

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

5.1.2.2 Reliabilität der Skalen

Zur Erfassung medien- und aufgabenbezogener Kenntnisse wurden im Rahmen dieser Arbeit entsprechende Skalen entwickelt. An dieser Stelle wird durch die Berechnung des *Cronbachs Alpha* die interne Konsistenz dieser Skala beziehungsweise der dargestellten Items untersucht.

Zur Ermittlung der aufgabenbezogenen Kenntnisse wurden die drei Items *Lesen von technischen Zeichnungen*, *Durchführen von Montagetätigkeiten* und *Kenntnisse der Motorentechnik* innerhalb des ersten Fragebogens abgebildet. Der Alpha-Koeffizient von 0.735 deutet darauf hin, dass die gewählten Items ein akzeptables Maß an interner Konsistenz aufweisen.

Tabelle 5.1.2-4: Item-Skala-Statistik zu aufgabenbezogenen Kenntnissen
Darstellung aus SPSS

	Item-Skala-Statistiken			
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
Techn_Zeichnung	4,731	1,752	,602	,596
Montagetätigkeiten	4,087	1,905	,526	,686
Motorentechnik	4,913	1,827	,549	,661

Zur Erfassung medienspezifischer Vorkenntnisse bzw. von Indikatoren bezüglich der Mediennutzungsgewohnheiten oder Medienkompetenzen wurden die Items *Bedienen von Smartphones und Tablet-Computern* sowie *Lernen mit digitalen Medien* abgebildet. Durch zwei weitere Items wurden Erfahrungen mit VR oder AR durch *Gaming* und *durch Filme* ermittelt. Diese fünf Items weisen eine gute interne Konsistenz auf (Cronbachs Alpha=0.877). Das Ergebnis lässt vermuten, dass durch die abgebildeten Fragen innerhalb des ersten Fragebogens zuverlässig derselbe Aspekt (medienspezifische Vorkenntnisse der Versuchspersonen) erfasst wird.

Tabelle 5.1.2-5: Item-Skala-Statistik zu medienbezogenen Kenntnissen
Darstellung aus SPSS

	Item-Skala-Statistiken			
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
Bedienen_SP	11,298	8,405	,678	,857
Bedienen_Tablet	11,346	8,403	,725	,848
ELearning	11,788	7,722	,700	,853
VR/AR_Gaming	12,135	7,457	,706	,853
VR/AR_Filme	12,048	7,774	,747	,840

Basierend auf den Ergebnissen der Reliabilitätsanalysen der selbst entwickelten Skalen wurden im Rahmen weiterführender Analysen die Resultate der einzelnen Items zu Gesamtwerten synthetisiert (Gesamtwert *Kenntnisse aufgabenbezogen*, Gesamtwert *Kenntnisse medienbezogen*).

5.1.2.3 Montage- und Werkzeugtraining

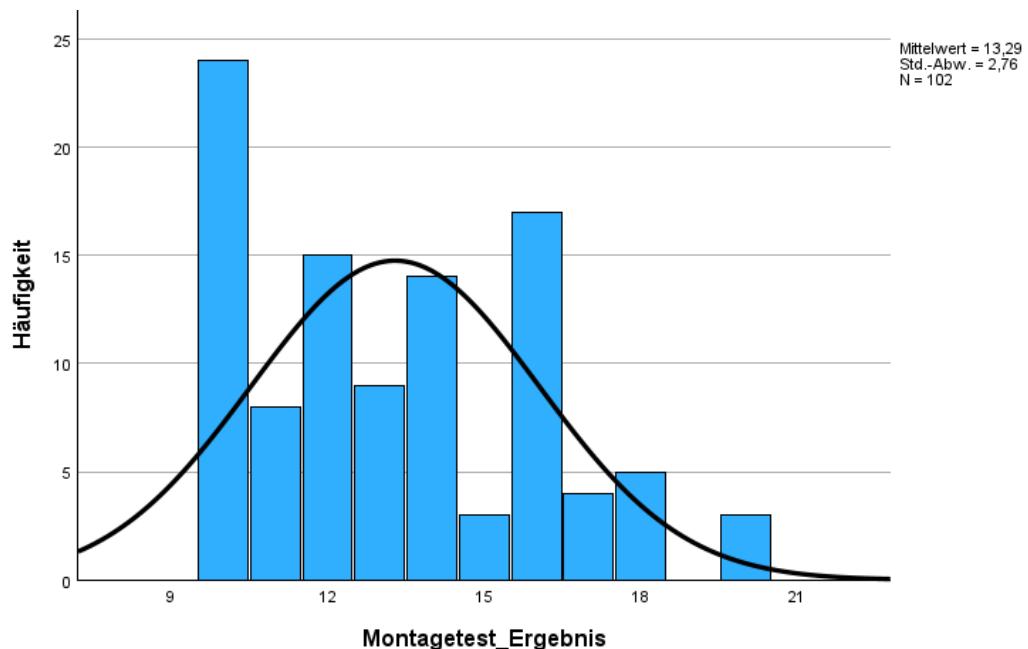
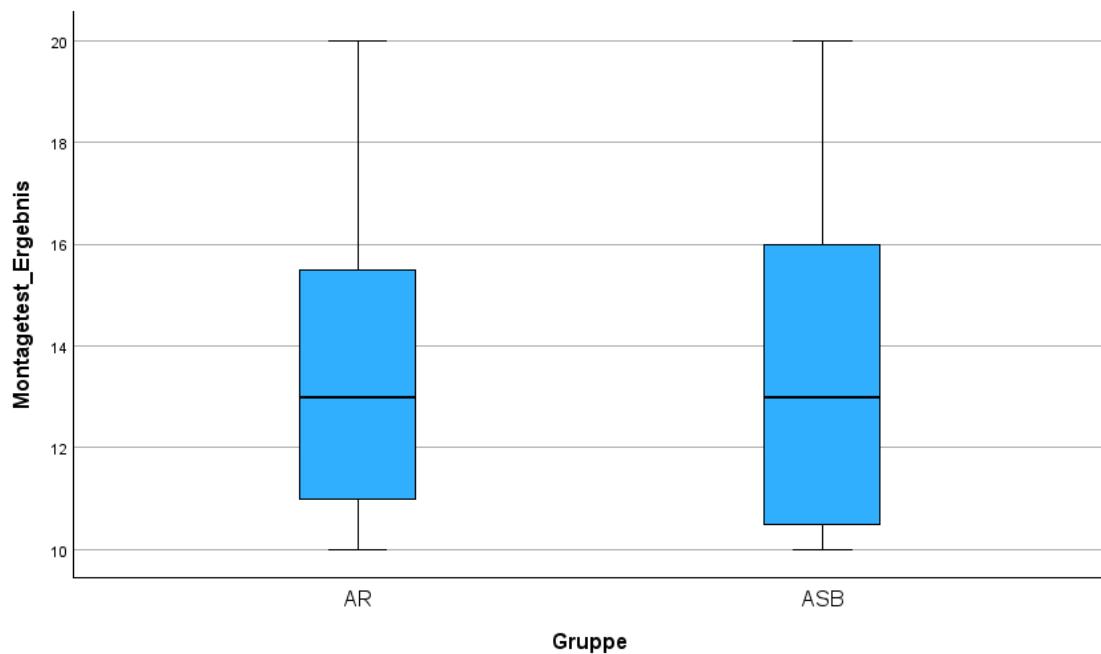


Abbildung 5.1.2-3: Histogramm zur Variable *Montagetest_Ergebnis*
Darstellung aus SPSS

Wie in Kapitel 4.3.3 dargestellt wurde, absolvierten alle Versuchspersonen dieser Untersuchung eine vorbereitende Schulungsmaßnahme (Montage- und Werkzeugtraining). Die maximal zu erreichende Höchstpunktzahl liegt bei 20 Punkten.

Für die gesamte Gruppe der Versuchspersonen (ohne Gruppenzuweisung) liegt der Mittelwert des Testresultats bei 13.29 Punkten (SD: 2.76). Die Spannweite liegt bei einem Wert von zehn Punkten (Minimum: 10; Maximum: 20). In zwei Fällen konnte kein Testergebnis ermittelt werden (N=102). Die erfassten Daten bezüglich der Variable *Montagetest Ergebnis* weichen signifikant von der Normalverteilung ab ($p<0.001$ nach Shapiro-Wilk).



Bei einer isolierten Analyse der beiden Gruppen wird sowohl bei der Kontrollgruppe (SD: 2.95) als auch bei der Experimentalgruppe (SD: 2.59) ein Mittelwert von 13.29 Punkten festgestellt. Die Spannweite liegt in beiden Gruppen bei einem Wert von zehn Punkten. Die niedrigste Punktzahl lag jeweils bei zehn Punkten, die höchste Punktzahl bei 20 Punkten.

Tabelle 5.1.2-6: Teststatistiken zur Variable *Montagetest Ergebnis*
Darstellung aus SPSS

Teststatistiken ^a	
	Montagetest_Ergebnis
Mann-Whitney-U-Test	1272,500
Wilcoxon-W	2598,500
Z	-,190
Asymp. Sig. (2-seitig)	,849

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Der Levene-Test zeigt, dass beide Varianzen bezüglich dieser Variable gleich sind ($p=0.189$). Die Nullhypothese wird nicht verworfen. Mit $p=0.006$ (nach Shapiro-Wilk) ist eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung innerhalb der Experimentalgruppe festzustellen. Gleches gilt für die Normalität der Daten der Kontrollgruppe ($p=0.001$ nach Shapiro-Wilk). Die Nullhypothese, dass kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen bezogen auf die Variable *Montagetest Ergebnis* besteht, wird nach Durchführung des Mann-Whitney U-Tests beibehalten ($p=0.849$; $r=0.02$ - *sehr schwacher Effekt*).

5.1.3 Leistungsmotiv und Selbstwirksamkeit

Unter Verwendung einer vierstufigen Likert-Skala wurde die Ausprägung des expliziten Leistungsmotivs (AMS-R) im Sinne einer Motivationserfassung sowie die allgemeine Selbstwirksamkeit (GSE-6) der Versuchspersonen erfasst.

5.1.3.1 Explizites Leistungsmotiv

Die reduzierte Variante der Achievement Motive Scale umfasst zehn Items, welche die Konstrukte *Hoffnung auf Erfolg* (HE) und *Furcht vor Misserfolg* (FM) abbilden (Minimum=5, Maximum=20). Die Differenz zwischen dem HE-Wert und dem FM-Wert bildet den Faktor *Netto-Erfolg* bzw. *Netto-Hoffnung* (Gesamtleistungsmotiv).

Über beide Gruppen hinweg konnte bezüglich der *Hoffnung auf Erfolg* ein Mittelwert von 17.22 ($SD=2.33$; Spannweite=9) beobachtet werden. Beim *FM-Wert* liegt der Mittelwert bei 12.57 ($SD=3.10$; Spannweite=15). Zu diesen Konstrukten konnten 100 gültige Werte erfasst werden. Der Mittelwert der Variable *Netto-Erfolg* liegt bei 4.65 ($SD=4.24$; Spannweite=22). Die erfassten Daten bezüglich der Variable *Hoffnung auf Erfolg* ($p<0.001$) sowie die Daten der Variable *Netto-Erfolg* ($p=0.026$ nach Shapiro-Wilk) weichen signifikant von einer Normalverteilung ab. Hinsichtlich der Variable *Misserfolg* wird davon ausgegangen, dass die Daten nicht signifikant von einer Normalverteilung abweichen ($p=0.160$ nach Shapiro-Wilk).

Tabelle 5.1.3-1: Mittelwert, SD, Median und Spannweite zu AMS-R
Darstellung aus SPSS

	Fehlend	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Spannweite
AMSHoffnung	4	17,22	2,33	18	11	20	9
AMSMisserfolg	4	12,57	3,10	13	5	20	15
AMSNettoerfolg	4	4,65	4,24	5	-7	15	22

Innerhalb der Experimentalgruppe wurde bezüglich der *Hoffnung auf Erfolg* ein Mittelwert von 17.47 ($SD=2.19$; Spannweite=9), innerhalb der Kontrollgruppe ein Mittelwert von 16.98 ($SD=2.45$; Spannweite=9) beobachtet. Der Mittelwert des *FM-Werts* liegt bei 12.45 ($SD=3.16$;

Spannweite=14) in der Experimentalgruppe und bei 12.69 (SD=3.06; Spannweite=13) in der Kontrollgruppe. Der Mittelwert der *Netto-Hoffnung* liegt bei 5.02 (SD=4.20; Spannweite=21) in der Experimentalgruppe sowie bei 4.29 (SD=4.28; Spannweite=19) in der Kontrollgruppe.

Die Nullhypothese, dass die beiden Varianzen gleich sind, wird bei allen drei Variablen nach Durchführung des Levene-Tests nicht verworfen (*Hoffnung auf Erfolg* mit $p=0.310$; *Furcht vor Misserfolg* mit $p=0.738$; *Netto-Erfolg* mit $p=0.643$).

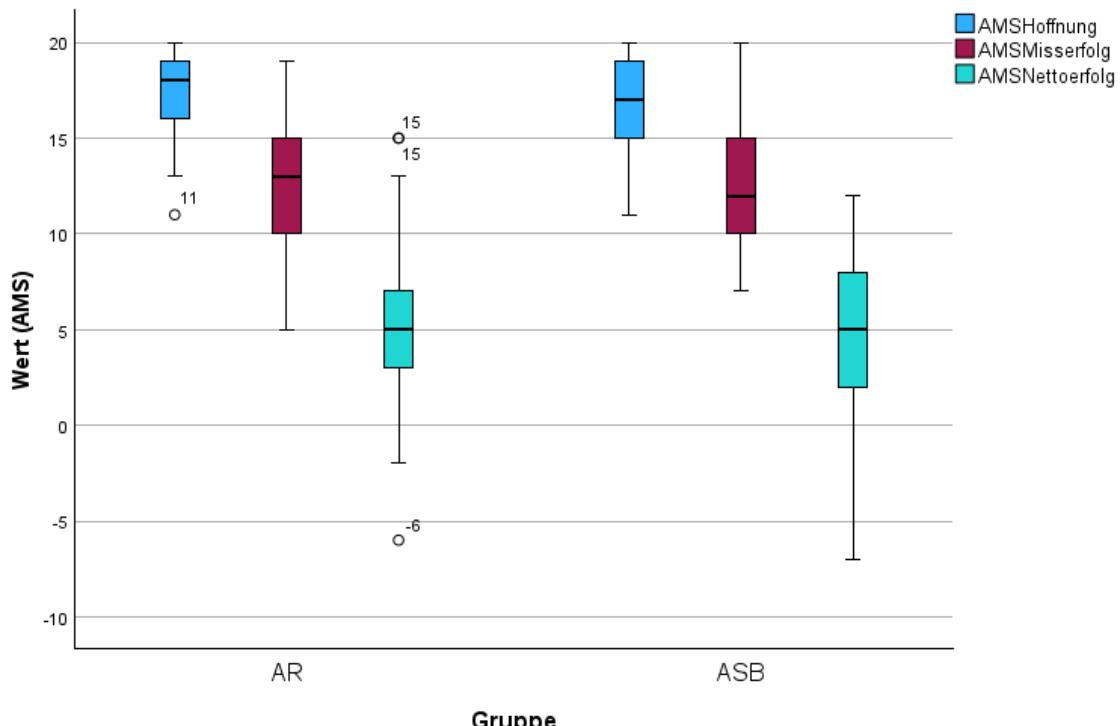


Abbildung 5.1.3-1: Boxplot zur Ausprägung des expliziten Leistungsmotivs (AMS-R)
Darstellung aus SPSS (o Ausreißer)

Bezüglich der Variable *Hoffnung auf Erfolg* wurde festgestellt, dass innerhalb beider Gruppen keine Normalverteilung vorliegt ($p<0.001$ (AR), $p<0.002$ (ASB) nach Shapiro-Wilk). Das Resultat des Mann-Whitney U-Tests zeigt, dass bezüglich dieser Variable zwischen den beiden Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied besteht ($p=0.339$; $r=0.1$ - sehr schwacher Effekt).

Bei der Normalitätsprüfung der Variable *Furcht vor Misserfolg* wird zunächst vermutet, dass die Verteilung der Variable sich in beiden Gruppen einer Normalverteilung annähert, wobei lediglich im Falle der Experimentalgruppe ($p=0.122$) der Shapiro-Wilk-Test diese Vermutung bestätigt (Kontrollgruppe $p=0.046$). Das Ergebnis des Mann-Whitney U-Tests deutet darauf hin, dass bezüglich dieser Variable zwischen den beiden Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied besteht und die Nullhypothese beibehalten wird ($p=0.890$; $r=0.01$ - sehr schwacher Effekt).

Der Shapiro-Wilk-Test deutet bei der Variable *Nettoerfolg* innerhalb der Experimentalgruppe auf eine Normalverteilung hin ($p=0.165$). Innerhalb der Kontrollgruppe wird davon ausgegangen, dass die Daten signifikant von der Normalverteilung abweichen ($p=0.004$). Der Mann-Whitney

U-Test zeigt, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich dieser Variable statistisch nicht signifikant ist ($p=0.771$; $r=0.03$ - *sehr schwacher Effekt*).

Tabelle 5.1.3-2: Teststatistiken zum expliziten Leistungsmotiv (AMS-R)
Darstellung aus SPSS

	Teststatistiken ^a		
	AMSHoffnung	AMSMisserfolg	AMSNettoerfolg
Mann-Whitney-U-Test	1112,500	1229,500	1207,500
Wilcoxon-W	2438,500	2555,500	2533,500
Z	-,955	-,139	-,291
Asymp. Sig. (2-seitig)	,339	,890	,771

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Zur Einordnung der Forschungsergebnisse wurden fundierte Referenzwerte sowie Interpretationsansätze ermittelt (vgl. Kapitel 4.5.3.2). Bezuglich des Konstrukt *Hoffnung auf Erfolg* (HE) liegen die Mittelwerte beider Gruppen (AR: 17.47; ASB: 16.98) über dem referenzierten Mittelwert von 14.93. Beim Konstrukt *Furcht vor Misserfolg* wurde eine geschlechterspezifische Differenzierung aufgezeigt. Hierbei liegen die Referenzwerte zu diesem Konstrukt bei 10.34 für Frauen und bei 9.35 für Männer. In beiden Fällen liegen die ermittelten Forschungsergebnisse in beiden Gruppen über diesen Referenzwerten (vgl. Tabelle 5.1.3-3).

Tabelle 5.1.3-3: Geschlechterspezifische Auswertung ASM-R
Darstellung aus SPSS

	Gruppe		Geschlecht	Mittelwert	SD	Spannweite
				w	m	w
AMSMisserfolg	AR	Geschlecht	w	13,31	3,04	12
			m	11,48	3,07	10
	ASB	Geschlecht	w	13,92	3,10	11
			m	11,40	2,47	11
AMSNettoerfolg	AR	Geschlecht	w	3,81	4,08	19
			m	6,39	3,99	14
	ASB	Geschlecht	w	2,85	4,81	17
			m	5,80	3,07	12

Basierend auf diesen Referenz-Mittelwerten wird ein Wertebereich von 4.59 (Frauen) bis 5.58 (Männer) bezüglich der Netto-Hoffnung abgeleitet (Differenz zwischen dem HE-Mittelwert und dem geschlechterspezifischen FM-Mittelwert). Hierbei ist bei Betrachtung der Forschungsergebnisse ebenfalls eine geschlechterspezifische Differenzierung festzustellen (vgl. Tabelle 5.1.3-3). Die Werte der männlichen Versuchspersonen beider Gruppen (6.39 bzw. 5.80) liegen über dem Referenzwert. Die ermittelten Mittelwerte der Netto-Hoffnung der weiblichen Versuchspersonen (2.85 bzw. 3.81) liegen unterhalb des Referenzwertes.

5.1.3.2 Allgemeine Selbstwirksamkeit

Zur Erfassung der allgemeinen Selbstwirksamkeit wurde die reduzierte Variante der General Self-Efficacy Scale (GSE-Scale) verwendet. Der Ergebnisbereich des Messinstrumentes liegt zwischen 6 (min.) und 24 (max.) Punkten.

Bezogen auf alle Versuchspersonen (ohne Gruppenzuweisung) liegt der Mittelwert bei 18.82 Punkten (SD: 2.69). Die Spannweite liegt bei einem Wert von 15 Punkten (Minimum: 9; Maximum: 24). In zwei Fällen konnte kein Testergebnis ermittelt werden (N=102). Die erfassten Daten bezüglich der Variable *GSE gesamt* weichen signifikant von der Normalverteilung ab (p<0.001 nach Shapiro-Wilk).

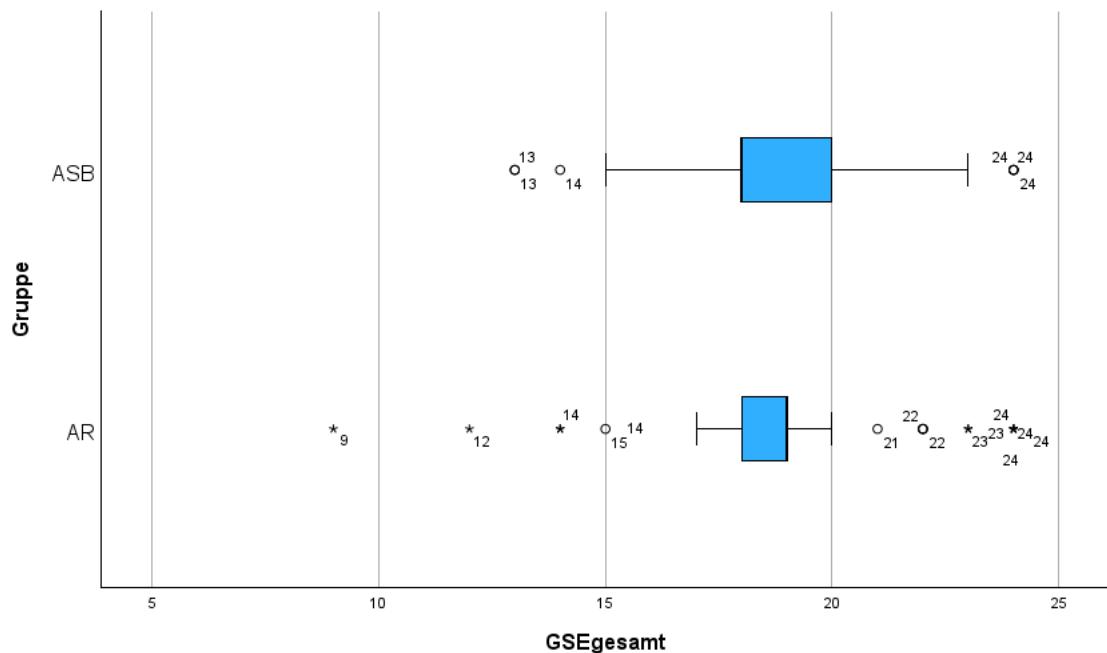


Abbildung 5.1.3-2: Boxplot zur allgemeinen Selbstwirksamkeit (GSE-6)

Darstellung aus SPSS (o Ausreißer, ☆ Extremwert)

Bei gruppenspezifischer Analyse kann ein Mittelwert von 18.76 (SD=2.88) in der Experimentalgruppe und ein Mittelwert von 18.88 (SD=2.51) in der Kontrollgruppe festgestellt werden. Die Spannweite liegt innerhalb der Experimentalgruppe bei 15, innerhalb der Kontrollgruppe bei elf Punkten. Der Levene-Test weist darauf hin, dass die Varianzen beider Gruppen gleich sind (p=0.951). Die Nullhypothese wird nicht verworfen. Es wird sowohl bei Betrachtung der Daten der Experimentalgruppe (p<0.001) als auch bei den Daten der Kontrollgruppe (p=0.006) davon ausgegangen, dass keine Normalverteilung vorliegt (nach Shapiro-Wilk). Nach Durchführung des Mann-Whitney U-Tests wird die Nullhypothese beibehalten (p=0.859). Es wird davon ausgegangen, dass bezüglich der Variable *GSE gesamt* kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen besteht (r=0.02 - sehr schwacher Effekt).

Als Referenzwert zur Einordnung der Forschungsergebnisse wurde ein Mittelwert von 17.43 bei Anwendung der reduzierten Skala (sechs Items) ermittelt (vgl. Kapitel 4.5.3.2). Der Mittelwert

der Experimentalgruppe liegt bei 18.76 Punkten, der Mittelwert der Kontrollgruppe bei 18.88 Punkten. Somit liegen die Mittelwerte beider Gruppen leicht über dem definierten Referenzwert (+1.33 bzw. +1.45 Punkte).

Tabelle 5.1.3-4: Teststatistiken zur allgemeinen Selbstwirksamkeit (GSE-6)
Darstellung aus SPSS

	Teststatistiken ^a	GSE gesamt
Mann-Whitney-U-Test		1274,000
Wilcoxon-W		2652,000
Z		-,178
Asymp. Sig. (2-seitig)		,859

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

5.2 Wahrnehmung der Arbeitsaufgabe und der Lernmedien

An dieser Stelle erfolgt die Darstellung der Ausprägungen der wahrgenommenen Arbeitsbelastung (Workload) sowie des empfundenen Nutzens der eingesetzten Lehr-Lern-Medien (Usability). Darüber hinaus werden die Ergebnisse der Evaluation einzelner AR-Elemente abgebildet.

5.2.1 Arbeitsbelastung

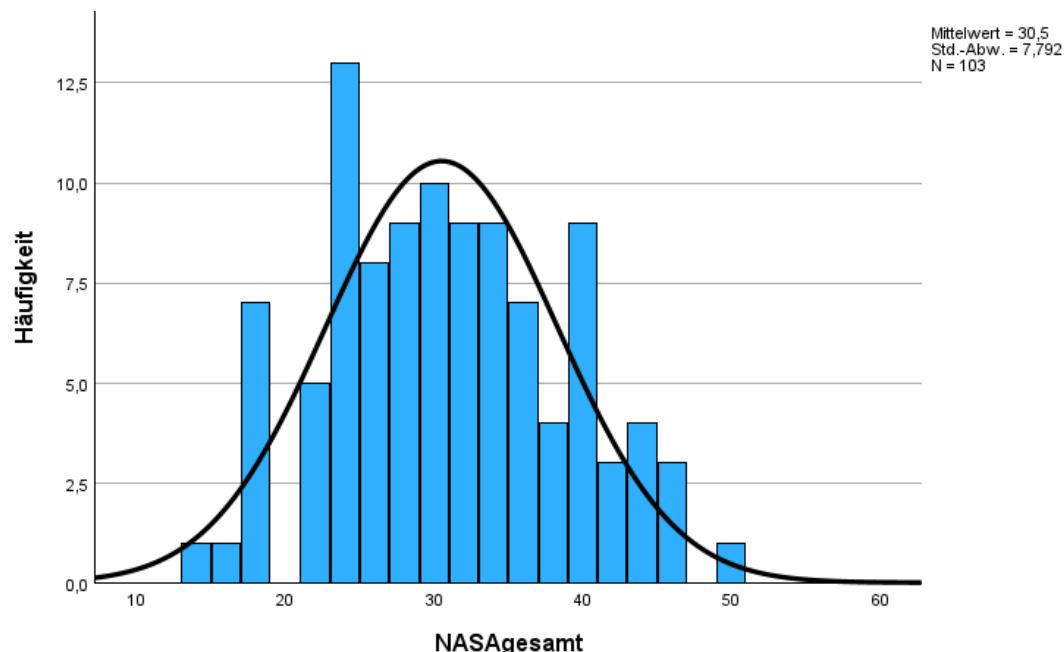


Abbildung 5.2.1-1: Histogramm zur Variable NASAgesamt
Darstellung aus SPSS

Als Instrument zur Erfassung der subjektiv wahrgenommenen Arbeitsbelastung (Workload) wurde der NASA Task Load Index definiert. Die Ausprägung der empfundenen Belastung liegt zwischen 0 (min.) und 100 (max.) Punkten. Der ermittelte Referenzbereich liegt zwischen 20.10 und 51.03 Punkten für mechanische Tätigkeiten beziehungsweise zwischen 13.08 und 64.90 Punkten für kognitive Aufgaben (vgl. Kapitel 4.5.3.2).

Bezogen auf alle Versuchspersonen (ohne Gruppenzuweisung) liegt der Mittelwert bei 30.50 Punkten (SD: 7.79; Median: 30). Der niedrigste Wert liegt bei 14 Punkten, der höchste Wert bei 49 Punkten (Spannweite: 35 Punkte). In einem Fall konnte kein Testergebnis ermittelt werden (N=103). Der Shapiro-Wilk-Test deutet darauf hin, dass die erfassten Daten bezüglich der Variable *NASA gesamt* nicht signifikant von der Normalverteilung abweichen ($p=0.309$). Bei Betrachtung des Histogramms (vgl. Abbildung 5.2.1-1) kann zudem eine Annäherung an eine Normalverteilung beobachtet werden (Schiefe: 0.139; Kurtosis: -0.597).

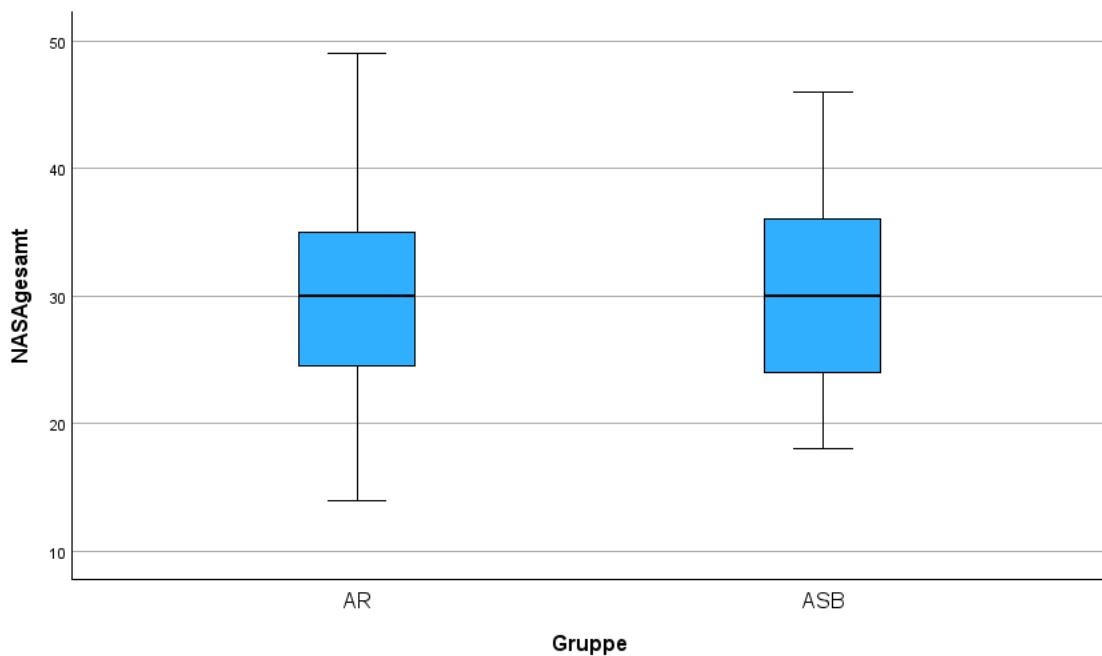


Abbildung 5.2.1-2: Boxplot zur Variable *NASAgesamt* (gruppenspezifisch)
Darstellung aus SPSS

Nach isolierter Betrachtung beider Gruppen ergibt sich ein Mittelwert von 29.96 (SD: 7.91; Median: 30) in der Experimentalgruppe und ein Mittelwert von 31.04 (SD: 7.71; Median: 30) in der Kontrollgruppe. Die Spannweite liegt bei 35 (Experimentalgruppe) bzw. bei 28 Punkten (Kontrollgruppe). Der Levene-Test zeigt, dass beide Varianzen bezüglich dieser Variable gleich sind ($p=0.992$). Mit $p=0.668$ (nach Shapiro-Wilk) wird keine signifikante Abweichung der Daten von der Normalverteilung innerhalb der Experimentalgruppe erwartet. Die Nullhypothese wird nicht verworfen. Mit $p=0.053$ zeigt das Resultat des Shapiro-Wilk-Tests einen Wert für die Kontrollgruppe, der knapp über dem Schwellenwert von 0.05 liegt. Nach einem grafischen Abgleich wird beobachtet, dass innerhalb der Kontrollgruppe eine Annäherung an die Normalverteilung vorliegt. Der zweiseitige t-Test für unabhängige Stichproben zeigt, dass der Unterschied zwischen

beiden Gruppen bezüglich der Variable *NASA gesamt* statistisch nicht signifikant ist ($t(101) = -0.700$; $p=0.486$; $d=0.14$ - *sehr schwacher Effekt*).

Die ermittelten Maximalwerte beider Gruppen (AR: 49; ASB: 46) nähern sich den genannten Referenzwerten hinsichtlich mechanischer Tätigkeiten (51.03). Der beobachtete Minimalwert von 14 Punkten innerhalb der Experimentalgruppe (AR) beschreibt eine Abweichung vom Referenzwert (20.10 Punkte) um mehr als sechs Punkte und liegt damit im Bereich des referenzierten Minimalwertes kognitiver Aufgaben (13.08 Punkte). Der niedrigste Wert der Kontrollgruppe (ASB) liegt bei 18 Punkten.

5.2.2 Usability der Lernmedien

Zur Erfassung des situativ wahrgenommenen Nutzens der hier eingesetzten Lehr-Lern-Medien wurde die System Usability Scale (SUS) innerhalb eines Fragebogens abgebildet. Mittels einer fünfstufigen Likert-Skala werden zehn Items hinsichtlich des Zustimmungsgrades durch die Versuchspersonen beurteilt. Als Referenz wurde ein Punktebereich zwischen 25 und 40 (Nutzen wird als „gering“ wahrgenommen) beziehungsweise ein Wert im Bereich von 80 Punkten (= Nutzen wird als „hoch“ wahrgenommen) definiert (vgl. Kapitel 4.5.3.2). Die Beurteilung der Usability bezieht sich auf das im Lernprozess genutzte Lernmedium, weshalb bezüglich dieser Variable unmittelbar eine gruppenspezifische (AR/ASB) Ergebnisdarstellung erfolgt.

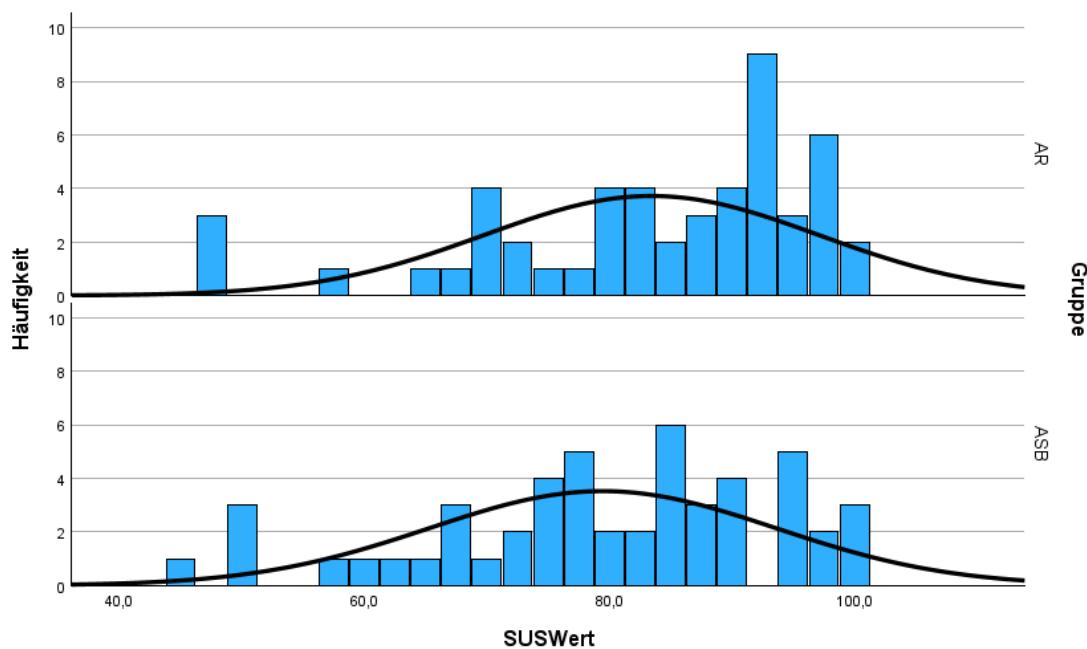


Abbildung 5.2.2-1: Histogramme zur Variable *SUSWert*
Darstellung aus SPSS

In der Experimentalgruppe (Medium: AR) liegt der Mittelwert bezüglich der Variable *SUS Wert* bei 83.43 Punkten ($SD: 13.68$). Der Minimalwert liegt bei 47.5, der Maximalwert bei 100 Punkten

(= Maximalpunktzahl). Innerhalb der Experimentalgruppe konnten 51 gültige Werte erfasst werden. In der Kontrollgruppe (Medium: ASB) liegt der Mittelwert bei 79.45 Punkten (SD: 14.16). Der Minimalwert liegt bei 45, der Maximalwert ebenfalls bei 100 Punkten. Innerhalb dieser Gruppe konnten 50 gültige Werte erfasst werden.

Tabelle 5.2.2-1: Gruppenspezifische Auswertung der Usability
Darstellung aus SPSS

SUSWert	Gruppe	MW	SD	Median	Min.	Max.	Spannweite
	AR	83,43	13,68	87,50	47,5	100	52,5
	ASB	79,45	14,16	81,25	45,0	100	55,0

In der Experimentalgruppe (Medium: AR) liegt der Mittelwert bezüglich der Variable *SUS Wert* bei 83.43 Punkten (SD: 13.68). Der Minimalwert liegt bei 47.5, der Maximalwert bei 100 Punkten (= Maximalpunktzahl). Innerhalb der Experimentalgruppe konnten 51 gültige Werte erfasst werden. In der Kontrollgruppe (Medium: ASB) liegt der Mittelwert bei 79.45 Punkten (SD: 14.16). Der Minimalwert liegt bei 45, der Maximalwert ebenfalls bei 100 Punkten. Innerhalb dieser Gruppe konnten 50 gültige Werte erfasst werden.

Der Levene-Test zeigt, dass beide Varianzen bezüglich der Variable *SUS Wert* gleich sind ($p=0.768$). Die Nullhypothese wird nicht verworfen. Mit $p<0.001$ (nach Shapiro-Wilk) ist eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung innerhalb der Experimentalgruppe festzustellen. Für die Kontrollgruppe wird die Nullhypothese, dass die Daten nicht signifikant von der Normalverteilung abweichen, ebenfalls verworfen ($p=0.028$ nach Shapiro-Wilk). Der Mann-Whitney U-Test zeigt, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich dieser Variable statistisch nicht signifikant ist. Die Nullhypothese wird beibehalten ($p=0.111$; $r=0.16$ - schwacher Effekt).

Tabelle 5.2.2-2: Teststatistiken zur Usability (SUS)
Darstellung aus SPSS

Teststatistiken ^a	
	SUSWert
Mann-Whitney-U-Test	1041,000
Wilcoxon-W	2316,000
Z	-1,593
Asymp. Sig. (2-seitig)	,111

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Bezugnehmend auf die definierten Referenzwerte kann beobachtet werden, dass innerhalb der Experimentalgruppe bei 72.55 Prozent (37 Personen) und bei 54 Prozent der Versuchspersonen innerhalb der Kontrollgruppe (27 Personen) ein SUS-Wert gleich oder größer 80 erreicht wird. Alle beobachteten Werte beider Gruppen befinden sich oberhalb des Punktbereichs zwischen 25 und 40 Punkten, welcher mit einem geringen Nutzen bzw. mit einer geringen Akzeptanz assoziiert wird.

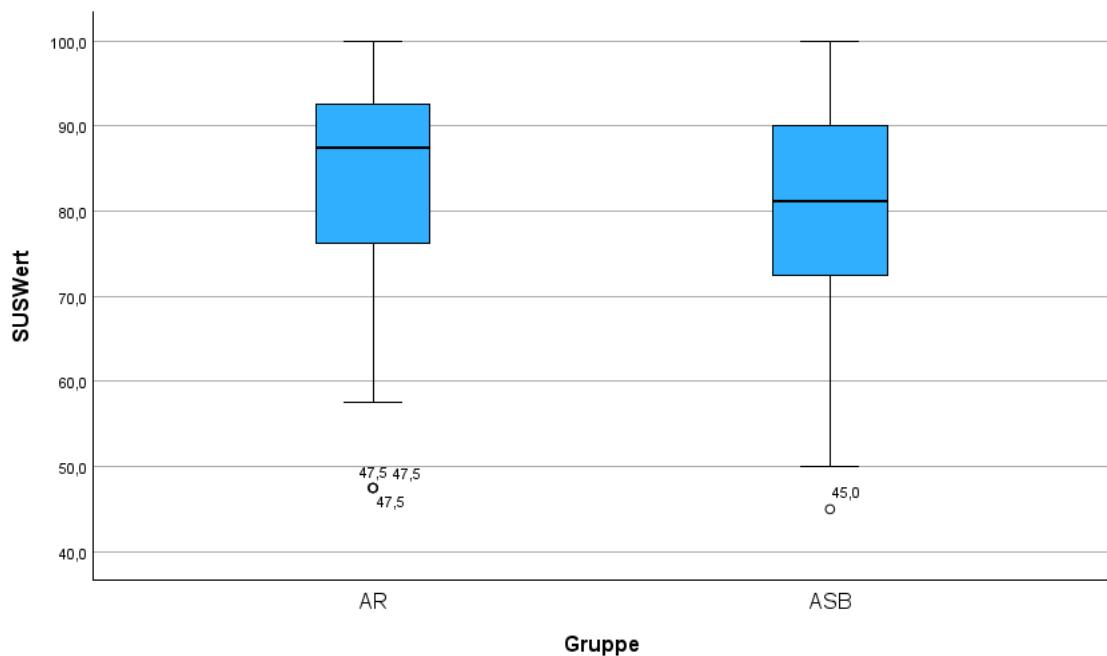


Abbildung 5.2.2-2: Boxplot zur Variable *SUSWert* (gruppenspezifisch)
Darstellung aus SPSS (o Ausreißer)

5.2.3 Elemente der AR-Anwendung

Zur spezifischen Evaluation der implementierten AR-basierten Elemente wurden entsprechende Items in den Fragebogen integriert. Mittels einer fünfstufigen Skala werden diese Items hinsichtlich ihrer Unterstützungsleistung während des Lernprozesses durch die Versuchspersonen beurteilt. Bewertungen im Punktebereich zwischen vier und fünf Punkten sagen aus, dass ein Element als „hilfreich“ bzw. „sehr hilfreich“ von den Versuchspersonen im Lernprozess wahrgenommen wurde. Ein Wert von drei Punkten repräsentiert eine neutrale Einordnung („weder noch“). Werte zwischen einem und zwei Punkten zeigen, dass ein Element als „eher nicht hilfreich“ bzw. „nicht hilfreich“ im Lernprozess wahrgenommen wurde. Die Beurteilung der AR-basierten Elemente erfolgte ausschließlich durch die Nutzenden der AR-basierten Anwendung (Experimentalgruppe).

Tabelle 5.2.3-1: Bezeichnung der AR-basierten Elemente

Bezeichnung	Element
BARa	Orientierungspfeile - Lokalisierung der Zielposition
BARb	Instruktion (Vormachen der Schritte) durch Instruktions-Overlay
BARc	Einfärbung der Hände (grün/rot) - Lokalisierung durch Hand-Tracking
BARd	Einblendung relevanter Werkzeuge und Bauteile
BARe	Validierung des Montageergebnisses - Rückmeldung durch grünen Haken/rotes Kreuz

Bezüglich des ersten Items (*BARa*) konnte ein Mittelwert von 4.94 (SD: 0.24), beim zweiten Item (*BARb*) ein Mittelwert von 4.77 (SD: 0.65) und beim dritten Item (*BARc*) ein Mittelwert von 3.96 (SD: 1.30) ermittelt werden. Bei dem vierten Item (*BARd*) liegt der Mittelwert bei 4.85 (SD: 0.41)

und beim fünften Item (*BARe*) bei 4.88 (SD: 0.38). Bei allen fünf Items deutet der Shapiro-Wilk-Test mit $p < 0.001$ darauf hin, dass die Daten signifikant von der Normalverteilung abweichen.

Tabelle 5.2.3-2: Auswertung der AR-Elemente
Darstellung aus SPSS

		Statistiken				
		BARa	BARb	BARc	BARd	BARe
N	Gültig	52	52	52	52	52
	Fehlend	52	52	52	52	52
Mittelwert		4,94	4,77	3,96	4,85	4,88
Median		5	5	4,5	5	5
Std.-Abweichung		,235	,645	1,298	,415	,379
Varianz		,055	,416	1,685	,172	,143
Spannweite		1	4	4	2	2
Minimum		4	1	1	3	3
Maximum		5	5	5	5	5

Bei den Items *BARb* und *BARc* können eine vergleichsweise erhöhte Standardabweichung, eine erhöhte Varianz sowie eine größere Spannweite (4) festgestellt werden. Zudem liegt bezüglich des Items *BARc* der im Vergleich niedrigste Mittelwert vor (3.96).

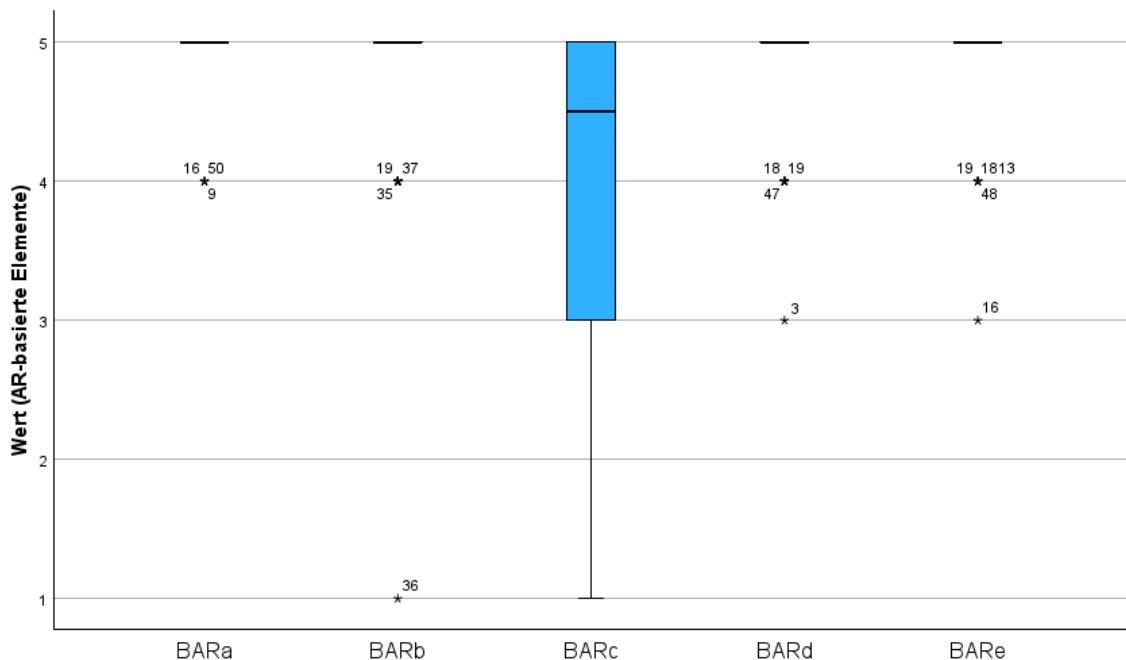


Abbildung 5.2.3-1: Boxplot zur Beurteilung der AR-Elemente
Darstellung aus SPSS (☆ Extremwert)

Es kann festgestellt werden, dass bezüglich des Elementes *Orientierungspfeile (BARa)* ausschließlich Bewertungen im Bereich von vier bis fünf Punkten vorliegen (entspricht *hilfreich* bis *sehr hilfreich*). Bei den beiden Elementen *Einblendung der Werkzeuge und Bauteile (BARd)* sowie der *Rückmeldung zum Montageergebnis (BARe)* konnte jeweils in einem Fall eine Wertung von drei Punkten (neutral) beobachtet werden. In allen übrigen Fällen wurden Bewertungen von vier (*hilfreich*) bis fünf (*sehr hilfreich*) Punkten ermittelt. Bezogen auf das Element zur Darstellung einer Instruktion (*BARb*) konnten ebenfalls überwiegend Angaben von vier beziehungsweise fünf Punkten verzeichnet werden. Eine Versuchsperson ordnete dieses Element als *nicht hilfreich* ein. Das Element *Hand-Tracking* weist die höchste Varianz bzw. Standardabweichung bezüglich der Wahrnehmung durch die Versuchspersonen auf. Einzig bei diesem Element sind alle fünf möglichen Ausprägungen hinsichtlich der Unterstützung während des Lernprozesses vorhanden. Eine Einordnung als *nicht* oder *eher nicht hilfreich* im Lernprozess kann in 23.08 Prozent der Fälle beobachtet werden (12 Versuchspersonen). Bei zwei Versuchspersonen (3.84%) liegt eine neutrale Beurteilung vor. Ebenfalls 23.08 Prozent der Versuchspersonen empfinden dieses Element als *hilfreich* im Lernprozess, 50 Prozent (26 Versuchspersonen) ordnen es als *sehr hilfreich* ein.

An dieser Stelle werden Zusammenhänge zwischen der Variable zur Einordnung des Hand-Trackings und den erfassten medienbezogenen Variablen (Usability, medienbezogene Kenntnisse) sowie den aufgaben- und berufsbezogenen Variablen (Arbeitsbelastung, aufgabenbezogene Kenntnisse, Berufsgruppe) überprüft.

Das Ergebnis der Korrelationsprüfung (Spearman Korrelation) zeigt, dass eine geringe, negative Korrelation zwischen der Variable bzw. dem Element *Hand-Tracking (BARc)* und den medienbezogenen Vorkenntnissen vorliegt ($r = -0.129$). Die Korrelation zwischen beiden Variablen ist statistisch nicht signifikant ($p=0.362$). Bezogen auf die aufgabenspezifischen Vorkenntnisse besteht eine positive, vernachlässigbare Korrelation ($r = 0.049$). Die Korrelation ist statistisch nicht signifikant ($p=0.730$). Zwischen dem Usability-Wert (*SUS*) und der Variable *Hand-Tracking* besteht eine geringe, negative Korrelation ($r = -0.249$). Diese Korrelation ist mit $p=0.078$ statistisch nicht signifikant. Es konnte zudem keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Variable *Hand-Tracking* und der subjektiv empfundenen Arbeitsbelastung (*NASA*) festgestellt werden ($p=0.82$). Es liegt ein schwacher, vernachlässigbarer Zusammenhang zwischen beiden Variablen vor ($r=0.033$). Nach der Durchführung einer weiteren Korrelationsprüfung (punktbsieriale Korrelation) konnte keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Variable *Berufsgruppe* und der Variable bezüglich des Hand-Trackings festgestellt werden ($p=0.845$; $rpb=0.029$). Es bestehen somit keine statistisch signifikanten Korrelationen zwischen der Variable *Hand-Tracking* und den erfassten medien-, aufgaben- und berufsbezogenen Variablen. Zwischen den übrigen AR-Elementen und den aufgenommenen aufgaben- sowie medienbezogenen Variablen wurden ebenfalls keine statistisch signifikanten Zusammenhänge ermittelt.

5.3 Darstellung des Lernverhaltens

Das Lernverhalten beschreibt im Rahmen der vorliegenden Untersuchung das beobachtbare äußere Verhalten der Versuchspersonen während der Durchführung des Montagetrainings. Bei der Erfassung des Verhaltens durch den Beobachtungsbogen wird zwischen der motorisch-passiven Phase (Observationszeit und Nutzung der Handlungsinstruktion) und der motorisch-aktiven Phase (Ausführungszeit und Montagefehler) differenziert.

5.3.1 Motorisch-passive Phase

Die motorisch-passive Phase beschreibt observative Trainingselemente der vorliegenden Untersuchung. Innerhalb dieses Zeitraums haben die Versuchspersonen die Möglichkeit, ihren Arbeitsbereich zu erkunden und die dargebotenen Informationen der Lernmedien zu sichten.

5.3.1.1 Observationszeiten

Die Observationszeit beschreibt den Zeitraum zwischen der Darbietung einer spezifischen Arbeitsschrittinformation und der ersten aktiven Tätigkeitsausführung am Montageobjekt durch die Versuchsperson. Die Versuchspersonen entscheiden eigenständig zu welchem Zeitpunkt sie mit der Ausführung des erforderlichen Arbeitsschrittes beginnen. Die Observationszeit wurde für alle drei Handlungsiterationen erfasst und analysiert. Innerhalb der Experimentalgruppe konnten 46 gültige Werte, innerhalb der Kontrollgruppe 49 gültige Werte erfasst werden (N=95).

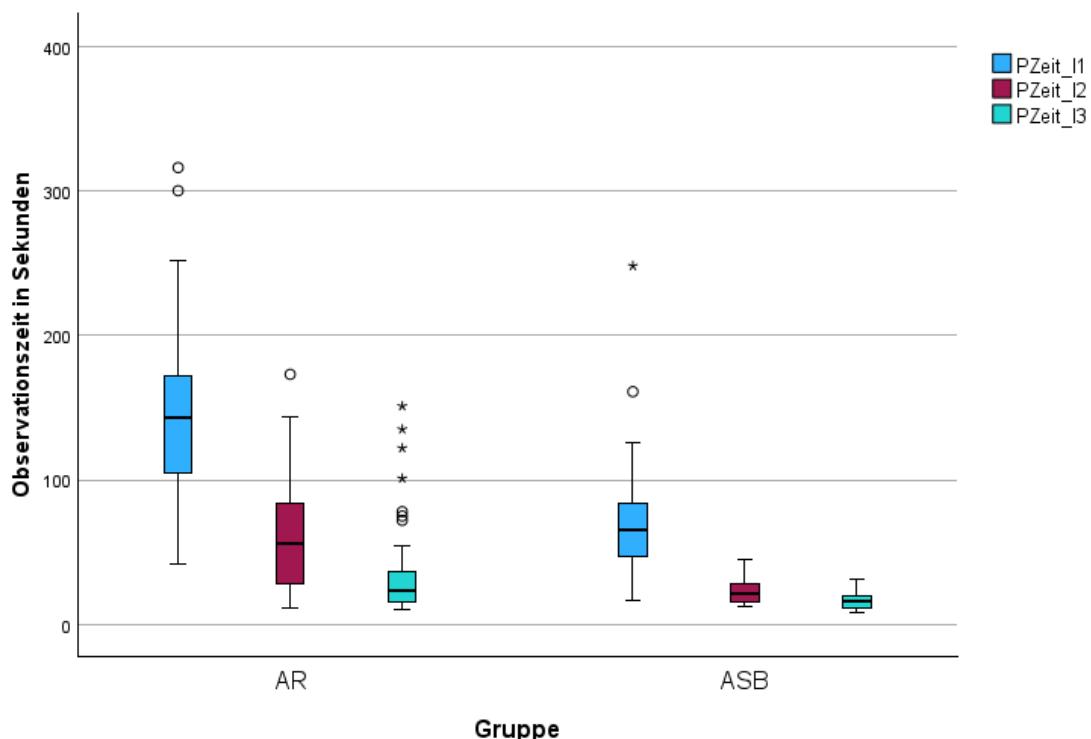


Abbildung 5.3.1-1: Boxplot zu den Observationszeiten (I1-I3) in Sekunden
Darstellung aus SPSS (o Ausreißer, ☆ Extremwert)

Bei der ersten Iteration (I1) liegt der Mittelwert der Observationszeit in der Experimentalgruppe (AR) bei 144.41 Sekunden (SD: 57.23). Der niedrigste Wert liegt bei 42 Sekunden, der höchste Wert bei 316 Sekunden. In der Kontrollgruppe (ASB) liegt der Mittelwert bei 70.78 Sekunden (SD: 39.91), bei einer Maximalzeit von 248 Sekunden und einer Minimalzeit von 17 Sekunden. Der Levene-Test deutet mit $p=0.037$ darauf hin, dass die Varianzen der beiden Gruppen nicht gleich sind. Das Ergebnis des Tests ist statistisch signifikant und die Nullhypothese wird verworfen. Der Shapiro-Wilk-Test deutet sowohl bei den Daten der Experimentalgruppe ($p=0.037$) als auch bei der Kontrollgruppe ($p<0.001$) darauf hin, dass eine statistisch signifikante Abweichung von der Normalverteilung vorliegt. Nach der Durchführung des Mann-Whitney U-Tests kann ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der Observationszeit innerhalb der ersten Iteration festgestellt werden ($p<0.001$; $r=0.66$ - *starker Effekt*).

Tabelle 5.3.1-1: Teststatistiken zur Observationszeit (I1-I3)
Darstellung aus SPSS

	Teststatistiken ^a		
	PZeit_I1	PZeit_I2	PZeit_I3
Mann-Whitney-U-Test	268,000	363,000	588,000
Wilcoxon-W	1493,000	1588,000	1813,000
Z	-6,398	-5,691	-4,018
Asymp. Sig. (2-seitig)	<.001	<.001	<.001

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Bezüglich der zweiten Iteration (I2) kann in der Experimentalgruppe ein Mittelwert von 62.54 Sekunden (SD: 40.84) und in der Kontrollgruppe ein Mittelwert von 22.76 Sekunden (SD: 8.64) festgestellt werden. Der niedrigste Wert liegt bei elf Sekunden innerhalb der Experimentalgruppe beziehungsweise bei zwölf Sekunden innerhalb der Kontrollgruppe. Der Maximalwert beträgt 173 (EG) beziehungsweise 45 Sekunden (KG). Mit einem statistisch signifikanten Ergebnis ($p<0.001$) deutet der Levene-Test darauf hin, dass keine Varianzgleichheit besteht und die Nullhypothese verworfen wird. Zudem ist innerhalb beider Gruppen davon auszugehen, dass eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung vorliegt ($p=0.002$ (EG); $p=0.004$ (KG) nach Shapiro-Wilk). Der Mann-Whitney U-Test bestätigt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Observationszeiten der zweiten Iteration ($p<0.001$; $r=0.58$ - *starker Effekt*).

Innerhalb der dritten Iteration (I3) kann bei der Experimentalgruppe ein Mittelwert von 36.26 Sekunden (SD: 33.47) und in der Kontrollgruppe ein Mittelwert von 16.39 Sekunden (SD: 5.75) ermittelt werden. Der niedrigste Wert liegt bei zehn Sekunden innerhalb der Experimentalgruppe und bei acht Sekunden innerhalb der Kontrollgruppe. Der Maximalwert der Experimentalgruppe beträgt 151 Sekunden. Innerhalb der Kontrollgruppe liegt der Maximalwert bei 31 Sekunden. Der Levene-Test deutet mit einem statistisch signifikanten Ergebnis ($p<0.001$) darauf hin, dass keine Varianzgleichheit besteht und die Nullhypothese verworfen wird. Es liegt sowohl innerhalb der Experimentalgruppe ($p<0.001$) als auch innerhalb der Kontrollgruppe ($p=0.021$)

eine statistisch signifikante Abweichung der Daten von der Normalverteilung vor (nach Shapiro-Wilk). Der Mann-Whitney U-Test zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied ($p<0.001$) zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Observationszeit der dritten Iteration bei einem mittleren Effekt ($r=0.41$).

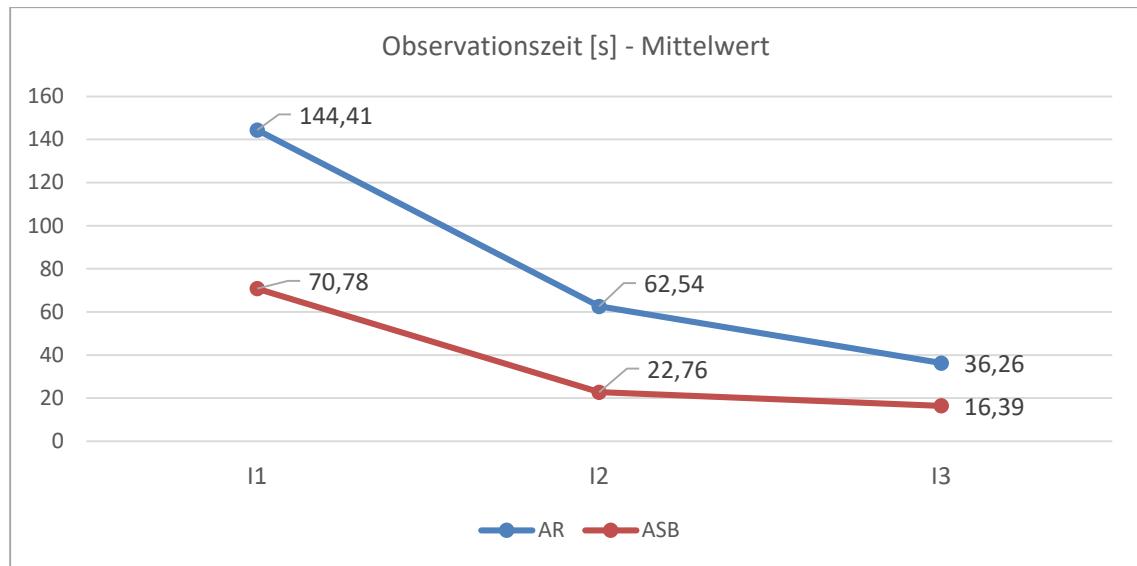


Abbildung 5.3.1-2: Linien-Diagramm zu den Observationszeiten (I1-I3) in Sekunden
Darstellung aus Microsoft Excel

Ergänzend wurden Zusammenhänge (Korrelationen) zwischen der Observationszeit und einzelnen personalen Merkmalen, welche als potentielle Einflussfaktoren bezüglich der Lernleistung definiert wurden, für beide Gruppen über alle drei Iterationen hinweg analysiert. Hierbei wurden medien- und aufgabenspezifische Vorkenntnisse, das explizite Leistungsmotiv und die allgemeine Selbstwirksamkeit sowie einzelne soziodemografische Aspekte (Alter, Geschlecht, Berufsgruppe) in die Analyse einbezogen.

Bei der Experimentalgruppe (AR) konnte innerhalb der ersten Iteration eine mit $p=0.023$ statistisch signifikante, negative Korrelation (nach Spearman) zwischen der Observationszeit und dem GSE-Wert ermittelt werden ($r= -0.337$). Dieser Zusammenhang besteht bei mittlerer Effektstärke ebenfalls innerhalb der zweiten Iteration ($r= -0.307$; $p=0.040$) sowie innerhalb der dritten Iteration ($r= -0.399$; $p=0.007$). Die Nullhypothese wird in diesen Fällen verworfen. Zwischen der Observationszeit der zweiten Iteration und den aufgabenbezogenen Vorkenntnissen der Versuchspersonen konnte ein negativer Zusammenhang mittlerer Stärke festgestellt werden ($r= -0.321$). Die Nullhypothese wird mit $p=0.030$ verworfen. Des Weiteren konnte eine moderate, statistisch signifikante Korrelation (negativ) zwischen der Observationszeit der dritten Iteration und den medienbezogenen Vorkenntnissen der Versuchspersonen ermittelt werden ($r= -0.293$; $p=0.048$).

Bei Betrachtung der Kontrollgruppe (ASB) konnten bezüglich der Observationszeit der ersten Iteration Zusammenhänge mit der allgemeinen Selbstwirksamkeit (GSE-Wert), dem Leistungs-

motiv (AMS Nettoerfolg), der Usability (SUS-Wert) sowie mit den medienspezifischen Vorkenntnissen der Versuchspersonen identifiziert werden. Das Resultat der Spearman-Korrelation deutet bezüglich der allgemeinen Selbstwirksamkeit auf eine moderate, negative Korrelation hin ($r = -0.357$). Die Korrelation zwischen der Observationszeit und dem GSE-Wert ist statistisch signifikant ($p=0.012$). Es liegt ebenfalls eine moderate, negative Korrelation ($r = -0.346$) zwischen der Observationszeit und dem AMS Nettoerfolg vor. Die Korrelation ist statistisch signifikant ($p=0.015$). Zwischen der Observationszeit und dem Usability-Wert (SUS) konnte eine geringe, negative Korrelation festgestellt werden ($r = -0.293$). Diese Korrelation ist mit $p=0.045$ statistisch signifikant. Eine hohe, negative Korrelation besteht zwischen der Observationszeit und den medienbezogenen Kenntnissen der Versuchspersonen ($r = -0.535$). Diese Korrelation ist statistisch signifikant ($p<0.001$).

Bezogen auf die Observationszeit der zweiten Iteration werden die Beobachtungen der ersten Iteration bestätigt. Es liegen statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Observationszeit und den Variablen *GSE gesamt* ($r = -0.303$; $p=0.034$), *AMS Nettoerfolg* ($r = -0.415$; $p=0.003$), dem *SUS-Wert* ($r = -0.357$; $p=0.014$) sowie den medienbezogenen Vorkenntnissen der Versuchspersonen ($r = -0.300$; $p=0.036$) vor.

Bei der Analyse potentieller Zusammenhänge bezogen auf die Observationszeit der dritten Iteration kann eine moderate, negative Korrelation ($r = -0.427$) zwischen der Observationszeit und dem *AMS Nettoerfolg* ermittelt werden. Die Korrelation ist mit $p=0.002$ statistisch signifikant. Des Weiteren wurde eine statistisch signifikante Korrelation ($p=0.029$) zwischen dem Alter der Versuchspersonen und der Observationszeit der dritten Iteration festgestellt ($r=0.313$). Ergänzend kann ein Zusammenhang (punktbiserial Korrelation) zwischen der Observationszeit (*PZeit_1/3*) und der dichotomen Variable *Geschlecht* ermittelt werden. Es liegt mit $p=0.037$ eine statistisch signifikante Korrelation vor ($r=0.299$). Nach Prüfung des Eta-Koeffizienten und der Analyse der entsprechenden Kreuztabelle kann davon ausgegangen werden, dass sich die Observationszeit ausgehend von den weiblichen Versuchspersonen als Referenzkategorie erhöht.

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Korrelationsanalyse wird ergänzend überprüft, ob die identifizierten signifikant korrelierenden Variablen die Beobachtungszeiten signifikant beeinflussen beziehungsweise vorhersagen können (Prädiktoren).

Bezogen auf die Experimentalgruppe (AR) zeigt das Regressionsmodell mit $R^2=0.098$ bzw. mit einem korrigierten $R^2=0.077$, dass die Variable *GSE gesamt* (allgemeine Selbstwirksamkeit) eine schwache Varianzaufklärung hinsichtlich der Observationszeit der ersten Iteration abbildet (9.8%). Das Modell beschreibt einen Standardschätzfehler für die Vorhersage der Variable *PZeit_1/1* von 54.98 Sekunden. Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigt, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(1, 43)=4.681$; $p=0.036$). Anhand des Regressionskoeffizienten lässt sich die Variable *GSE gesamt* als signifikanter Prädiktor darstellen ($p=0.036$). Es wird daher davon ausgegangen, dass die Observationszeit mit jedem zusätzlichen Skalenpunkt bezüglich der allgemeinen Selbstwirksamkeit um 6.31 Sekunden abnimmt. Das Modell zum Einfluss der Variablen *GSE gesamt* und *Kenntnisse aufgabenbezogen* auf die passive Observationszeit der zweiten Iteration

(*PZeit_I2*) zeigt in der Modellzusammenfassung mit einem korrigierten R^2 von 0.070 eine schwache Varianzaufklärung ($R^2=0.112$). Das Modell ist mit $p=0.083$ statistisch nicht signifikant ($F(2, 42)=2.646$) und eignet sich daher nicht zur Vorhersage der Observationszeit. Bezogen auf die dritte Iteration zeigt das Regressionsmodell mit $R^2=0.142$ bzw. mit einem korrigierten $R^2=0.101$, dass die Variablen *GSE gesamt* und *Vorkenntnisse medienbezogen* 10.1 Prozent der Varianz der Observationszeit (*PZeit_I3*) erklären. Das Modell beschreibt einen Standardschätzfehler von 32.06 Sekunden. Die Varianzanalyse (ANOVA) deutet auf ein statistisch signifikantes Modell hin ($F(2, 42)=3.475$; $p=0.040$). Anhand der Regressionskoeffizienten lässt sich einzig die Variable *Vorkenntnisse medienbezogen* als signifikanter Prädiktor darstellen ($p=0.032$). Der Koeffizient deutet an, dass mit jedem zusätzlichen Skalenpunkt bezüglich der medienbezogenen Vorkenntnisse die Observationszeit um 19.17 Sekunden abnimmt.

Analog zur Vorgehensweise bezüglich der Experimentalgruppe (AR) werden an dieser Stelle die identifizierten Zusammenhänge innerhalb der Kontrollgruppe (ASB) weiterführend untersucht. Das Modell zum Einfluss der Variablen *AMS Nettoerfolg*, *GSE gesamt*, dem SUS-Wert sowie der medienbezogenen Vorkenntnisse auf die passive Observationszeit der zweiten Iteration (*PZeit_I2*) zeigt in der Modellzusammenfassung mit einem korrigierten R^2 von 0.197 eine moderate Varianzaufklärung ($R^2=0.267$; Standardschätzfehler: 27.74). Das Modell ist mit $p=0.010$ statistisch signifikant ($F(4, 42)=3.818$), wobei sich einzig die Variable *Vorkenntnisse medienbezogen* als signifikanter Prädiktor darstellt ($p=0.024$). Der Regressionskoeffizient deutet darauf hin, dass die Observationszeit mit jedem zusätzlichen Skalenpunkt bezüglich der medienbezogenen Vorkenntnisse um 18.13 Sekunden abnimmt. Hinsichtlich der zweiten Iteration zeigt das Regressionsmodell mit $R^2=0.239$ bzw. mit einem korrigierten $R^2=0.167$, dass die Variablen *AMS Nettoerfolg*, *GSE Gesamt*, *SUS-Wert* sowie *Vorkenntnisse medienbezogen* 16.7 Prozent der Varianz der Observationszeit der zweiten Iteration (*PZeit_I2*) aufklären. Der Standardschätzfehler für die Vorhersage liegt bei 8.01 Sekunden. Das Ergebnis der ANOVA deutet auf einen signifikanten Effekt hin ($F(2, 42)=3.299$; $p=0.019$). Nach Sichtung der Regressionskoeffizienten wird festgestellt, dass einzig die Variable *AMS Nettoerfolg* mit $p=0.034$ einen signifikanten Einfluss auf die Observationszeit der zweiten Iteration (*PZeit_I2*) beschreibt. Demnach sinkt die Observationszeit im Schnitt um 0.67 Sekunden mit jedem zusätzlichen Skalenpunkt des AMS Nettoerfolg-Wertes (Leistungsmotiv). Für das Regressionsmodell der dritten Iteration wurden die Variablen *AMS Nettoerfolg*, *Alter* sowie das *Geschlecht* der Versuchspersonen aufgenommen. Diese Variablen erklären 29.5 Prozent der Varianz der Observationszeit der dritten Iteration ($R^2=0.339$; korrigiertes $R^2=0.295$). Für die Vorhersage der Observationszeit innerhalb dieser Iteration beschreibt das Modell einen Standardschätzfehler von 4.83 Sekunden. Das Resultat der Varianzanalyse (ANOVA) deutet darauf hin, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(3, 45)=7.705$; $p<0.001$). Nach Betrachtung der Regressionskoeffizienten kann festgehalten werden, dass alle einbezogenen Variablen einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Observationszeit abbilden und sich zur Vorhersage dieser Variable (*PZeit_I3*) eignen (*AMS Nettoerfolg* mit $p=0.003$; *Alter* mit $p=0.16$; *Geschlecht* mit $p=0.001$). Mit jedem zusätzlichen Skalenpunkt des AMS Nettoerfolg-Wertes sinkt demnach die Observationszeit im Schnitt um 0.53 Sekunden ($r= -0.532$). Zudem kann davon ausgegangen werden, dass die Observationszeit weiblicher Versuchspersonen, unabhängig von al-

len anderen Faktoren, im Mittel 5.09 Sekunden unter der Observationszeit männlicher Versuchspersonen liegt ($r=5.093$). Zusätzlich wird angedeutet, dass sich die Observationszeit mit jedem Lebensjahr um 0.20 Sekunden erhöht ($r=0.198$). Die Variable *Geschlecht* (Beta: 0.448) beschreibt hierbei vor der Variable *AMS Nettoerfolg* (Beta: -0.402) und dem Alter der Versuchspersonen (Beta: 0.305) den höchsten Beitrag zur Varianzaufklärung.

5.3.1.2 Nutzung der Handlungsinstruktion

Das AR-basierte Lernmedium bildet eine vollständige Handlungsinstruktion zu jedem Arbeitsschritt der Arbeitsaufgabe ab. Diese Instruktionen wurden als virtuelles, realitätserweiterndes Element in Form einer semitransparenten Überlagerung (*Instruktions-Overlay* bzw. *Action AVI*) realisiert. Im Rahmen der Untersuchung wurde erfasst, wie häufig die dargestellten Instruktionen von den Versuchspersonen vollständig konsumiert wurden, bevor die ersten aktiven Ausführungen am Montageobjekt erfolgten. An dieser Stelle wird die Anzahl der vollständig konsumierten Instruktionen als Bestandteil der motorisch-passiven Phase innerhalb der drei Iterationen zur Ausführung der Arbeitstätigkeit dargestellt.

Tabelle 5.3.1-2: Auswertung zur Nutzung der Handlungsinstruktion
Darstellung aus SPSS

	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum	Varianz	Fehlend
AVI_I1	5,34	3,18	5	0	14	10,14	5
AVI_I2	1,72	2,13	1	0	8	4,55	5
AVI_I3	0,55	1,57	0	0	7	2,47	5

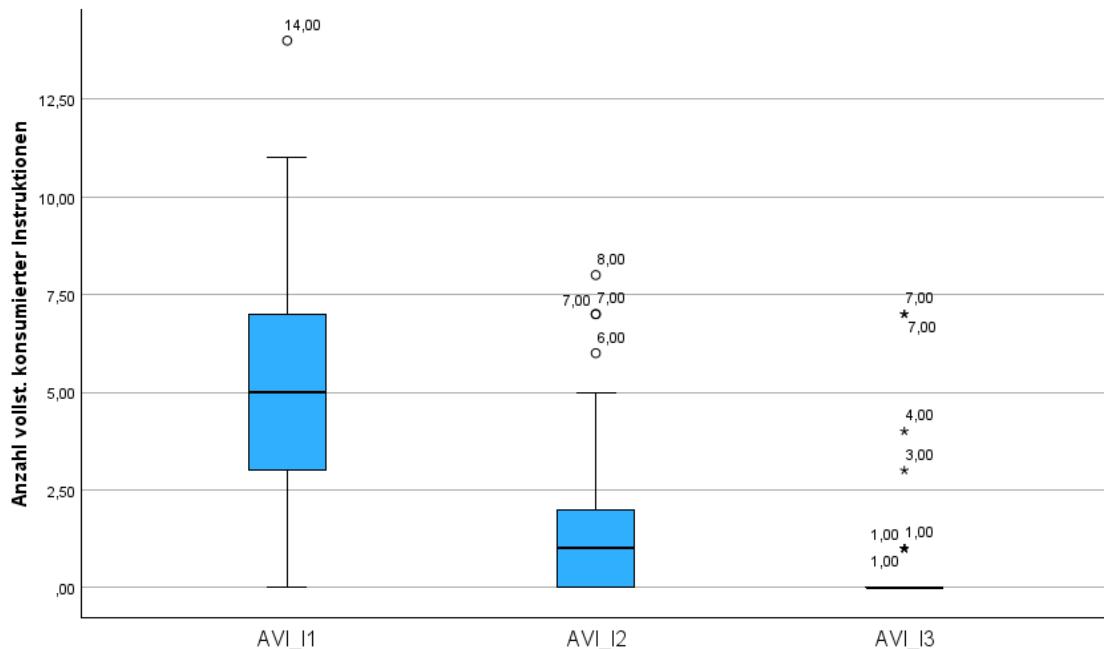


Abbildung 5.3.1-3: Boxplot zur Nutzung der Handlungsinstruktion
Darstellung aus SPSS (o Ausreißer, ★ Extremwert)

Innerhalb der ersten Iteration kann bezogen auf den Konsum der Handlungsinstruktion (AVI_I1) ein Mittelwert von 5.34 (SD: 3.18) ermittelt werden. Der Maximalwert liegt bei 14 vollständig konsumierten Instruktionen. Der Mittelwert innerhalb der zweiten Iteration liegt bei 1.72 (SD: 2.13), bei einem Maximalwert von acht vollständigen Instruktionen (AVI_I2). Bezogen auf die dritte Iteration liegt der Mittelwert bei 0.55 (SD: 1.57). Der Höchstwert liegt bei sieben vollständig konsumierten Instruktionen (AVI_I3). Innerhalb der ersten Iteration wird mit einem Wert von 10.14 die höchste Varianz hinsichtlich der konsumierten Instruktionen festgestellt. Bei allen drei Iterationen liegt der Minimalwert bei null. In diesen Fällen wurde kein vollständiger Konsum einer Handlungsinstruktion innerhalb der Iteration beobachtet. Für 47 Versuchspersonen der Experimentalgruppe konnten gültige Werte erfasst werden.

Das Resultat der Spearman-Korrelation zeigt, dass eine starke, positive Korrelation zwischen der Observationszeit und der Anzahl konsumierter Instruktionen (AVI_I1) innerhalb der ersten Iteration besteht ($r=0.876$). Die Korrelation ist mit $p<0.001$ statistisch signifikant. Bei Betrachtung des Zusammenhangs zwischen der Observationszeit der zweiten Iteration und der Anzahl konsumierter Instruktionen (AVI_I2) kann ebenfalls eine starke, positive Korrelation ermittelt werden ($r=0.896$). Die Korrelation ist statistisch signifikant ($p<0.001$). Zudem besteht eine starke, positive Korrelation ($r=0.578$) zwischen der Observationszeit der dritten Iteration und dem Konsum der Handlungsinstruktionen (AVI_I3). Die Korrelation ist statistisch signifikant ($p<0.001$).

Die Korrelationskoeffizienten zeigen, dass ein kontinuierlicher Zusammenhang zwischen der Observationszeit der einzelnen Iterationen und der Nutzung der Handlungsinstruktion (*Instructions-Overlay bzw. Action AVI*) besteht. Der Befund deutet darauf hin, dass die Versuchspersonen der Experimentalgruppe (AR) den zeitlichen Abschnitt vor der ersten aktiven Ausführung am Montageobjekt (Observationszeit) überwiegend für den Konsum der präsentierten Handlungsinstruktionen nutzen.

Tabelle 5.3.1-3: Korrelationen zwischen der Observationszeit und konsumierter Instruktionen
Darstellung aus SPSS

			AVI_I1	AVI_I2	AVI_I3
Spearman-Rho	PZeit_I1	Korrelationskoeffizient	,876**	,552**	,221
		Sig. (2-seitig)	<,001	<,001	,141
		N	46	46	46
	PZeit_I2	Korrelationskoeffizient	,606**	,896**	,412**
		Sig. (2-seitig)	<,001	<,001	,004
		N	46	46	46
	PZeit_I3	Korrelationskoeffizient	,474**	,723**	,578**
		Sig. (2-seitig)	<,001	<,001	<,001
		N	46	46	46

**. Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

*. Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Ergänzend wurden Korrelationen zwischen der Nutzung der Handlungsinstruktion und einzelnen personalen Merkmalen sowie potentiellen Einflussfaktoren untersucht. In die Korrelationsanalyse bezüglich der Nutzung der Handlungsinstruktion wurden die Variablen der Usability, der

Arbeitsbelastung, der medien- und aufgabenspezifische Vorkenntnisse, der Messung des Leistungsmotivs sowie der Ausprägung der allgemeinen Selbstwirksamkeit aufgenommen. Zudem wurden neben dem Resultat des Montagetests einzelne soziodemografische Aspekte (Alter, Geschlecht, Berufsgruppe) für die Analyse berücksichtigt.

Bei Betrachtung der Korrelationskoeffizienten konnte einzig ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Konsum der Handlungsinstruktion (Summe aus allen drei Iterationen) und der allgemeinen Selbstwirksamkeit ermittelt werden. Die moderate, negative Korrelation (nach Spearman) zwischen dem Konsum der Handlungsinstruktion (*AVI vor Handlung gesamt*) und der Variable *GSE gesamt* ist mit $p=0.020$ statistisch signifikant ($r= -0.342$). Es wurden keine weiteren statistisch signifikanten Zusammenhänge festgestellt. In der sich anschließenden Regressionsanalyse wurde basierend auf dieser Erkenntnis ausschließlich die Variable *GSE gesamt* aufgenommen.

Das Regressionsmodell zeigt mit $R^2=0.061$, dass die Variable *GSE gesamt* 6.1 Prozent der Varianz bezüglich der Nutzung der Handlungsinstruktion erklärt (korrigiertes $R^2=0.040$). Das Modell ist mit $p=0.098$ statistisch nicht signifikant ($F(1, 44)=2.852$). Die Variable *GSE gesamt* stellt somit keinen statistisch signifikanten Prädiktor für den Konsum der Handlungsinstruktionen dar.

5.3.2 Motorisch-aktive Phase

Die motorisch-aktive Phase beschreibt die aktiven Ausführungen der Arbeitstätigkeit am Montageobjekt. Im Rahmen der Datenanalyse werden ausschließlich die Ausführungen der sieben Montageschritte dargestellt. Die Arbeitsschritte zur Herstellung des Ausgangszustandes (Demontage) werden nicht berücksichtigt.

5.3.2.1 Ausführungszeiten

Die Ausführungszeit beschreibt den Zeitraum zwischen der ersten aktiven Tätigkeitsausführung am Montageobjekt durch die Versuchsperson und der Erreichung des Zielzustandes bzw. des Fortschreitens zum nachfolgenden Arbeitsschritt (vgl. Ablaufsteuerung). Die Versuchspersonen entscheiden eigenständig zu welchem Zeitpunkt sie mit der Ausführung des erforderlichen Arbeitsschrittes beginnen. Innerhalb der Experimentalgruppe erfolgt zum Abschluss eines Arbeitsschrittes eine systemgenerierte Beurteilung des Arbeitsresultates. Versuchspersonen der Kontrollgruppe entscheiden selbstständig, ob der definierte Endzustand erreicht wurde und somit der Übergang zum nächsten Arbeitsschritt erfolgen kann. Die Ausführungszeit wurde für alle drei Handlungsiterationen erfasst und analysiert.

Bezogen auf die erste der drei Iterationen (I1) liegt der Mittelwert der Ausführungszeit in der Experimentalgruppe (AR) bei 210.85 Sekunden (SD: 83.86). Der niedrigste Wert liegt bei 101 Sekunden, der höchste Wert bei 448 Sekunden. In der Kontrollgruppe (ASB) liegt der Mittelwert bei 226.19 Sekunden (SD: 91.42), bei einer Maximalzeit von 494 Sekunden und einer Minimalzeit von 124 Sekunden. Der Levene-Test deutet mit $p=0.638$ darauf hin, dass die Varianzen der bei-

den Gruppen gleich sind. Das Ergebnis des Tests ist statistisch nicht signifikant und die Nullhypothese wird nicht verworfen. Der Shapiro-Wilk-Test deutet sowohl bei den Daten der Experimentalgruppe ($p<0.001$) als auch bei der Kontrollgruppe ($p<0.001$) darauf hin, dass eine statistisch signifikante Abweichung von der Normalverteilung vorliegt. Nach der Durchführung des Mann-Whitney U-Tests wird davon ausgegangen, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der Ausführungszeiten innerhalb der ersten Iteration besteht ($p=0.344$; $r=0.10$ - *schwacher Effekt*).

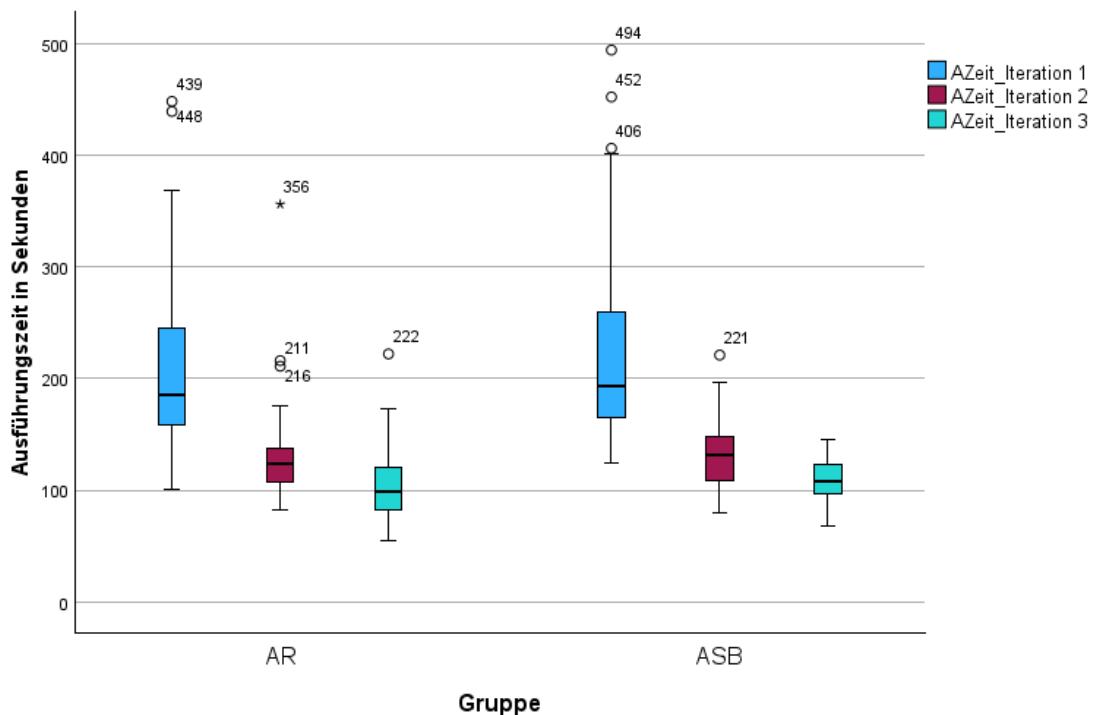


Abbildung 5.3.2-1: Boxplot zu den Ausführungszeiten (I1-I3) in Sekunden
Darstellung aus SPSS (o Ausreißer, ☆ Extremwert)

Bei der zweiten Iteration (I2) kann in der Experimentalgruppe ein Mittelwert von 129.11 Sekunden (SD: 44.85) und in der Kontrollgruppe ein Mittelwert von 130.67 Sekunden (SD: 27.66) ermittelt werden. Der niedrigste Wert liegt bei 82 Sekunden innerhalb der Experimentalgruppe beziehungsweise bei 80 Sekunden innerhalb der Kontrollgruppe. Der Maximalwert der Ausführungszeit beträgt 356 Sekunden (EG) beziehungsweise 221 Sekunden (KG). Mit einem statistisch nicht signifikanten Ergebnis ($p=0.345$) deutet der Levene-Test darauf hin, dass Varianzgleichheit zwischen beiden Gruppen besteht. Innerhalb der Experimentalgruppe wird davon ausgegangen, dass eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung vorliegt ($p<0.001$ nach Shapiro-Wilk). Bezogen auf die Kontrollgruppe deutet der Shapiro-Wilk-Test an, dass keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung vorliegt ($p=0.126$). Der Mann-Whitney U-Test zeigt, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Ausführungszeiten der zweiten Iteration besteht ($p=0.194$; $r=0.13$ - *schwacher Effekt*).

Innerhalb der dritten Iteration (I3) wird bei der Experimentalgruppe ein Mittelwert von 104.78 Sekunden (SD: 32.52) und bei der Kontrollgruppe ein Mittelwert von 108.80 Sekunden (SD:

19.35) festgestellt. Der niedrigste Wert der Ausführungszeit liegt bei 55 Sekunden innerhalb der Experimentalgruppe und bei 68 Sekunden innerhalb der Kontrollgruppe. Der Maximalwert der Experimentalgruppe beträgt 222 Sekunden und der Maximalwert der Kontrollgruppe liegt bei 146 Sekunden. Der Levene-Test deutet mit einem statistisch signifikanten Ergebnis ($p=0.008$) darauf hin, dass keine Varianzgleichheit besteht und die Nullhypothese verworfen wird. Innerhalb der Experimentalgruppe liegt eine statistisch signifikante Abweichung der Daten von der Normalverteilung vor ($p=0.002$ nach Shapiro-Wilk). Hinsichtlich der Kontrollgruppe deutet der Shapiro-Wilk-Test an, dass keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung vorliegt ($p=0.499$). Der Mann-Whitney U-Test weist darauf hin, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Ausführungszeiten statistisch nicht signifikant ist ($p=0.097$; $r=0.17$ - *schwacher Effekt*).

Tabelle 5.3.2-1: Teststatistiken zur Ausführungszeit (I1-I3)
Darstellung aus SPSS

	Teststatistiken ^a		
	AZeit_I1	AZeit_I2	AZeit_I3
Mann-Whitney-U-Test	979,000	952,500	904,000
Wilcoxon-W	2060,000	2033,500	1985,000
Z	-.946	-1,300	-1,661
Asymp. Sig. (2-seitig)	,344	,194	,097

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

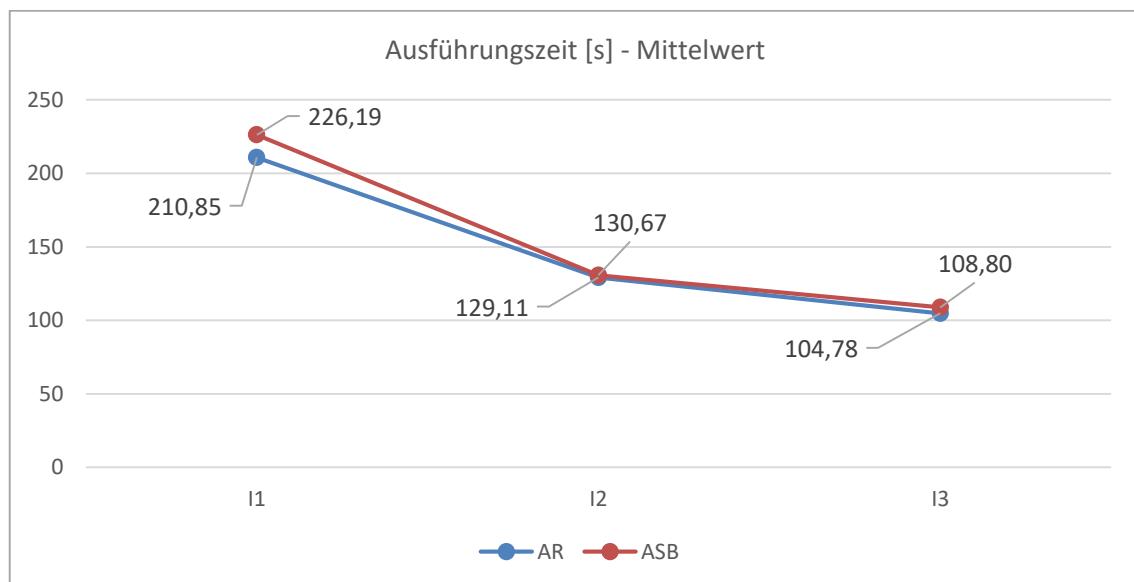


Abbildung 5.3.2-2: Linien-Diagramm zu den Ausführungszeiten (I1-I3) in Sekunden
Darstellung aus Microsoft Excel

Im weiteren Verlauf der Datenanalyse wurden analog zur Vorgehensweise bezüglich der Observationszeit einzelne Korrelationsanalysen durchgeführt. Es erfolgte die Untersuchung von Korrelationen zwischen der Ausführungszeit und einzelnen personalen Merkmalen bzw. potentiellen Einflussfaktoren. Ergänzend wurden Zusammenhänge zwischen der Ausführungszeit (motorisch-aktiver Zeitabschnitt) und der Observationszeit (motorisch-passiver Zeitabschnitt)

analysiert. Als potentielle Einflussfaktoren werden medien- und aufgabenspezifische Vorkenntnisse, das explizite Leistungsmotiv, die allgemeine Selbstwirksamkeit, SUS- und NASA-Werte, das Ergebnis des Montagetests sowie einzelne soziodemografische Aspekte (Alter, Geschlecht, Berufsgruppe) betrachtet.

Bezogen auf die Experimentalgruppe (AR) konnte innerhalb der ersten Iteration eine mit $p=0.030$ statistisch signifikante, negative Korrelation (nach Spearman) zwischen der Ausführungszeit und dem AMS Nettoerfolg-Wert bei einer mittleren Effektstärke ermittelt werden ($r= -0.327$). Des Weiteren wurde innerhalb der ersten Iteration eine statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen der Ausführungszeit und den aufgabenbezogenen Kenntnissen der Versuchspersonen ermittelt ($r= -0.332$; $p=0.024$). Hinsichtlich der dritten Iteration besteht eine statistisch signifikante, positive Korrelation zwischen der Ausführungszeit und der subjektiv wahrgenommenen Arbeitsbelastung (*NASA gesamt-Wert*) bei geringer Effektstärke ($r=0.295$; $p=0.049$).

Ergänzend werden Zusammenhänge zwischen der Ausführungszeit der ersten Iteration und den dichotomen Variablen *Geschlecht* und *Berufsgruppe* festgestellt (punktbsieriale Korrelation). Es besteht eine moderate, negative Korrelation zwischen der Ausführungszeit (*AZeit_I1*) und dem Geschlecht der Versuchspersonen ($r= -0.419$). Die Korrelation ist statistisch signifikant ($p=0.004$). Darüber hinaus kann eine statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen der Ausführungszeit und der Berufsgruppe festgestellt werden ($r= -0.424$; $p=0.005$). Ein weiterer statistisch signifikanter Zusammenhang bzw. eine punktbisieriale Korrelation kann zwischen der Ausführungszeit der dritten Iteration (*AZeit_I3*) und der Berufsgruppe der Versuchspersonen ermittelt werden ($r= -0.355$; $p=0.021$). Zudem wurden Zusammenhänge zwischen der Observationszeit und der sich anschließenden Ausführungszeit innerhalb einer Iteration untersucht. Einzig innerhalb der zweiten Iteration konnte eine statistisch signifikante, positive Korrelation zwischen der Observationszeit (*PZeit_I2*) und der Ausführungszeit (*AZeit_I2*) ermittelt werden ($r=0.474$; $p<0.001$).

Hinsichtlich der Kontrollgruppe (ASB) werden innerhalb der ersten Iteration statistisch signifikante, negative Korrelationen (nach Spearman) zwischen der Ausführungszeit (*AZeit_I1*) und den Variablen *AMS Nettoerfolg* ($r= -0.369$; $p=0.010$), *SUS Wert* ($r= -0.424$; $p=0.003$), den aufgabenbezogenen Vorkenntnissen ($r= -0.398$; $p=0.005$), den medienbezogenen Vorkenntnissen ($r= -0.325$; $p=0.024$) sowie dem Ergebnis des Montagetests ($r= -0.411$; $p=0.004$) ermittelt. Eine statistisch signifikante, positive Korrelation besteht zwischen der Ausführungszeit (*AZeit_I1*) und dem Alter der Versuchspersonen ($r=0.509$; $p<0.001$). Diese Beobachtungen werden bei Betrachtung der zweiten Iteration bestätigt. Innerhalb der zweiten Iteration bestehen statistisch signifikante, negative Korrelationen zwischen der Ausführungszeit (*AZeit_I2*) und den Variablen *AMS Nettoerfolg* ($r= -0.443$; $p=0.001$), der Usability ($r= -0.449$; $p=0.002$), den aufgabenbezogenen Vorkenntnissen ($r= -0.350$; $p=0.014$) sowie den medienbezogenen Vorkenntnissen ($r= -0.394$; $p=0.005$) und dem Ergebnis des Montagetests ($r= -0.357$; $p=0.013$). Es besteht ebenfalls eine statistisch signifikante, positive Korrelation zwischen der Ausführungszeit (*AZeit_I2*) und der Variable *Alter* ($r=0.394$; $p=0.005$). Innerhalb der dritten Iteration können statistisch signifikante,

negative Korrelationen zwischen der Ausführungszeit (*AZeit_I3*) und den Variablen *AMS Nettoerfolg* ($r = -0.414$; $p = 0.003$), *SUS Wert* ($r = -0.297$; $p = 0.042$) sowie dem Resultat des Montagetests ($r = -0.368$; $p = 0.010$) ermittelt werden.

Ergänzend konnten über alle drei Iterationen hinweg statistisch signifikante, positive Korrelation zwischen der Observationszeit und der Ausführungszeit beobachtet werden. Es besteht eine signifikante, moderate Korrelation ($r = 0.327$; $p = 0.023$) zwischen der Observationszeit (*PZeit_I1*) und der Ausführungszeit (*AZeit_I1*). Zwischen der Observationszeit (*PZeit_I2*) und der Ausführungszeit (*AZeit_I2*) der zweiten Iteration kann eine signifikante, starke Korrelation festgestellt werden ($r = 0.559$; $p < 0.001$). Innerhalb der dritten Iteration wird ebenfalls eine signifikante, starke Korrelation zwischen der Observationszeit (*PZeit_I3*) und der Ausführungszeit (*AZeit_I3*) ermittelt ($r = 0.614$; $p < 0.001$). Es wurden innerhalb der Kontrollgruppe keine statistisch signifikanten Zusammenhänge (punktbiseriale Korrelation) zwischen den Ausführungszeiten und den dichotomen Variablen *Geschlecht* und *Berufsgruppe* festgestellt.

Basierend auf den Erkenntnissen der Korrelationsanalysen werden an dieser Stelle mit Hilfe multipler Regressionsanalysen bestehende Zusammenhänge überprüft. Es wird untersucht, ob die mit der Ausführungszeit signifikant korrelierenden Variablen die Ausführungszeit signifikant beeinflussen beziehungsweise vorhersagen können (Prädiktoren).

Bezogen auf die Experimentalgruppe (AR) zeigt das Regressionsmodell mit $R^2 = 0.346$ bzw. mit einem korrigierten $R^2 = 0.271$, dass die Variablen *AMS Nettoerfolg*, *aufgabenbezogene Vorkenntnisse*, *Geschlecht* sowie *Berufsgruppe* 27.1 Prozent der Varianz der Ausführungszeit der ersten Iteration (*AZeit_I1*) erklären. Das Modell beschreibt einen Standardschätzfehler für die Vorhersage der Variable *AZeit_I1* von 72.54 Sekunden. Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigt, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(4, 35) = 4.630$; $p = 0.004$). Anhand der Regressionskoeffizienten lässt sich einzig die Variable *Geschlecht* als signifikanter Prädiktor darstellen ($p = 0.043$). Demnach kann bei weiblichen Versuchspersonen, unabhängig von allen anderen Faktoren, eine im Mittel um 54.88 Sekunden höhere Ausführungszeit (*AZeit_I1*) als bei männlichen Versuchspersonen festgestellt werden.

Tabelle 5.3.2-2: Ausführungszeit [s] bezogen auf die Variable *Geschlecht* (Gruppe AR)
Darstellung aus SPSS

			Mittelwert	Median	Gültige Anzahl
<i>AZeit_I1</i>	<i>Geschlecht</i>	w	243	220	25
		m	173	169	21

Hinsichtlich der dritten Iteration zeigt das Regressionsmodell mit $R^2 = 0.165$ bzw. mit einem korrigierten $R^2 = 0.121$, dass die Variablen *NASA gesamt* und *Berufsgruppe* 12.1 Prozent der Varianz der Ausführungszeit der dritten Iteration (*AZeit_I3*) erklären. Der Standardschätzfehler für die Vorhersage liegt bei 31.19 Sekunden. Das Ergebnis der ANOVA deutet auf einen signifikanten Effekt hin ($F(2, 38) = 3.757$; $p = 0.032$). Bei Betrachtung der Regressionskoeffizienten wird jedoch festgestellt, dass keine der beiden Variablen (*NASA gesamt* mit $p = 0.167$; *Berufsgruppe* mit

$p=0.060$) einen signifikanten Einfluss auf die Ausführungszeit der dritten Iteration (*AZeit_I3*) beschreibt. Eine stark ausgeprägte Autokorrelation sowie eine Multikollinearität können nach Sichtung der Durbin-Watson- bzw. der Kollinearitätsstatistik ausgeschlossen werden.

Im Rahmen der Korrelationsanalyse wurde einzig innerhalb der zweiten Iteration ein Zusammenhang zwischen der Observationszeit (*PZeit_I2*) und der Ausführungszeit (*AZeit_I2*) festgestellt. Mit einem R^2 von 0.114 bzw. einem korrigierten R^2 von 0.094 zeigt das Regressionsmodell, dass die Variable *PZeit_I2* 11.4 Prozent der Varianz hinsichtlich der Ausführungszeit (*AZeit_I2*) erklärt. Der Standardschätzfehler für die Vorhersage der Variable *AZeit_I2* liegt bei 42.70 Sekunden. Das Resultat der Varianzanalyse (ANOVA) deutet darauf hin, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(1, 44)=5.651$; $p=0.022$). Die Variable *PZeit_I2* beschreibt mit $p=0.022$ einen signifikanten Einfluss auf die Ausführungszeit der zweiten Iteration. Eine erhöhte Observationszeit (*PZeit_I2*) wird demnach mit einer Erhöhung der Ausführungszeit (*AZeit_I2*) assoziiert.

Das Regressionsmodell der Kontrollgruppe (ASB) zeigt mit $R^2=0.509$ bzw. mit einem korrigierten $R^2=0.431$, dass die Variablen *Alter*, *AMS Nettoerfolg*, *SUS-Wert*, aufgabenbezogene sowie medienbezogene Vorkenntnisse und das Ergebnis des Montagetests 43.1 Prozent der Varianz der Ausführungszeit der ersten Iteration (*AZeit_I1*) erklären (Standardschätzfehler: 70.39). Das Modell ist mit $p<0.001$ statistisch signifikant ($F(6, 38)=6.555$). Nach Betrachtung der Regressionskoeffizienten wird einzig hinsichtlich der Variable *Alter* ein signifikanter Einfluss ermittelt ($p<0.001$). Demnach erhöht sich die Ausführungszeit (*AZeit_I1*) mit dem Alter einer Versuchsperson. Im Durchschnitt wird eine Erhöhung der Ausführungszeit um 5.01 Sekunden pro Lebensjahr der Versuchsperson erwartet. Die aufgenommenen Variablen für das Regressionsmodell der zweiten Iteration entsprechen der Variablenauswahl der ersten Iteration. Das Modell beschreibt eine Varianzaufklärung von 26.6 Prozent ($R^2=0.363$; korrigiertes $R^2=0.266$) bei einem Standardschätzfehler von 23.95 Sekunden. Die aufgenommenen Variablen sagen mit $p=0.005$ statistisch signifikant die Ausführungszeit der zweiten Iteration (*AZeit_I2*) voraus ($F(6, 39)=3.712$). Anhand der Regressionskoeffizienten lässt sich feststellen, dass die Variable *AMS Nettoerfolg* einen signifikanten Einfluss auf die Variable *AZeit_I2* abbildet ($p=0.047$). Demnach sinkt die Ausführungszeit im Schnitt um 2.01 Sekunden mit jedem zusätzlichen Skalenpunkt des *AMS Nettoerfolg*-Wertes (Leistungsmotiv). Für das Regressionsmodell der dritten Iteration wurden die Variablen *AMS Nettoerfolg*, der *SUS-Wert* sowie das Ergebnis des Montagetests aufgenommen. Diese Variablen erklären 11.1 Prozent der Varianz der Ausführungszeit der dritten Iteration (*AZeit_I3*) mit $R^2=0.170$ bzw. korrigiertes $R^2=0.111$. Für die Vorhersage der Ausführungszeit innerhalb dieser Iteration beschreibt das Modell einen Standardschätzfehler von 18.46 Sekunden. Das Resultat der Varianzanalyse (ANOVA) deutet darauf hin, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(3, 42)=2.869$; $p=0.048$). Nach Betrachtung der Regressionskoeffizienten kann jedoch festgehalten werden, dass keine der aufgenommenen Variablen (*AMS Nettoerfolg* mit $p=0.137$; *SUS Wert* mit $p=0.193$; *Montagetest_Ergebnis* mit $p=0.260$) einen signifikanten Einfluss auf die Ausführungszeit der dritten Iteration (*AZeit_I3*) beschreibt. Eine stark ausgeprägte Autokorrelation sowie eine Multikollinearität können nach Sichtung der Durbin-Watson- bzw. der Kollinearitätsstatistik ausgeschlossen werden.

Ergänzend wurden die ermittelten Zusammenhänge (vgl. Korrelationsanalyse) zwischen den Observationszeiten und den sich anschließenden Ausführungszeiten innerhalb der drei Iterationen untersucht. Bezogen auf die erste Iteration wird eine Varianzaufklärung von 8.3 Prozent der Ausführungszeit (*AZeit_I1*) durch die Variable *PZeit_I1* mit einem Standardschätzfehler von 88.49 Sekunden festgestellt ($R^2=0.083$; korrigiertes $R^2=0.063$). Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigt, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(1, 46)=4.170$; $p=0.047$). Die Variable *PZeit_I1* beschreibt mit $p=0.047$ einen signifikanten Einfluss auf die Ausführungszeit der ersten Iteration (*AZeit_I1*). Das Regressionsmodell der zweiten Iteration deutet an, dass die Variable *PZeit_I2* 26.6 Prozent der Varianz der Ausführungszeit der zweiten Iteration (*AZeit_I2*) erklärt ($R^2=0.266$; korrigiertes $R^2=0.250$). Der Standardschätzfehler liegt bei 23.95 Sekunden. Nach Durchführung der Varianzanalyse wird festgestellt, dass der Effekt mit $p<0.001$ statistisch signifikant von null abweicht ($F(1, 47)=17.015$). Die Variable *PZeit_I2* beschreibt einen signifikanten Einfluss ($p<0.001$) auf die Ausführungszeit der zweiten Iteration (*AZeit_I2*). Bezogen auf die dritte Iteration ist durch das Regressionsmodell zu erkennen, dass die Observationszeit (*PZeit_I3*) 27.4 Prozent der Varianz der Ausführungszeit (*AZeit_I3*) bei einem Standardschätzfehler von 16.65 aufklärt ($R^2=0.274$; korrigiertes $R^2=0.259$). Die Varianzanalyse deutet auf ein statistisch signifikantes Modell hin ($p<0.001$; $F(1, 47)=17.774$). Die Variable *PZeit_I3* beschreibt einen signifikanten Einfluss ($p<0.001$) auf die Ausführungszeit der dritten Iteration (*AZeit_I3*). Demnach wird über alle drei Iterationen hinweg eine erhöhte Observationszeit mit einer Erhöhung der Ausführungszeit assoziiert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bezogen auf die Experimentalgruppe die aufgenommenen personalen Merkmale bzw. potentiellen Einflussfaktoren die höchste Varianzaufklärung hinsichtlich der Ausführungszeit innerhalb der ersten Iteration liefern (korrigiertes $R^2=0.271$; $F=4.630$). Innerhalb der zweiten Iteration beschreibt das Modell mit der aufgenommenen Observationszeit *PZeit_I2* eine schwache Varianzaufklärung ($R^2=0.114$; $F=5.651$). Mit einem korrigierten R^2 von 0.121 zeigt das Modell mit den Variablen *NASA gesamt* und der *Berufsgruppe* ebenfalls eine schwache Varianzaufklärung bezogen auf die Ausführungszeit der dritten Iteration ($F=3.757$).

Hinsichtlich der Kontrollgruppe wurden bereits im Zuge der Korrelationsanalysen Zusammenhänge zwischen sechs der zehn einbezogenen personalen Merkmale und den Ausführungszeiten der ersten und zweiten Iteration festgestellt. Die höchste Varianzaufklärung wurde innerhalb der ersten Iteration (*AZeit_I1*) ermittelt (korrigiertes $R^2=0.431$; $F=6.555$). Bezogen auf die Ausführungszeit der zweiten Iteration (*AZeit_I2*) liefert das Modell ebenfalls eine hohe Varianzaufklärung (korrigiertes $R^2=0.266$; $F=3.712$). Eine schwache Varianzaufklärung bietet das Modell der dritten Iteration. Mit den aufgenommenen Variablen *AMS Nettoerfolg*, dem *SUS-Wert* und dem Ergebnis des Montagetests werden 11.1 Prozent der Varianz der entsprechenden Ausführungszeit erklärt (korrigiertes $R^2=0.111$; $F=2.869$). Eine hohe Varianzaufklärung durch die unmittelbar vorgelagerte Observationszeit konnte bei der Ausführungszeit der zweiten Iteration ($R^2=0.266$; $F=17.015$) sowie bei der Ausführungszeit der dritten Iteration ($R^2=0.247$; $F=17.774$) ermittelt werden.

5.3.2.2 Montagefehler

Für jeden der sieben Montageschritte wurde ein Zielzustand definiert (vgl. Anhang 8.3.3). Jede Abweichung von diesem Zielzustand wird als Fehler gewertet und führt dazu, dass das Resultat eines Arbeitsschrittes mit n.i.O. bewertet wird. An dieser Stelle werden ausschließlich *nicht erkannte Fehler* dokumentiert. Als nicht erkannte Fehler werden jene Montagefehler gewertet, die nach den aktiven Ausführungen der Versuchspersonen am Montageobjekt bestehen. Innerhalb der Experimentalgruppe (AR) wird der Abschluss eines Arbeitsschrittes durch das Verlassen des definierten Handlungsbereiches eingeleitet (vgl. Ablaufsteuerung). Im Anschluss erfolgt die systemgestützte Validierung. Die Versuchspersonen der Kontrollgruppe (ASB) beenden einen Arbeitsschritt durch die Wahl des nächsten Arbeitsschrittes über den Touch-Screen-Monitor. Eigenständig identifizierte und innerhalb der Ausführungszeit korrigierte Fehler werden an dieser Stelle nicht in die Wertung aufgenommen.

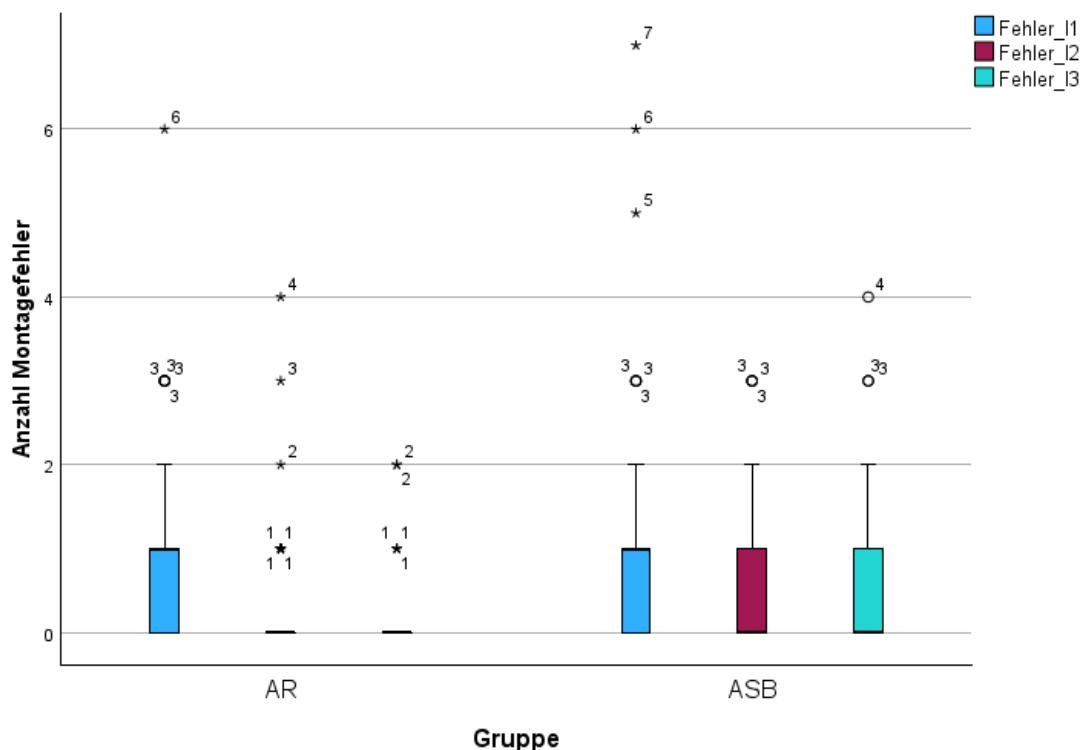


Abbildung 5.3.2-3: Boxplot zu den Montagefehlern (I1-I3)

Darstellung aus SPSS (o Ausreißer, * Extremwert)

Bezogen auf die erste Iteration (I1) liegt der Mittelwert der Montagefehler in der Experimentalgruppe (AR) bei 1.00 Fehlern bei einer Standardabweichung von 1.19. Der niedrigste Wert liegt bei null Fehlern, der höchste Wert bei sechs Fehlern. Der Mittelwert der Kontrollgruppe (ASB) liegt bei 1.13 Fehlern (SD: 1.56). Der niedrigste Wert liegt hier ebenfalls bei null Fehlern, der höchste Wert bei sieben Fehlern. Der Levene-Test deutet mit $p=0.297$ darauf hin, dass die Varianzen der beiden Gruppen gleich sind. Das Ergebnis des Tests ist statistisch nicht signifikant und die Nullhypothese kann nicht verworfen werden. Der Shapiro-Wilk-Test deutet sowohl bei den Daten der Experimentalgruppe als auch bei der Kontrollgruppe mit $p<0.001$ darauf hin, dass die Daten signifikant von der Normalverteilung abweichen. Der Mann-Whitney U-Test zeigt, dass

der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezogen auf die Anzahl der Montagefehler statistisch nicht signifikant ist ($p=0.971$; $r=0.00$ - *sehr schwacher Effekt*).

Tabelle 5.3.2-3: Teststatistiken zu den Montagefehlern (I1-I3)
Darstellung aus SPSS

	Teststatistiken ^a		
	Fehler_I1	Fehler_I2	Fehler_I3
Mann-Whitney-U-Test	1076,500	864,000	723,000
Wilcoxon-W	2204,500	1945,000	1804,000
Z	-,037	-2,345	-3,758
Asymp. Sig. (2-seitig)	,971	,019	<,001

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

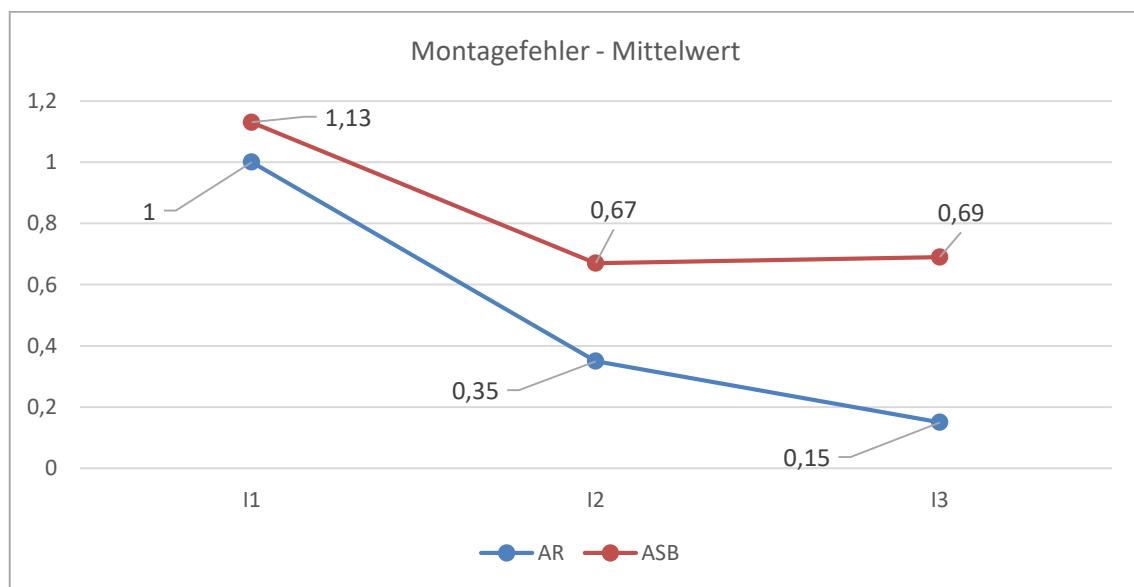


Abbildung 5.3.2-4: Linien-Diagramm zu den Montagefehlern (I1-I3)
Darstellung aus Microsoft Excel

In Bezug auf die zweite Iteration (I2) liegt der Mittelwert bei 0.35 Fehlern (SD: 0.82) für die Experimentalgruppe und bei 0.67 Fehlern (SD: 0.90) für die Kontrollgruppe. Die höchste Fehlerzahl liegt bei vier (Experimentalgruppe) beziehungsweise bei drei Fehlern (Kontrollgruppe). Innerhalb beider Gruppen liegt der Minimalwert bei null Fehlern. Das Ergebnis des Levene-Tests deutet darauf hin, dass die Varianzen der beiden Gruppen gleich sind ($p=0.086$). Der Shapiro-Wilk-Test zeigt, dass die Daten bei beiden Gruppen mit $p<0.001$ signifikant von der Normalverteilung abweichen. Nach der Durchführung des Mann-Whitney U-Tests wird festgestellt, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der Variable Fehler_I2 statistisch signifikant ist ($p=0.019$; $r=0.24$ - *schwacher Effekt*).

Innerhalb der dritten Iteration liegt der Mittelwert der Montagefehler bei 0.15 Fehlern bei einer Standardabweichung von 0.47 (Experimentalgruppe) beziehungsweise bei 0.69 Fehlern bei einer Standardabweichung von 0.94 (Kontrollgruppe). Der Minimalwert liegt in beiden Gruppen

bei null Fehlern. Der Maximalwert liegt für die Experimentalgruppe bei zwei Fehlern, für die Kontrollgruppe bei vier Fehlern. Der Levene-Test zeigt mit einem statistisch signifikanten Ergebnis ($p<0.001$), dass die Varianzen beider Gruppen nicht gleich sind. Nach der Durchführung des Shapiro-Wilk-Tests wird bei beiden Gruppen davon ausgegangen, dass die Daten signifikant von einer Normalverteilung abweichen ($p<0.001$). Der Mann-Whitney U-Test bestätigt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Montagefehler der dritten Iteration ($p<0.001$; $r=0.39$ - *mittlerer Effekt*).

Im Zuge der weiterführenden Analysen bezüglich der Montagefehler wurden Zusammenhänge zwischen dem Fehleraufkommen und den definierten Einflussfaktoren untersucht. Bezogen auf die Experimentalgruppe konnte einzig eine statistisch signifikante, positive Korrelation (punkt-biserial Korrelation) zwischen den Montagefehlern der zweiten Iteration und dem Geschlecht der Versuchspersonen ermittelt werden ($r=0.306$; $p=0.039$). Zur näheren Untersuchung potentieller Zusammenhänge wurden an dieser Stelle die zuvor ermittelten Observations- und Ausführungszeiten der einzelnen Iterationen in die Korrelationsanalyse aufgenommen. Demnach bestehen durchgängig signifikante Korrelationen zwischen der Anzahl der Montagefehler und den Ausführungszeiten innerhalb einer Iteration. Ein Zusammenhang zwischen der Observationszeit und dem Fehleraufkommen wurde nicht festgestellt. Es kann eine starke, statistisch signifikante Korrelation (positiv) zwischen der Anzahl der Montagefehler und der Ausführungszeit der ersten Iteration bestimmt werden ($r=0.730$; $p<0.001$). Ergänzend zu dem Zusammenhang zwischen der Fehlerzahl und dem Geschlecht der Versuchspersonen wird innerhalb der zweiten Iteration eine statistisch signifikante, positive Korrelation mit der Ausführungszeit (*AZeit_I2*) ermittelt ($r=0.442$; $p=0.002$). Eine statistisch signifikante, moderate Korrelation besteht zudem innerhalb der dritten Iteration zwischen der Anzahl der Montagefehler und der entsprechenden Ausführungszeit ($r=0.437$; $p=0.002$).

Hinsichtlich der Kontrollgruppe konnten innerhalb der ersten und der dritten Iteration statistisch signifikante Korrelationen ermittelt werden. Es besteht eine statistisch signifikante, negative Korrelation innerhalb der ersten Iteration zwischen der Anzahl der Montagefehler und dem Wert der Usability des Lernmediums ($r= -0.302$; $p=0.044$). Zudem werden statistisch signifikante, moderate Korrelationen zwischen der Fehlerzahl (*Fehler_I1*) und der Variable *Berufsgruppe* ($r=0.306$; $p=0.46$) sowie der Ausführungszeit ($r=0.367$; $p=0.012$) bestimmt. Bezogen auf die dritte Iteration kann eine statistisch signifikante, negative Korrelation (punkt-biserial Korrelation) zwischen der Anzahl der Montagefehler und dem Geschlecht der Versuchspersonen dargestellt werden ($r= -0.292$; $p=0.042$). Des Weiteren besteht eine signifikante, negative Korrelation zwischen der Fehlerzahl der dritten Iteration (*Fehler_I3*) und der Observationszeit (*PZeit_I2*) der vorhergehenden Iteration ($r= -0.361$; $p=0.011$). Innerhalb der zweiten Iteration wurden keine statistisch signifikanten Korrelationen festgestellt.

Im Anschluss an die Korrelationsanalysen wird im Rahmen der Regressionsanalysen untersucht, ob die dargestellten signifikant korrelierenden Variablen die Anzahl der Montagefehler signifikant beeinflussen beziehungsweise vorhersagen können (Prädiktoren).

Bezogen auf die Experimentalgruppe zeigt das Regressionsmodell, dass die Ausführungszeit (*AZeit_I1*) mit 60.2 Prozent eine starke Varianzaufklärung hinsichtlich der Fehlerzahl der ersten Iteration abbildet ($R^2=0.602$; korrig. $R^2=0.593$). Das Modell beschreibt einen Standardschätzfehler von 0.76 für die Vorhersage der Fehlerzahl innerhalb dieser Iteration. Die Varianzanalyse (ANOVA) weist mit $p<0.001$ auf einen signifikanten Effekt hin ($F(1, 44)=66.666$). Anhand des Regressionskoeffizienten lässt sich die Variable *AZeit_I1* als signifikanter Prädiktor für die Anzahl der Montagefehler (*Fehler_I1*) darstellen ($p<0.001$; $r=0.011$). Es wird davon ausgegangen, dass die Fehlerzahl mit jeder zusätzlichen Einheit der Ausführungszeit (pro Sekunde) durchschnittlich um 0.011 Fehler steigt. Das Modell zum Einfluss der Variablen *Geschlecht* und *AZeit_I2* (Ausführungszeit) auf die Fehlerzahl der zweiten Iteration zeigt in der Modellzusammenfassung mit einem korrigierten $R^2=0.375$ eine starke Varianzaufklärung ($R^2=0.403$; Standardschätzfehler: 0.65). Das Modell ist mit $p<0.001$ statistisch signifikant ($F(2, 43)=14.488$). Die Variablen *Geschlecht* ($p=0.004$; $r=0.585$) und *AZeit_I2* ($p<0.001$; $r=0.010$) lassen sich als signifikante Prädiktoren der Fehlerzahl darstellen. Die Anzahl der Montagefehler der zweiten Iteration liegt bei weiblichen Versuchspersonen im Schnitt um 0.59 Fehler über der Fehlerzahl männlicher Versuchspersonen. Es wird zudem davon ausgegangen, dass die Fehlerzahl innerhalb dieser Iteration mit jeder zusätzlichen Sekunde der Ausführungszeit um 0.01 Fehler zunimmt. Die Ausführungszeit (*AZeit_I2*) beschreibt hierbei den höchsten Beitrag zur Varianzaufklärung (Beta: 0.559). Für das Regressionsmodell der dritten Iteration wurde die Variable der entsprechenden Ausführungszeit (*AZeit_I3*) aufgenommen. Diese Variable erklärt 38.5 Prozent der Varianz der Montagefehler der dritten Iteration ($R^2=0.385$; korrigiertes $R^2=0.371$). Der Standardschätzfehler des Modells liegt bei 0.37. Die Varianzanalyse bestätigt mit $p<0.001$ die statistische Signifikanz des Modells ($F(1, 44)=27.508$). Nach Betrachtung der Regressionskoeffizienten kann festgehalten werden, dass die Ausführungszeit der dritten Iteration einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Montagefehler innerhalb dieser Iteration abbildet ($p<0.001$; $r=0.009$). Der Regressionskoeffizient deutet an, dass die Fehlerzahl mit zunehmender Ausführungszeit (pro Sekunde) im Schnitt um 0.009 Fehler steigt.

Die Modellzusammenfassung der Kontrollgruppe zum Einfluss der Variablen *SUS-Wert*, *Berufsgruppe* und der Ausführungszeit (*AZeit_I1*) auf die Fehlerzahl der ersten Iteration zeigt mit einem korrigierten $R^2=0.233$ eine moderate Varianzaufklärung ($R^2=0.292$). Der Standardschätzfehler des Modells liegt bei 1.32. Die Varianzanalyse (ANOVA) weist mit $p=0.006$ auf einen signifikanten Effekt hin ($F(3, 36)=4.947$). Nach Sichtung der Regressionskoeffizienten wird festgestellt, dass einzig die Variable *AZeit_I1* einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Montagefehler beschreibt ($p=0.007$; $r=0.007$). Mit jeder weiteren Zeiteinheit der Ausführungszeit (pro Sekunde) nimmt die Fehlerzahl um den Wert 0.007 zu. Für das Modell der dritten Iteration wurden die Variablen *Geschlecht* und *PZeit_I2* aufgenommen. Das Modell beschreibt mit einem korrigierten R^2 von 0.102 eine schwache Varianzaufklärung hinsichtlich der Montagefehler der dritten Iteration ($R^2=0.139$; Standardschätzfehler: 0.89). Das Resultat der Varianzanalyse (ANOVA) deutet darauf hin, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(2, 46)=3.718$; $p=0.032$). Nach Auswertung der Regressionskoeffizienten wird festgestellt, dass keine der aufgenommenen Variablen (*Geschlecht* mit $p=0.077$; *PZeit_I2* mit $p=0.96$) einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl

der Montagefehler der dritten Iteration (*Fehler_13*) abbildet. Eine stark ausgeprägte Autokorrelation sowie eine Multikollinearität können nach Sichtung der Durbin-Watson- bzw. der Kollinearitätsstatistik ausgeschlossen werden.

5.3.2.3 Abbruch des Montagetrainings

Der definierte Untersuchungsablauf sieht vor, dass die notwendigen Arbeitsschritte der Montageaufgabe unter Nutzung der dargebotenen Lernmedien und möglichst ohne Einbezug der Beobachtenden stattfindet. Im Verlauf der Untersuchung beziehungsweise während des Montagetrainings waren jedoch vereinzelt externe Eingriffe durch die Beobachtenden erforderlich. Diese Eingriffe werden bezüglich des Ablaufs des Montagetrainings als kritisch bewertet und sind durch den aktiven Einbezug der Beobachtungsinstanzen durch die Versuchspersonen begründet. Insgesamt vier Versuchspersonen gaben innerhalb der ersten Iteration an, das Montagetraining nicht ohne personelle Unterstützung fortsetzen zu können. In diesen Fällen erfolgte der Eingriff durch die Beobachtenden und wurde entsprechend im Beobachtungsbogen hinterlegt. Der erstmalige Einbezug der externen Unterstützung erfolgte in diesen Fällen zwischen dem zweiten und dem vierten Arbeitsschritt der Montageaufgabe. Die Daten der betroffenen Fälle wurden hinsichtlich des Lernverhaltens und des Lernerfolgs von der Datenanalyse ausgeschlossen (vgl. Anhang 8.3.2).

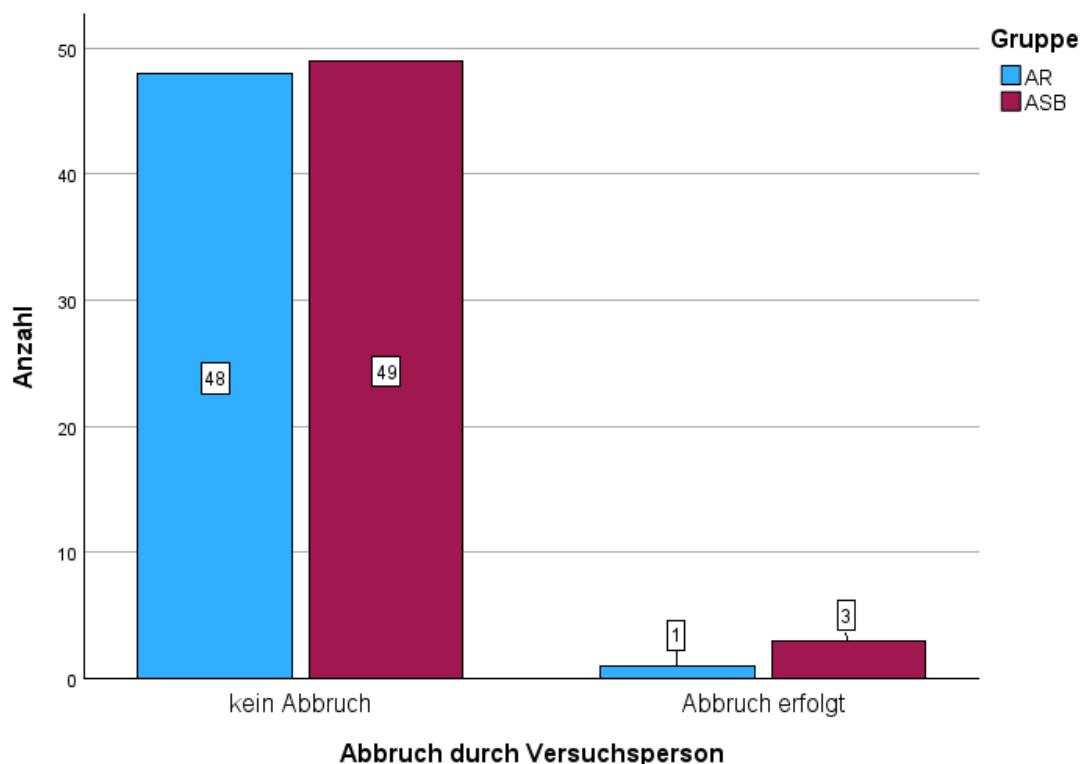


Abbildung 5.3.2-5: Balkendiagramm zu den Trainingsabbrüchen
Darstellung aus SPSS

Innerhalb der Experimentalgruppe (AR) wurde in einem Fall das Montagetraining durch den Einbezug der personellen Unterstützung abgebrochen. Die Versuchsperson involvierte während

des zweiten Arbeitsschrittes die externe personelle Unterstützung und konnte das Montagetraining erst durch die sich anschließenden Erläuterungen zur Tätigkeitsausführung fortsetzen. Bei der Kontrollgruppe (ASB) wurde in drei Fällen eine ergänzende Unterstützung durch die beobachtende Person angefragt. In zwei Fällen erfolgte die Unterstützungsanforderung erstmalig während des zweiten Arbeitsschrittes, in einem Fall erstmalig während des vierten Arbeitsschrittes.

Im Rahmen einer vertiefenden Analyse der durch Versuchspersonen induzierten Trainingsabbrüche erfolgt an dieser Stelle ein Vergleich der erfassten personalen Merkmale sowie der Einflussgrößen zwischen den Versuchspersonen, die einen Trainingsabbruch auslösten und jenen, die ohne einen Abbruch das Montagetraining absolvierten. Ein zweiseitiger t-Test für unabhängige Stichproben zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Variable *Alter* ($t(99) = -3.458$; $p < 0.001$; $d = 1.76$ - *starker Effekt*). Es wird davon ausgegangen, dass Versuchspersonen ohne selbstinduzierten Trainingsabbruch durchschnittlich 15.21 Jahre jünger sind als Versuchspersonen, bei denen ein Trainingsabbruch beobachtet werden konnte. Zudem konnte nach Durchführung des Mann-Whitney U-Tests ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen bezogen auf den *SUS-Wert* (Angaben zur Usability der Lernmedien) ermittelt werden ($z = -2.744$; $p = 0.006$; $r = 0.28$ - *schwacher Effekt*). Versuchspersonen, die das Montagetraining ohne externe Unterstützung vollständig abschließen konnten, bewerten den Nutzen der Lernmedien während des Lernprozesses höher (Median=85) als Versuchspersonen, die das Montagetraining ohne externe Unterstützung nicht abschließen konnten (Median=53.8). Ergänzend wurde durch einen zweiseitigen t-Test ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der medienbezogenen Vorkenntnisse zwischen beiden Gruppen festgestellt ($t(99) = 3.570$; $p < 0.001$; $d = 1.82$ - *starker Effekt*). Das Testresultat deutet an, dass der Skalenwert der Versuchspersonen ohne Trainingsabbruch hinsichtlich der medienbezogenen Vorkenntnisse durchschnittlich um 1.18 Skalenpunkte über dem Skalenwert der Versuchspersonen mit Trainingsabbruch liegt.

5.4 Darstellung des Lernerfolgs

Der Lernerfolg der Qualifizierungsmaßnahme (Montagetraining) wird neben der Auswertung der handlungsorientierten Lernerfolgskontrolle (Ausführungszeit und Fehleraufkommen) durch eine Selbsteinschätzung der Versuchspersonen abgebildet. Ergänzend wurde die Nutzung des optionalen Hilfsmittels erfasst.

5.4.1 Selbsteinschätzung

Neben der Erfassung der Ausführungszeiten und des Fehleraufkommens während der Lernerfolgskontrolle (Fremdeinschätzung) erfolgte zunächst innerhalb des ersten Untersuchungsabschnitts (Tag 1) die Selbsteinschätzung der Versuchspersonen über entsprechende Items innerhalb des zweiten Fragebogens. Die beiden Items *eigenständiger* und *geleiteter Nachvollzug* orientieren sich an den untersten Lernzielstufen des berufsmotorischen Lernens (vgl. Kapitel

2.1.3.3). Mittels einer fünfstufigen Skala wird die Ausprägung der Zustimmung der Versuchspersonen erfasst. Die Variable *SBAa* repräsentiert den *eigenständigen Nachvollzug* und somit die höhere Lernzielstufe. Die Variable *SBAb* bildet die niedrigere Lernzielstufe, den *geleiteten Nachvollzug* ab.

5.4.1.1 Eigenständiger Nachvollzug

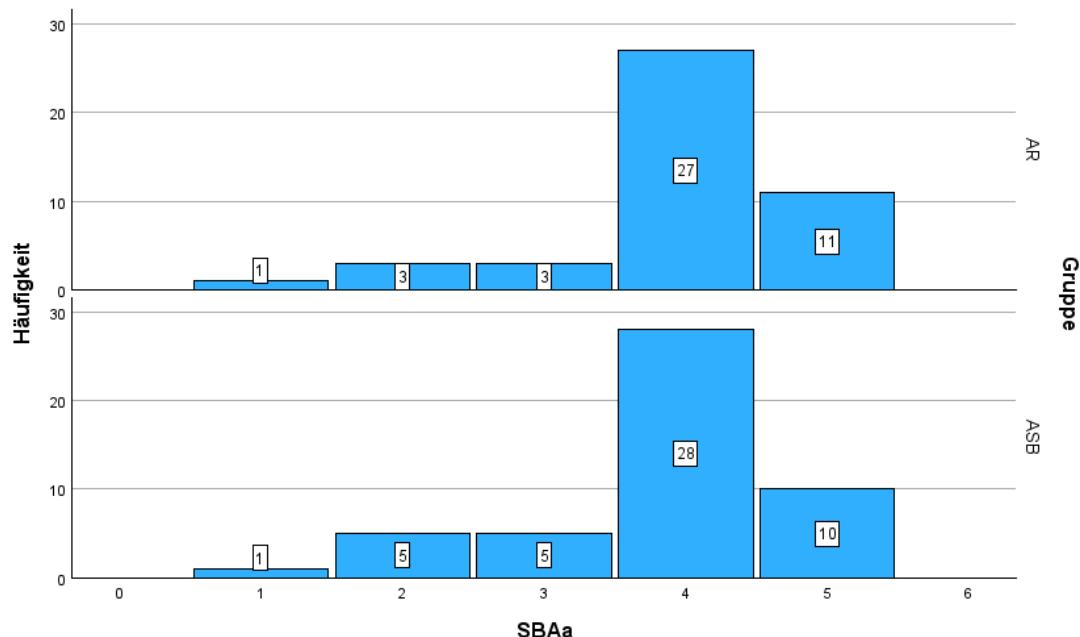


Abbildung 5.4.1-1: Histogramme zur Selbsteinschätzung (*eigenständiger Nachvollzug*)
Darstellung aus SPSS

Innerhalb der Experimentalgruppe (AR) liegt der Mittelwert hinsichtlich der Stufe des eigenständigen Nachvollzugs bei 3.98, bei einer Standardabweichung von 0.89 (Median: 4 - „stimme eher zu“). Der niedrigste Wert liegt bei eins („stimme nicht zu“), der Maximalwert bei fünf („stimme zu“). Die Ausprägungen *stimme zu* oder *stimme eher zu* können in 84.44 Prozent der Fälle beobachtet werden (38 Versuchspersonen). Bei drei Versuchspersonen (6.67%) liegt eine neutrale Einordnung vor („weder noch“). Bei vier Versuchspersonen wurden die Angaben *stimme nicht* oder *stimme eher nicht zu* ermittelt (8.89%).

Der Mittelwert der Kontrollgruppe (ASB) liegt bei 3.84, bei einer Standardabweichung von 0.94. Der Median liegt ebenfalls bei vier („stimme eher zu“). Der Minimalwert liegt bei eins („stimme nicht zu“), der Höchstwert bei fünf („stimme zu“). Die Ausprägungen *stimme zu* oder *stimme eher zu* können in 77.55 Prozent der Fälle beobachtet werden (38 Versuchspersonen). Eine neutrale Beurteilung liegt bei fünf Versuchspersonen vor (10.20%). Die Angaben *stimme nicht* oder *stimme eher nicht zu* wurden bei sechs Versuchspersonen festgestellt (12.24%). Innerhalb der Experimentalgruppe wurden 45, innerhalb der Kontrollgruppe 49 gültige Werte erfasst.

Der Levene-Test deutet an, dass die Varianzen beider Gruppen gleich sind ($p=0.346$). Der Shapiro-Wilk-Test zeigt bei beiden Gruppen mit $p<0.001$, dass die Daten signifikant von der Normalverteilung abweichen. Das Resultat des Mann-Whitney U-Tests deutet darauf hin, dass der

Unterschied zwischen beiden Gruppen bezogen auf die Selbsteinschätzung hinsichtlich der Stufe des eigenständigen Nachvollzugs statistisch nicht signifikant ist ($p=0.428$; $r=0.08$ - *sehr schwacher Effekt*). Die Nullhypothese wird beibehalten.

Tabelle 5.4.1-1: Teststatistiken zur Selbsteinschätzung (eigenständiger Nachvollzug)
Darstellung aus SPSS

Teststatistiken ^a	
SBAa (eigenständiger Nachvollzug)	
Mann-Whitney-U-Test	1009,500
Wilcoxon-W	2234,500
Z	-,793
Asymp. Sig. (2-seitig)	,428

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Im Rahmen der Korrelationsanalyse konnten innerhalb der Experimentalgruppe keine statistisch signifikanten Korrelationen zwischen den Angaben zur Lernzielstufe des eigenständigen Nachvollzugs und den aufgenommenen Variablen ermittelt werden. Bezogen auf die Kontrollgruppe besteht eine mit $p=0.023$ signifikante, negative Korrelation zwischen der Variable *SBAa* und der Anzahl der Montagefehler während der zweiten Iteration des Montagetrainings ($r= -0.325$). Basierend auf dieser Beobachtung wird die Variable *Fehler_I2* in die Regressionsanalyse der Kontrollgruppe aufgenommen. Das Modell zum Einfluss dieser Variable auf die Angaben zur Lernzielstufe des eigenständigen Nachvollzugs deutet in der Modellzusammenfassung mit einem R^2 von 0.257 auf eine starke Varianzaufklärung hin (korrigiertes $R^2=0.241$; Standardschätzfehler: 0.822). Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigt, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(1, 47)=16.227$; $p<0.001$). Die Anzahl der Montagefehler während der zweiten Iteration des Montagetrainings beschreibt mit $p<0.001$ einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Angaben der Versuchspersonen hinsichtlich des eigenständigen Nachvollzugs ($r= -0.532$). Der Regressionskoeffizient deutet an, dass mit jedem Montagefehler während der zweiten Iteration des Montagetrainings die subjektive Einschätzung (Zustimmung) der Versuchspersonen bezüglich der Ausprägung des eigenständigen Nachvollzugs um 0.53 Skalenpunkte abnimmt.

5.4.1.2 Geleiteter Nachvollzug

Der Mittelwert der Experimentalgruppe bezogen auf die Stufe des geleiteten Nachvollzugs liegt bei 3.41 (Standardabweichung: 1.26), der Median bei vier („stimme eher zu“). Der Minimalwert liegt bei eins („stimme nicht zu“), der Maximalwert bei fünf („stimme zu“). In 56.82 Prozent der Fälle können die Ausprägungen *stimme zu* oder *stimme eher zu* beobachtet werden ($N=25$). Sieben Versuchspersonen (15.91%) nahmen eine neutrale Einordnung vor („weder noch“). Die Angaben *stimme nicht* oder *stimme eher nicht zu* wurden bei zwölf Versuchspersonen ermittelt (27.27%).

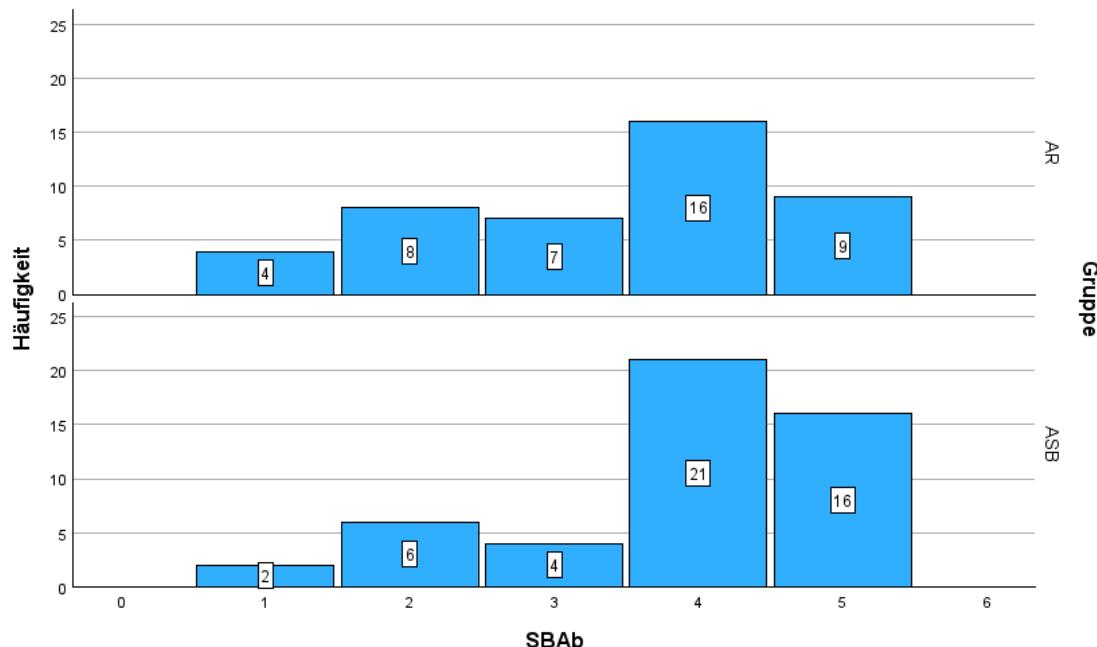


Abbildung 5.4.1-2: Histogramme zur Selbsteinschätzung (*geleiteter Nachvollzug*)
Darstellung aus SPSS

Innerhalb der Kontrollgruppe liegt der Mittelwert bei 3.88, bei einer Standardabweichung von 1.13. Der Median liegt ebenfalls bei vier („stimme eher zu“). Wie bereits bei der Experimentalgruppe zu beobachten war, liegt der Minimalwert bei eins („stimme nicht zu“), der Maximalwert bei fünf („stimme zu“). Die Angaben *stimme zu* oder *stimme eher zu* können in 75.51 Prozent der Fälle festgestellt werden (37 Versuchspersonen). In vier Fällen liegt eine neutrale Beurteilung vor (8.16%). Die Ausprägungen *stimme nicht* oder *stimme eher nicht zu* wurden bei acht Versuchspersonen ermittelt (16.33%). Innerhalb der Experimentalgruppe wurden 44, innerhalb der Kontrollgruppe 49 gültige Werte erfasst.

Das Ergebnis des Levene-Tests ist mit $p=0.097$ statistisch nicht signifikant und die Nullhypothese, dass die Varianzen beider Gruppen gleich sind, wird nicht verworfen. Der Shapiro-Wilk-Test zeigt bei beiden Gruppen mit $p<0.001$, dass die Daten signifikant von der Normalverteilung abweichen.

Tabelle 5.4.1-2: Teststatistiken zur Selbsteinschätzung (*geleiteter Nachvollzug*)
Darstellung aus SPSS

Teststatistiken ^a	
	SBAb
Mann-Whitney-U-Test	843,000
Wilcoxon-W	1833,000
Z	-1,893
Asymp. Sig. (2-seitig)	,058

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Der Mann-Whitney U-Test deutet an, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezogen auf die Selbsteinschätzung hinsichtlich der Stufe des geleiteten Nachvollzugs mit $p=0.058$ statistisch nicht signifikant ist ($r=0.2$ - *schwacher Effekt*). Die Nullhypothese wird beibehalten.

Im Zuge der Korrelationsanalyse wurden innerhalb der Experimentalgruppe keine statistisch signifikanten Korrelationen zwischen den Angaben zur Lernzielstufe des geleiteten Nachvollzugs und den bisher erfassten Variablen festgestellt. Nachdem die Variable zur Beurteilung des eigenständigen Nachvollzugs (*SBAa*) aufgenommen wurde, kann eine mit $p=0.003$ signifikante, negative Korrelation zwischen der Variable *SBAb* (geleiteter Nachvollzug) und der Variable *SBAa* (eigenständiger Nachvollzug) ermittelt werden ($r= -0.439$). Innerhalb der Kontrollgruppe wurden statistisch signifikante Korrelationen zwischen einzelnen Trainingsparametern sowie personalen Merkmalen und den Angaben zur Lernzielstufe des geleiteten Nachvollzugs identifiziert. Es bestehen statistisch signifikante Korrelationen zwischen den Observationszeiten der zweiten (*PZeit_I2*: $p=0.014$; $r=0.348$) sowie der dritten Iteration des Montagetrainings (*PZeit_I3*: $p=0.014$; $r=0.348$) und der Variable *SBAb*. Es konnten zudem statistisch signifikante Korrelationen zwischen den Ausführungszeiten der ersten beiden Iterationen des Montagetrainings und der Variable hinsichtlich des geleiteten Nachvollzugs festgestellt werden (*AZeit_I1*: $p=0.048$; $r=0.287$ und *AZeit_I2*: $p=0.024$; $r=0.322$). Darüber hinaus bestehen signifikante Korrelationen zwischen der Variable *SBAb* und den Variablen *Alter* ($p<0.001$; $r=0.460$), *SUS-Wert* ($p=0.009$; $r= -0.376$) sowie den medienbezogenen Vorkenntnissen der Versuchspersonen ($p=0.007$; $r= -0.380$). Des Weiteren wurde in der Kontrollgruppe ebenfalls nach Aufnahme der Variable *SBAa* (eigenständiger Nachvollzug) eine statistisch signifikante Korrelation mit der Variable zur subjektiven Einschätzung hinsichtlich des geleiteten Nachvollzugs (*SBAb*) ermittelt ($p=0.037$; $r= -0.298$). Die Erkenntnisse der Korrelationsanalysen bilden die Grundlage für die sich anschließenden Regressionsanalysen.

Das Regressionsmodell der Experimentalgruppe zeigt mit $R^2=0.160$ bzw. mit einem korrigierten $R^2=0.140$, dass die Variable *SBAa* 16.0 Prozent der Varianz der Angaben zum geleiteten Nachvollzug (*SBAb*) erklärt (Standardschätzfehler: 1.17). Das Modell ist mit $p=0.007$ statistisch signifikant ($F(1, 42)=7.992$). Der Regressionskoeffizient deutet mit $p= 0.007$ auf einen signifikanten Einfluss der Variable *SBAa* hin ($r= -0.560$). Demnach sinkt die Zustimmung bezüglich des geleiteten Nachvollzugs mit jedem zusätzlichen Skalenpunkt des eigenständigen Nachvollzugs um 0.56 Skalenpunkte.

Für das Modell der Kontrollgruppe werden die Variablen der Observationszeiten (*PZeit_I2*, *PZeit_I3*) und der Ausführungszeiten (*AZeit_I1*, *AZeit_I2*) des Montagetrainings, das Alter der Versuchspersonen, der *SUS-Wert* sowie die Ausprägung der medienspezifischen Vorkenntnisse und die Zustimmung hinsichtlich des eigenständigen Nachvollzugs aufgenommen. Das Modell zum Einfluss dieser Variablen auf die Angaben zur Lernzielstufe des geleiteten Nachvollzugs deutet in der Modellzusammenfassung mit einem korrigierten R^2 von 0.287 auf eine starke Varianzaufklärung hin ($R^2=0.414$; Standardschätzfehler: 0.974). Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigt, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(8, 37)=3.265$; $p=0.006$). Einzig die Angabe zur Lernzielstufe des eigenständigen Nachvollzugs (*SBAa*) beschreibt mit $p=0.012$ einen statistisch signifikanten

Einfluss auf die Zustimmung hinsichtlich des geleiteten Nachvollzugs ($r = -0.468$). Der Regressionskoeffizient deutet an, dass mit jedem zusätzlichen Skalenpunkt des eigenständigen Nachvollzugs die Zustimmung bezüglich des geleiteten Nachvollzugs um 0.47 Skalenpunkte abnimmt.

5.4.2 Ausführungszeiten

Im Rahmen der Lernerfolgskontrolle (LEK) erfolgt die einmalige Durchführung der AGR-Modul-Montage (Iterationszahl: 1). Die dabei erfasste Ausführungszeit beschreibt den Zeitbedarf, der von den Versuchspersonen für die Bewältigung der Arbeitsaufgabe (sieben Arbeitsschritte) ohne den obligatorischen Einsatz eines Lernmediums benötigt wird. Die Versuchspersonen entscheiden selbstständig, ob der definierte Endzustand erreicht wurde beziehungsweise die Bearbeitung der Arbeitsaufgabe abgeschlossen ist. Die Ausführungszeit einer geübten Person, bei moderater Ausführungsgeschwindigkeit, liegt bei 67 Sekunden.

Tabelle 5.4.2-1: Anzahl vollständiger Ausführungen (LEK)

Darstellung aus SPSS

Gruppe		vollständig		nicht vollständig		Gesamt
		Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	
Gruppe	AR	36	80,0%	9	20,0%	45
	ASB	34	69,4%	15	30,6%	49
	Gesamt	70	74,5%	24	25,5%	94

In die Analyse der Ausführungszeiten wurden ausschließlich vollständige Ausführungen bezüglich der Arbeitsaufgabe aufgenommen. Wurden von den Versuchspersonen im Rahmen der Bewältigung der Arbeitsaufgabe ganze Arbeitsschritte oder einzelne Teilschritte innerhalb eines Arbeitsschrittes ausgelassen, wird die entsprechende Ausführung als „nicht vollständig“ bewertet und für die Analyse der Ausführungszeit nicht berücksichtigt. Innerhalb der Experimentalgruppe konnten 36 (80% der Ausführungen) und innerhalb der Kontrollgruppe 34 (69.4% der Ausführungen) vollständige Ausführungen in die Analyse aufgenommen werden ($N=70$). Der Chi²-Test zeigt, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Gruppenzugehörigkeit und den vollständigen Ausführungen der Arbeitsschritte besteht ($\chi^2(1)=1,398$; $p=0.238$; Cramér's V=0.12 - schwacher Effekt).

In der Experimentalgruppe (AR) liegt der Mittelwert der Ausführungszeit bei 124.94 Sekunden (SD: 33.42). Das Minimum liegt bei 79 Sekunden, der höchste Wert bei 232 Sekunden. In der Kontrollgruppe (ASB) liegt der Mittelwert bei 134.03 Sekunden (SD: 40.33), bei einer Maximalzeit von 235 Sekunden und einer Minimalzeit von 74 Sekunden.

Der Levene-Test deutet mit $p=0.365$ darauf hin, dass die Varianzen der beiden Gruppen gleich sind. Das Ergebnis des Tests ist statistisch nicht signifikant und die Nullhypothese wird nicht verworfen. Der Shapiro-Wilk-Test deutet sowohl bei der Experimentalgruppe ($p=0.031$) als auch bei der Kontrollgruppe ($p=0.023$) darauf hin, dass die Daten statistisch signifikant von einer Normalverteilung abweichen.

Tabelle 5.4.2-2: Teststatistiken zur Ausführungszeit (LEK)
Darstellung aus SPSS

Teststatistiken ^a	
	Ausführungszeit_LEK
Mann-Whitney-U-Test	535,500
Wilcoxon-W	1201,500
Z	-,899
Asymp. Sig. (2-seitig)	,369

Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Nach der Durchführung des Mann-Whitney U-Tests wird davon ausgegangen, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der Ausführungszeiten der Lernerfolgskontrolle besteht ($p=0.369$; $r=0.11$ - schwacher Effekt).

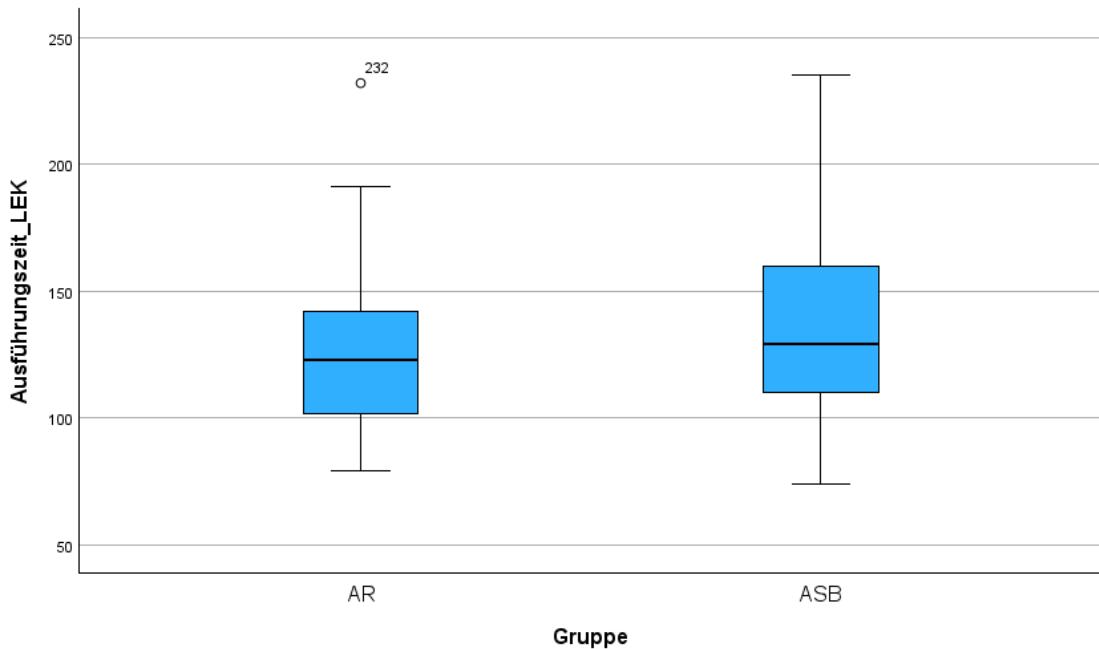


Abbildung 5.4.2-1: Boxplot zu den Ausführungszeiten (LEK) in Sekunden
Darstellung aus SPSS (o Ausreißer)

An dieser Stelle werden die Erkenntnisse der Korrelations- und Regressionsanalysen dargestellt. Es wurden Zusammenhänge zwischen den ermittelten Ausführungszeiten der LEK und den definierten personalen Merkmalen der Versuchspersonen bzw. potentiellen Einflussfaktoren untersucht. Ergänzend wurden die ermittelten Trainingsparameter bezüglich der Observationszeit (PZeit), der Ausführungszeit (AZeit) sowie die Anzahl der Montagefehler während des Montagetrainings in die Analysen aufgenommen. Darüber hinaus wurden die Angaben zur subjektiven Einschätzung der Versuchspersonen hinsichtlich des Lernerfolgs in die Analysen einbezogen. Im Fall der Experimentalgruppe (AR) erfolgte zusätzlich die Aufnahme der Variable zur Nutzung der Handlungsinstruktion (AVI gesamt).

Die Experimentalgruppe (AR) betreffend konnte eine mit $p=0.037$ statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen der Ausführungszeit der LEK und der Berufsgruppe der Versuchspersonen festgestellt werden ($r= -0.364$). Des Weiteren wurden statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Ausführungszeit der LEK und den Ausführungszeiten des Montagetrainings (Iteration 1 bis Iteration 3) ermittelt. Es bestehen signifikante, moderate Korrelationen zwischen der Ausführungszeit der LEK und den Ausführungszeiten der ersten ($p=0.044$; $r=0.338$) und zweiten Iteration ($p=0.006$; $r=0.446$) des Montagetrainings. Zwischen der Ausführungszeit der LEK und der Ausführungszeit der dritten Iteration des Montagetrainings existiert eine mit $p<0.001$ signifikante, starke Korrelation ($r=0.614$).

Bezogen auf die Kontrollgruppe (ASB) wurde eine statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen der Ausführungszeit der LEK und der Ausprägung der allgemeinen Selbstwirksamkeit (*GSE gesamt*) ermittelt ($r= -0.398$, $p=0.020$). Darüber hinaus bestehen ebenfalls statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Ausführungszeit der LEK und den Ausführungszeiten des Montagetrainings (Iteration 2 und Iteration 3). Es wurde eine mit $p=0.021$ statistisch signifikante, moderate Korrelation zwischen der Ausführungszeit der LEK und der Ausführungszeit (*AZeit_I2*) der zweiten Iteration des Montagetrainings festgestellt ($r=0.394$). Eine signifikante, starke Korrelation besteht zwischen der Ausführungszeit der LEK und der Ausführungszeit (*AZeit_I3*) der dritten Iteration des Montagetrainings ($r=0.508$; $p=0.002$).

In Anlehnung an die Erkenntnisse der Korrelationsanalyse werden die Angaben zur Berufsgruppe (technisch oder nicht-technisch) sowie die Ausführungszeiten der drei Iterationen des Montagetrainings in die Regressionsanalyse der Experimentalgruppe aufgenommen. Das Modell zum Einfluss der Variable *Berufsgruppe* und den Ausführungszeiten des Montagetrainings (*AZeit_I1*, *AZeit_I2*, *AZeit_I3*) auf die Ausführungszeit der Lernerfolgskontrolle zeigt in der Modellzusammenfassung mit einem korrigierten R^2 von 0.462 eine starke Varianzaufklärung ($R^2=0.529$; Standardschätzfehler: 24.80). Das Modell ist mit $p<0.001$ statistisch signifikant ($F(4, 28)=7.871$), wobei sich einzig die Variablen *AZeit_I2* ($p=0.004$; $r=0.306$) und *AZeit_I3* ($p=0.024$; $r=0.510$) als signifikante Prädiktoren darstellen. Die Regressionskoeffizienten deuten darauf hin, dass sich die Ausführungszeit der LEK mit jeder Zeiteinheit (Sekunde) der Ausführungszeit des Montagetrainings um 0.31 Sekunden (*AZeit_I2*) beziehungsweise um 0.51 Sekunden (*AZeit_I3*) erhöht. Die Ausführungszeit der zweiten Iteration des Montagetrainings (Beta: 0.440) beschreibt hierbei den höheren Beitrag zur Varianzaufklärung, verglichen mit dem Beitrag der Ausführungszeit der dritten Iteration (Beta: 0.370).

Das Modell der Kontrollgruppe zum Einfluss der Variable *GSE gesamt* sowie der Ausführungszeiten der zweiten und dritten Iteration des Montagetrainings auf die Ausführungszeit der Lernerfolgskontrolle deutet mit einem korrigierten R^2 von 0.395 auf eine starke Varianzaufklärung hin ($R^2=0.450$). Das Modell beschreibt einen Standardschätzfehler für die Vorhersage der Ausführungszeit der LEK von 31.38 Sekunden. Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigt, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(3, 30)=8.167$; $p<0.001$). Anhand der Regressionskoeffizienten lassen sich die Variable *GSE gesamt* ($p=0.002$; $r= -7.142$) und die Ausführungszeit der dritten Iteration ($p=0.005$; $r=1,209$) als signifikante Prädiktoren darstellen. Demnach kann davon ausgegangen

werden, dass die Ausführungszeit der LEK mit jedem zusätzlichen Skalenpunkt bezüglich der allgemeinen Selbstwirksamkeit (*GSE gesamt*) um 7.14 Sekunden abnimmt (Beta: -0.464). Des Weiteren deuten die Regressionskoeffizienten an, dass die Ausführungszeit der LEK mit jeder zusätzlichen Sekunde der Ausführungszeit innerhalb der dritten Iteration des Montagetrainings um 1.21 Sekunden zunimmt. Die Variable *AZeit_I3* beschreibt innerhalb des Modells den höchsten Beitrag zur Varianzaufklärung (Beta: 0.608).

5.4.3 Fehleraufkommen

Im Rahmen der Fehlerauswertung wurde zwischen Abweichungen von einem definierten Zielzustand (Montagefehler) und der Einhaltung der Arbeitsschrittfolge (Reihenfolgefehler) unterschieden. Durch diese Vorgehensweise wurde eine differenzierte Analyse des Lerntransfers beziehungsweise des Lernerfolgs ermöglicht.

5.4.3.1 Montagefehler

Analog zur Erfassung der Montagefehler während des Montagetrainings (vgl. Kapitel 5.3.2.2) wurden im Rahmen der Lernerfolgskontrolle Abweichungen von den definierten Zielzuständen der einzelnen Arbeitsschritte dokumentiert. An dieser Stelle werden ausschließlich Abweichungen vom definierten Arbeitsergebnis eines Arbeitsschrittes analysiert (Montagefehler). Die Reihenfolge, in der die Arbeitsschritte durchgeführt wurden, wird hierbei nicht berücksichtigt. Die höchstmögliche Fehlerzahl für die gesamte Arbeitsaufgabe (Montage) liegt bei 13 Fehlern. Ausgelassene beziehungsweise nicht durchgeführte Arbeitsschritte wurden innerhalb der Gesamtbewertung mit der maximalen Fehlerzahl des entsprechenden Arbeitsschrittes bewertet (vgl. Anhang 8.3.3).

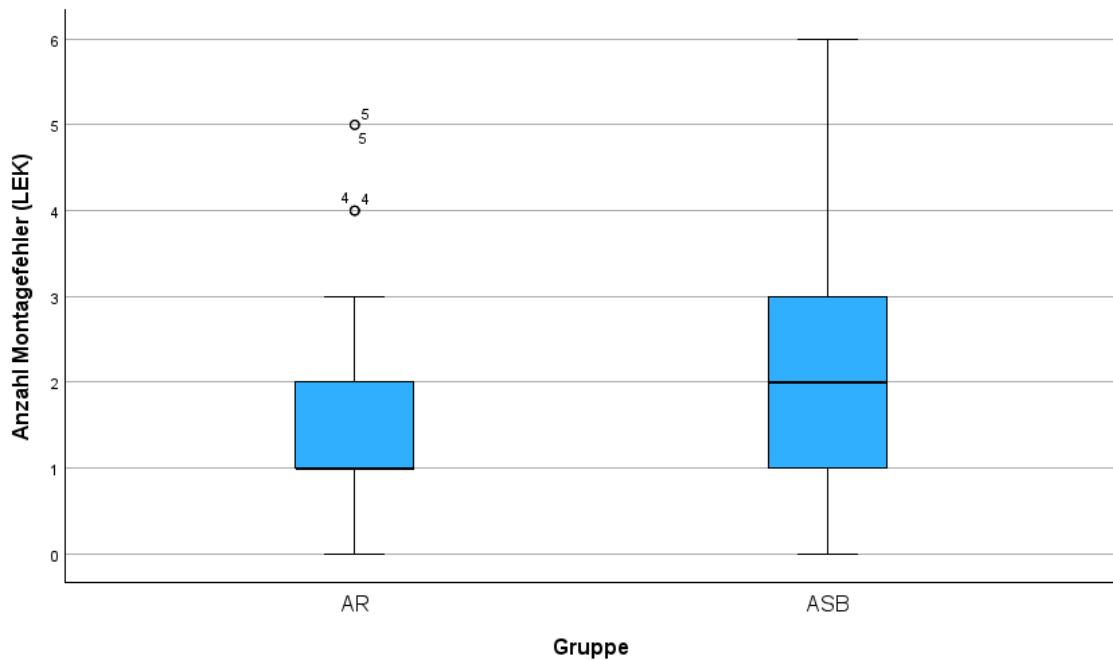


Abbildung 5.4.3-1: Boxplot zu den Montagefehlern (LEK)
Darstellung aus SPSS (o Ausreißer)

Bezogen auf die Experimentalgruppe (AR) liegt der Mittelwert der Montagefehler (LEK) bei 1.76 Fehlern bei einer Standardabweichung von 1.30 (Median: 1 Fehler). Der niedrigste Wert liegt bei null Fehlern, der höchste bei fünf Fehlern (Spannweite: 5). Der Mittelwert der Kontrollgruppe (ASB) liegt bei 2.35 Fehlern bei einer Standardabweichung von 1.38 (Median: 2 Fehler). Der niedrigste Wert liegt hier ebenfalls bei null Fehlern, der höchste Wert bei sechs Fehlern (Spannweite: 6). Innerhalb der Experimentalgruppe wurden 45, innerhalb der Kontrollgruppe 49 gültige Werte erfasst.

Tabelle 5.4.3-1: Teststatistiken zu den Montagefehlern (LEK)
Darstellung aus SPSS

Teststatistiken ^a	
	Montagefehler_LEK
Mann-Whitney-U-Test	831,000
Wilcoxon-W	1866,000
Z	-2,119
Asymp. Sig. (2-seitig)	,034

Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Der Levene-Test deutet mit $p=0.382$ darauf hin, dass die Varianzen der beiden Gruppen gleich sind. Das Ergebnis des Tests ist statistisch nicht signifikant und die Nullhypothese wird nicht verworfen. Der Shapiro-Wilk-Test deutet bei der Experimentalgruppe mit $p=0.001$ und bei der Kontrollgruppe mit $p=0.002$ darauf hin, dass die Daten signifikant von der Normalverteilung abweichen. Der Mann-Whitney U-Test zeigt, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezogen auf die Anzahl der Montagefehler im Rahmen der Lernerfolgskontrolle statistisch signifikant ist ($p=0.034$; $r=0.22$ - *schwacher Effekt*). Die Nullhypothese wird demnach abgelehnt.

Im Rahmen der Korrelation- und Regressionsanalysen wurden Zusammenhänge zwischen der Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle und den personalen Merkmalen der Versuchspersonen bzw. potentiellen Einflussfaktoren untersucht. Ergänzend wurden die Trainingsparameter Observationszeit (*PZeit*), Ausführungszeit (*AZeit*) sowie die Anzahl der Montagefehler während des Montagetrainings und die Nutzung der Handlungsinstruktion (*AVI gesamt* - Gruppe AR) in die Analyse aufgenommen. Zudem erfolgte die Aufnahme der Variable zur Ausführungszeit während der Lernerfolgskontrolle (*Ausführungszeit LEK*).

Bezogen auf die Experimentalgruppe (AR) konnte eine mit $p=0.039$ statistisch signifikante, moderate Korrelation zwischen der Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle und der Anzahl der Montagefehler der dritten Iteration des Montagetrainings (*Fehler_I3*) festgestellt werden ($r=0.309$). Darüber hinaus besteht eine statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen der Fehlerzahl der LEK und der Observationszeit (*PZeit_I3*) innerhalb der dritten Iteration des Montagetrainings ($p=0.034$, $r= -0.317$). Eine weitere statistisch signifikante, negative Korrelation ($p=0.017$; $r= -0.354$) existiert zwischen der Anzahl der Montagefehler (LEK) und der Variable zur Nutzung der Handlungsinstruktion über alle drei Iterationen des Montagetrainings hinweg (*AVI gesamt*). Im Hinblick auf die identifizierten Zusammenhänge zwischen den

Observationszeiten und der Nutzung der Handlungsinstruktion innerhalb der einzelnen Iterationen des Montagetrainings (vgl. Kapitel 5.3.1.2) wurden an dieser Stelle die iterationsspezifischen Variablen zur Nutzung der Handlungsinstruktion (*AVI_I1* bis *AVI_I3*) in die Korrelationsanalyse aufgenommen. Anschließend kann eine statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen der Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle und dem Konsum der Handlungsinstruktion innerhalb der ersten Iteration des Montagetrainings (*AVI_I1*) ermittelt werden ($p=0.012$, $r= -0.372$).

Die Kontrollgruppe betreffend wurden statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle und der Anzahl der Montagefehler während der ersten beiden Iterationen des Montagetrainings (*Fehler_I1*, *Fehler_I2*) ermittelt. Es bestehen signifikante, moderate Korrelationen zwischen den Montagefehlern der LEK und den Fehlern der ersten ($p=0.008$; $r=0.385$) und zweiten Iteration ($p=0.010$; $r=0.365$) des Montagetrainings.

Bezugnehmend auf die Erkenntnisse der Korrelationsanalyse werden die Werte der Observationszeit (*PZeit_I3*) sowie die Fehlerzahl (*Fehler_I3*) der dritten Iteration des Montagetrainings und die Nutzung der Handlungsinstruktion innerhalb der ersten Iteration (*AVI_I1*) in die Regressionsanalyse der Experimentalgruppe aufgenommen. Das Modell zum Einfluss dieser Variablen auf die Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle zeigt in der Modellzusammenfassung mit einem korrigierten R^2 von 0.163 eine moderate Varianzaufklärung ($R^2=0.220$; Standardschätzfehler: 1.189). Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigt, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(3, 41)=3.860$; $p=0.016$). Anhand der Regressionskoeffizienten lässt sich einzig die Variable *AVI_I1* ($p=0.031$; $r= -0.135$) als statistisch signifikanter Prädiktor darstellen. Der Regressionskoeffizient deutet an, dass sich die Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle mit jeder vollständig konsumierten Handlungsinstruktion innerhalb der ersten Iteration des Montagetrainings um 0.14 Fehler reduziert.

Das Modell der Kontrollgruppe zum Einfluss der Montagefehler der ersten beiden Iterationen des Montagetrainings auf die Fehlerzahl der Lernerfolgskontrolle deutet mit einem korrigierten R^2 von 0.031 auf eine schwache Varianzaufklärung hin ($R^2=0.073$; Standardschätzfehler: 1.350). Das Modell ist mit $p=0.188$ statistisch nicht signifikant ($F(2, 44)=1.734$). Anhand der Regressionskoeffizienten wird bestätigt, dass keine der aufgenommenen Variablen (*Fehler_I1* mit $p=0.438$; *Fehler_I2* mit $p=0.178$) einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle beschreibt.

5.4.3.2 Einhaltung der Schrittreihenfolge

Neben den Abweichungen von den definierten Endzuständen, welche als Montagefehler gewertet wurden, erfolgte die Erfassung der Einhaltung der Arbeitsschrittfolge. Hierbei wurde überprüft, ob die während des Montagetrainings vorgegebene Schrittfolge im Rahmen der Lernerfolgskontrolle eingehalten wurde. Erfolgte die Ausführung eines Arbeitsschrittes nicht an der vorgesehenen Position innerhalb der Gesamtstruktur der Arbeitsaufgabe, wurde ein Fehler der Schrittfolge für den entsprechenden Arbeitsschritt hinterlegt (Reihenfolgefehler).

Diese Bewertung erfolgte unabhängig von dem Resultat der Ausführung. Bezogen auf die gesamte Arbeitsaufgabe liegt die höchstmögliche Anzahl für diese Fehlerart bei sieben Fehlern.

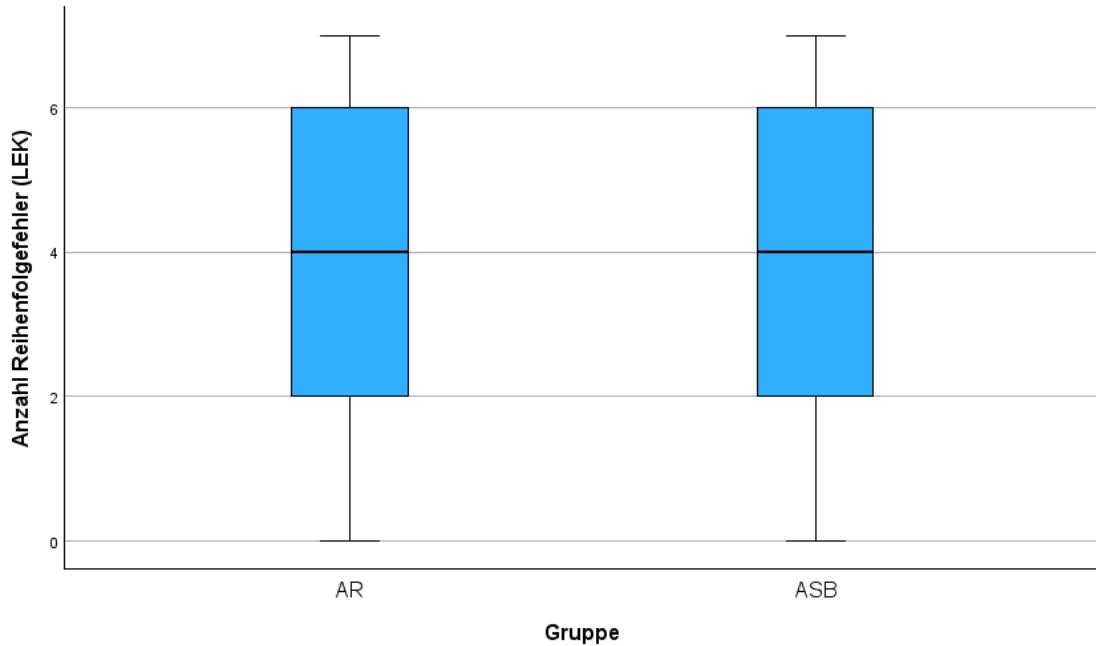


Abbildung 5.4.3-2: Boxplot zu den Reihenfolgefehlern (LEK)
Darstellung aus SPSS

Innerhalb der Experimentalgruppe (AR) liegt der Mittelwert der Reihenfolgefehler bei 3.69 Fehlern bei einer Standardabweichung von 2.20. Der niedrigste Wert liegt bei null Fehlern, der Maximalwert bei sieben Fehlern (Spannweite: 7). Der Mittelwert der Kontrollgruppe (ASB) liegt bei 3.73 Fehlern bei einer Standardabweichung von 2.19. Der Minimalwert liegt ebenfalls bei null Fehlern, der Höchstwert ebenfalls bei sieben Fehlern (Spannweite: 7). Der Median beider Gruppen liegt bei vier Reihenfolgefehlern. Innerhalb der Experimentalgruppe wurden 45, innerhalb der Kontrollgruppe 49 gültige Werte erfasst.

Tabelle 5.4.3-2: Teststatistiken zu den Reihenfolgefehlern (LEK)
Darstellung aus SPSS

Teststatistiken^a

	Reihenfolgefehler _ LEK
Mann-Whitney-U-Test	1095,500
Wilcoxon-W	2320,500
Z	-,054
Asymp. Sig. (2-seitig)	,957

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Nach Durchführung des Levene-Tests wird davon ausgegangen, dass die Varianzen beider Gruppen gleich sind ($p=0.988$). Der Shapiro-Wilk-Test deutet bei der Experimentalgruppe mit $p=0.002$

und bei der Kontrollgruppe mit $p=0.008$ darauf hin, dass die Daten beider Gruppen signifikant von der Normalverteilung abweichen. Der Mann-Whitney U-Test zeigt, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezogen auf die Anzahl der Reihenfolgefehler (LEK) statistisch nicht signifikant ist ($p=0.957$; $r=0.01$ - *sehr schwacher Effekt*). Die Nullhypothese kann nicht abgelehnt werden.

Analog zu den Korrelations- und Regressionsanalysen bezüglich der Montagefehler der Lernerfolgskontrolle wurden Zusammenhänge zwischen den Reihenfolgefehlern der LEK und den personalen Merkmalen der Versuchspersonen bzw. den potentiellen Einflussfaktoren untersucht. Die ermittelten Trainingsparameter bezüglich der Observationszeit (*PZeit*), der Ausführungszeit (*AZeit*) sowie die Anzahl der Montagefehler während des Montagetrainings und die Nutzung der Handlungsinstruktion wurden ergänzend in die Analyse aufgenommen. Darüber hinaus erfolgte die Aufnahme der Variablen zur Ausführungszeit (*Ausführungszeit LEK*) und zur Anzahl der Montagefehler (*Montagefehler LEK*), welche im Rahmen der Lernerfolgskontrolle erfasst wurden.

Bezogen auf die Experimentalgruppe (AR) konnte einzig eine mit $p=0.010$ statistisch signifikante, moderate Korrelation (nach Spearman) zwischen der Anzahl der Reihenfolgefehler und der Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle festgestellt werden ($r=0.379$). Innerhalb der Kontrollgruppe (ASB) besteht ebenfalls eine statistisch signifikante, moderate Korrelation zwischen den Reihenfolgefehlern und den Montagefehlern der Lernerfolgskontrolle ($p=0.032$; $r=0.307$). Des Weiteren liegt eine statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen der Anzahl der Reihenfolgefehler (LEK) und der Observationszeit (*PZeit_I1*) der ersten Iteration des Montagetrainings vor ($p=0.041$; $r= -0.292$). Ergänzend konnte eine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Anzahl der Reihenfolgefehler während der Lernerfolgskontrolle und den medienspezifischen Vorkenntnissen der Versuchspersonen ermittelt werden ($p=0.023$; $r=0.324$).

Basierend auf den Erkenntnissen der Korrelationsanalyse wird die Variable zur Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle (*Montagefehler LEK*) in die Regressionsanalyse der Experimentalgruppe aufgenommen. Das Modell zum Einfluss dieser Variable auf die Anzahl der Reihenfolgefehler während der Lernerfolgskontrolle zeigt in der Modellzusammenfassung mit einem R^2 von 0.149 eine moderate Varianzaufklärung (korrigiertes $R^2=0.129$; Standardschätzfehler: 2.06). Die Varianzanalyse (ANOVA) deutet darauf hin, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(1, 43)=7.507$; $p=0.009$). Die Variable *Montagefehler LEK* lässt sich mit $p=0.009$ als statistisch signifikanter Prädiktor darstellen ($r=0.654$). Der Regressionskoeffizient deutet an, dass sich die Anzahl der Reihenfolgefehler mit jedem zusätzlichen Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle um 0.65 Fehler erhöht. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass beide Werte (Anzahl der Montagefehler, Anzahl der Reihenfolgefehler) simultan innerhalb einer vollständigen Iteration (LEK) entstehen beziehungsweise erfasst werden.

Das Modell der Kontrollgruppe zum Einfluss der Montagefehler (LEK), der Observationszeit innerhalb der ersten Iteration des Montagetrainings sowie der medienbezogenen Vorkenntnisse der Versuchspersonen auf die Anzahl der Reihenfolgefehler während der Lernerfolgskontrolle deutet in der Modellzusammenfassung mit einem korrigierten R^2 von 0.144 auf eine moderate

Varianzaufklärung hin ($R^2=0.197$; Standardschätzfehler: 2.02). Das Modell ist mit $p=0.019$ statistisch signifikant ($F(3, 45)=3.690$). Anhand der Regressionskoeffizienten wird festgestellt, dass die aufgenommenen Variablen *PZeit_I1* ($p=0.695$; $r= -0.004$) und *Vorkenntnisse medienbezogen* ($p=0.145$; $r=0.781$) keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Reihenfolgefehler im Rahmen der Lernerfolgskontrolle beschreiben. Die Variable *Montagefehler LEK* lässt sich mit $p=0.027$ als statistisch signifikanter Prädiktor darstellen ($r=0.491$). Der Regressionskoeffizient deutet an, dass die Anzahl der Reihenfolgefehler mit jedem zusätzlichen Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle um 0.49 Fehler zunimmt. Hierbei ist ebenfalls die simultane Erfassung der beiden Variablen zu beachten.

5.4.4 Nutzung des Hilfsmittels

Als begleitendes Hilfsmittel wurde im Rahmen der Untersuchung ein Medium zur Unterstützung der Lernerfolgskontrolle implementiert. Dieses Medium orientiert sich konzeptionell an den Darstellungen des Kontrollmediums (Text-Bild-Kombination), präsentiert jedoch einzig eine Abbildung des definierten Endzustandes eines Arbeitsschrittes. Die Versuchspersonen entschieden eigenständig über die Nutzung des Mediums im Rahmen der Lernerfolgskontrolle.

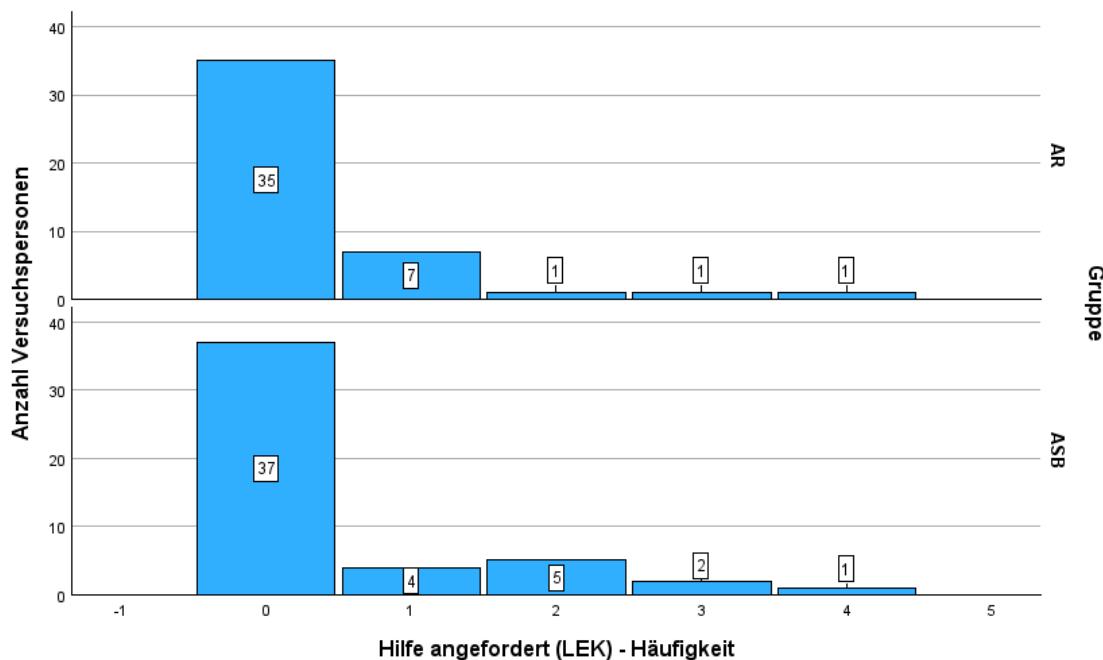


Abbildung 5.4.4-1: Histogramme zur Nutzung des Hilfsmittels (LEK)
Darstellung aus SPSS

Innerhalb der Experimentalgruppe (AR) wurde das LEK-Medium von zehn Personen während der Lernerfolgskontrolle genutzt. In 35 Fällen erfolgte die Bearbeitung der Arbeitsaufgabe ohne die Nutzung des Hilfsmittels ($N=45$). Bei der Kontrollgruppe wurde in zwölf Fällen für mindestens einen Arbeitsschritt die Unterstützung durch das LEK-Medium angefragt. Die verbleibenden 37 Versuchspersonen absolvierten die Lernerfolgskontrolle ohne die Nutzung des Mediums ($N=49$).

Bezogen auf die Experimentalgruppe (AR) liegt der Mittelwert der Nutzung des Hilfsmittels bei 0.36, bei einer Standardabweichung von 0.83. Der niedrigste Wert liegt bei null, der Maximalwert bei vier Anforderungen während der Lernerfolgskontrolle (Spannweite: 4). Der Mittelwert der Kontrollgruppe (ASB) liegt bei 0.49, bei einer Standardabweichung von 0.98. Der Minimalwert liegt ebenfalls bei null, der Höchstwert ebenfalls bei vier Anforderungen (Spannweite: 4). Innerhalb der Experimentalgruppe wurden 45, innerhalb der Kontrollgruppe 49 gültige Werte erfasst. Der Levene-Test deutet an, dass die Varianzen beider Gruppen gleich sind ($p=0.152$). Der Shapiro-Wilk-Test zeigt bei beiden Gruppen mit $p<0.001$, dass die Daten signifikant von der Normalverteilung abweichen. Das Resultat des Mann-Whitney U-Tests deutet darauf hin, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezogen auf die Nutzung des Hilfsmittels (LEK) statistisch nicht signifikant ist ($p=0.660$; $r=0.05$ - *sehr schwacher Effekt*). Die Nullhypothese wird beibehalten.

Tabelle 5.4.4-1: Teststatistiken zur Nutzung des Hilfsmittels (LEK)
Darstellung aus SPSS

Teststatistiken ^a	
	Hilfe_LEK
Mann-Whitney-U-Test	1059,500
Wilcoxon-W	2094,500
Z	-,439
Asymp. Sig. (2-seitig)	,660

a. Gruppenvariable: Gruppe (AR/ASB)

Im Rahmen der Korrelationsanalyse konnten innerhalb beider Gruppen statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Nutzung des Hilfsmittels und der Ausführungszeit der Lernerfolgskontrolle ermittelt werden. Bezogen auf die Experimentalgruppe besteht eine mit $p=0.007$ statistisch signifikante, moderate Korrelation zwischen den beiden Variablen ($r=0.399$). Darüber hinaus kann eine statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen der Nutzung des Hilfsmittels und der subjektiven Zustimmung hinsichtlich der Lernzielstufe des eigenständigen Nachvollzugs (Selbsteinschätzung) festgestellt werden ($p=0.22$; $r= -0.342$). Innerhalb der Kontrollgruppe besteht eine statistisch signifikante, starke Korrelation zwischen der Anzahl der angeforderten Hilfen und der Ausführungszeit der Lernerfolgskontrolle ($p<0.001$; $r=0.533$). Ergänzend konnte eine statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen der Nutzung des Hilfsmittels während der Lernerfolgskontrolle und der Berufsgruppe der Versuchspersonen ermittelt werden ($p=0.047$; $r= -0.297$).

Basierend auf den Erkenntnissen der Korrelationsanalyse werden die Variablen zur Ausführungszeit während der Lernerfolgskontrolle (*Ausführungszeit LEK*) sowie zur Selbsteinschätzung des eigenständigen Nachvollzugs (*SBAa*) in die Regressionsanalyse der Experimentalgruppe aufgenommen. Das Modell zum Einfluss dieser Variablen auf die Nutzung des Hilfsmittels während der Lernerfolgskontrolle deutet in der Modellzusammenfassung mit einem korrigierten R^2 von

0.125 auf eine schwache Varianzaufklärung hin ($R^2=0.165$; Standardschätzfehler: 0.78). Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigt, dass der Effekt signifikant von null abweicht ($F(2, 42)=4.145$; $p=0.023$). Die Regressionskoeffizienten deuten mit $p=0.406$ (*Ausführungszeit LEK*) beziehungsweise mit $p=0.068$ (Einschätzung zum eigenständigen Nachvollzug) darauf hin, dass keine der aufgenommenen Variablen einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Nutzung des Hilfsmittels beschreibt. Eine stark ausgeprägte Autokorrelation sowie eine Multikollinearität werden nach Sichtung der Durbin-Watson- bzw. der Kollinearitätsstatistik nicht vermutet.

Das Modell der Kontrollgruppe zum Einfluss der Ausführungszeit (LEK) sowie der Berufsgruppe der Versuchspersonen auf die Nutzung des Hilfsmittels während der Lernerfolgskontrolle deutet in der Modellzusammenfassung mit einem korrigierten R^2 von 0.474 eine starke Varianzaufklärung an ($R^2=0.498$; Standardschätzfehler: 0.74). Das Modell ist mit $p<0.001$ statistisch signifikant ($F(2, 42)=20.794$), wobei sich einzig die Variable *Ausführungszeit LEK* als signifikanter Prädiktor darstellt ($p<0.001$; $r=0.019$). Der Regressionskoeffizient deutet darauf hin, dass die Anzahl der angefragten Hilfen während der Lernerfolgskontrolle mit jeder zusätzlichen Zeiteinheit (pro Sekunde) der Ausführungszeit (LEK) im Schnitt um 0.02 Anfragen zunimmt.

6 Interpretation und Diskussion

In diesem Kapitel erfolgt basierend auf den Erkenntnissen der Datenauswertung (Kapitel 5) die Diskussion und Interpretation der im Vorfeld definierten forschungsleitenden Fragestellungen (Kapitel 4). In Anbetracht der Erkenntnis, dass Qualifizierungsprozesse im Umfeld der industriellen Montage eine heterogene Zielgruppe adressieren, wird zunächst erörtert, ob im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eine entsprechende Heterogenität hinsichtlich der Ausprägung einzelner personaler Merkmale abgebildet wird und ob bezüglich dieser Merkmale Unterschiede zwischen beiden Gruppen bestehen. Im Anschluss wird auf die dargestellten forschungsleitenden Fragestellungen sowie auf die entsprechenden Hypothesen eingegangen.

6.1 Repräsentation der Zielgruppe

Die Repräsentation der Zielgruppe wird anhand der Ausprägung sowie der Verteilung einzelner personaler Merkmale der Versuchspersonen diskutiert (vgl. Kapitel 5.1.). Die Zielgruppe (Mitarbeitende der manuellen Serienmontage) ist durch eine heterogene Ausprägung soziodemografischer Aspekte sowie durch unterschiedliche formale Qualifikationen und individuelle Vorkenntnisse charakterisiert (vgl. Wischmann und Hartmann 2018, S. 75; Gerschner et al. 2017, S. 310 f.). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erfolgte die gezielte Aufnahme einzelner personaler Merkmale, welche gleichzeitig potentielle Einflussgrößen auf den Lerntransfer der Versuchspersonen abbilden. An dieser Stelle wird zunächst die Heterogenität der Ausprägung personaler Merkmale (Alter, Geschlecht, Bildung, Leistungsmotiv und Selbstwirksamkeit) sowie der definierten aufgaben- und medienbezogenen Vorkenntnisse der Versuchspersonen diskutiert. Basierend auf den Ergebnissen der Dependenzanalysen werden im Anschluss Unterschiede hinsichtlich dieser Merkmale zwischen der Experimental- und der Kontrollgruppe erörtert.

6.1.1 Heterogenität

Zur Diskussion der Heterogenität der Ausprägung personaler Merkmale sowie der definierten aufgaben- und medienbezogenen Vorkenntnisse der Versuchspersonen wird an dieser Stelle überwiegend auf die Dispersions- und Lagemaße der quantitativen Datenauswertung eingegangen.

Das Alter der insgesamt 104 Versuchspersonen liegt zwischen 20 und 58 Jahren bei einem Durchschnittsalter von 35.59 Jahren ($SD=9.24$). Diese abgebildete Altersspanne entspricht der für Produktions- beziehungsweise Montagebereiche besonders relevanten Altersgruppe zwischen 20 und 60 Jahren (vgl. Lotter und Wiendahl 2012, S. 419). Es liegt ein weitestgehend ausgeglichenes Verhältnis zwischen männlichen (48.1%) und weiblichen (51.9%) Versuchspersonen vor. Hinsichtlich der höchsten Bildungsabschlüsse sind unter den Versuchspersonen alle einbezogenen schul- und berufsqualifizierende Abschlüsse des polnischen Bildungssystems vertreten.

Den größten Anteil (89.42%) bilden hierbei die drei Abschlüsse *Szkoła zawa-dowa* (≈ berufsbildende Schule), *Liceum ogólnokształcące* (≈ allgemeinbildendes Gymnasium) und *Technikum* (≈ technische Oberschule bzw. Techniker). Bezogen auf die in weiten Teilen verfügbaren ergänzenden Informationen zur fachlichen Ausrichtung (technisch oder nicht technisch) der angegebenen Abschlüsse sind mit 44.09 Prozent *technische* und mit 55.91 Prozent *nicht technische* Berufsbilder vertreten.

Neben einzelnen soziodemographischen Daten wurden Angaben bezüglich der aufgaben- und medienbezogenen Vorkenntnisse der Versuchspersonen erfasst. Die Skala zur Erfassung der aufgabenbezogenen Vorkenntnisse umfasst drei Items, die Skala zur Erfassung der medienbezogenen Vorkenntnisse umfasst fünf Items. Bei allen Items der beiden Skalen wurde sowohl die höchste als auch die niedrigste Merkmalsausprägung von den Versuchspersonen angegeben (Spannweite=3). Diese Beobachtung bestätigt die erwartete Heterogenität bezüglich der Ausprägung medienbezogener sowie aufgabenbezogener Vorkenntnisse. Das Resultat des vorgelagerten Montage- und Werkzeugtests beschreibt eine erreichbare Maximalpunktzahl von 20 Punkten. Bei den Versuchspersonen konnten gruppenübergreifend Werte zwischen 10 und 20 Punkten beobachtet werden (Spannweite=10). Der Mittelwert liegt bei 13.29 Punkten. Die Daten des Montage- und Werkzeugtests weichen statistisch signifikant von der Normalverteilung ab. Diese Beobachtungen werden ebenfalls als Bestätigung der vermuteten Heterogenität bezüglich aufgabenbezogener Vorkenntnisse eingeordnet.

Ergänzend, ebenfalls im Sinne potentieller Einflussfaktoren bezogen auf den Lerntransfer, wurde die Ausprägung des expliziten Leistungsmotivs (Motivationserfassung) sowie der allgemeinen Selbstwirksamkeit als personale Merkmale der Versuchspersonen erfasst. Hinsichtlich der ermittelten Ausprägung des Netto-Erfolgs (explizites Leistungsmotiv), welcher die Differenz aus dem HE-Wert und dem FM-Wert bildet, können Werte zwischen -7 und +15 Punkten beobachtet werden (Mittelwert: 4.65 Punkte). Bei einem für den Netto-Wert möglichen Punktebereich zwischen -15 und +15 Punkten liegt demnach eine Spannweite von 22 Punkten vor. Der Gesamtwert der allgemeinen Selbstwirksamkeit beschreibt einen Wertebereich zwischen 6 und 24 Punkten. Bei einem Mittelwert von 18.82 Punkten konnten Ausprägungen sowohl im Bereich des Maximal- als auch im Bereich des Minimalwertes beobachtet werden (Minimum: 9; Maximum: 24). Die hohe Spannweite (15 Punkte) sowie die statistisch signifikante Abweichung der Daten von der Normalverteilung stehen repräsentativ für die Heterogenität bezüglich der Ausprägung dieses personalen Merkmals.

Hinsichtlich der einbezogenen soziodemographischen Angaben, einzelnen medien- und aufgabenbezogenen Vorkenntnissen sowie des expliziten Leistungsmotivs und der allgemeinen Selbstwirksamkeit konnten heterogene Merkmalsausprägungen der Versuchspersonen festgestellt werden. Diese Beobachtung bestätigt die Erwartung einer heterogenen Zielgruppe im Umfeld der manuellen Serienmontage (vgl. Gerschner et al. 2017, S. 310 f.). Es wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eine charakteristische Heterogenität in Bezug auf die Ausprägung soziodemografischer sowie kompetenzorientierter Fak-

toren dargestellt werden konnte. Diese Beobachtung wird insbesondere auf die gewählte Untersuchungsform (Feldexperiment) zurückgeführt, welche den Einbezug von Versuchspersonen ermöglicht, die der definierten Zielgruppe entstammen.

6.1.2 Gruppenzusammensetzung

Nachdem die Heterogenität bezüglich einzelner personaler Merkmale der Versuchspersonen aufgezeigt werden konnte, wird an dieser Stelle die Verteilung dieser Merkmale auf die beiden Gruppen der empirischen Untersuchung diskutiert.

Bezüglich der soziodemographischen Angaben zum Alter, Geschlecht und höchsten Bildungsabschluss der Versuchspersonen konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe festgestellt werden. In beiden Gruppen liegen weibliche sowie männliche Versuchspersonen zu gleichen Anteilen vor. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Alters (Mittelwert und Median) bei gleichen Varianzen. Die einbezogenen schul- und berufsqualifizierenden Abschlüsse liegen in beiden Gruppen zu vergleichbaren Anteilen vor. Die drei Abschlüsse *Szkoła zowo-dowa* (≈ berufsbildende Schule), *Liceum ogólnokształcące* (≈ allgemeinbildendes Gymnasium) und *Technikum* (≈ technische Ober- schule bzw. Techniker) überwiegen in beiden Gruppen ebenfalls zu ähnlichen Anteilen. Zudem bestehen bezüglich des Vorkommens technischer und nicht-technischer Berufsprofile keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Bezogen auf die Ausprägungen der allgemeinen Selbstwirksamkeit sowie des expliziten Leistungsmotivs bestehen ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

Analog wurden im Rahmen der Dependenzanalysen Unterschiede zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Ausprägungen aufgaben- und medienbezogener Vorkenntnisse untersucht (vgl. Kapitel 5.1.2). Bezogen auf die drei Items der aufgabenbezogenen Vorkenntnisse sowie auf das Resultat des Werkzeug- und Montagetests konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen identifiziert werden. Gleichermaßen bestehen hinsichtlich der fünf Items zur Ausprägung medienbezogener Vorkenntnisse keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe.

Basierend auf den Erkenntnissen der Dependenzanalysen wird zusammenfassend davon ausgegangen, dass bezogen auf die soziodemographischen Daten (Alter, Geschlecht, Bildung), die ergänzenden personalen Merkmale (Selbstwirksamkeit und Leistungsmotiv) sowie hinsichtlich der aufgaben- und medienbezogenen Vorkenntnisse der Versuchspersonen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen bestehen (vgl. Kapitel 5.1). Dieser Befund kann bei der Interpretation potentieller Ursache-Wirkungszusammenhänge berücksichtigt werden.

6.2 Forschungsleitende Fragen

In Anlehnung an die zentrale Fragestellung nach der Wirksamkeit von AR-basierten Lehr-Lern-Anwendungen innerhalb betrieblicher Lernprozesse der manuellen Serienmontage wurden gegenstandsspezifische, forschungsleitende Fragen formuliert (vgl. Kapitel 4.1). Die vier forschungsleitenden Fragestellungen richten sich an den vier Untersuchungsgegenständen des Lernverhaltens, des Lernerfolgs, der Wahrnehmung der Versuchspersonen sowie der Wirkung einzelner AR-basierter Elemente aus und wurden durch die Bildung mehrerer Hypothesen spezifiziert. Bezugnehmend auf die zuvor dargestellten Untersuchungsergebnisse (vgl. Kapitel 5) werden an dieser Stelle die vier forschungsleitenden Fragestellungen und die dazugehörigen Hypothesen erörtert.

6.2.1 Forschungsleitende Frage 1: Lernverhalten

Basierend auf den Erkenntnissen der Datenauswertung (vgl. Kapitel 5) kann an dieser Stelle auf die zuvor formulierte Fragestellung und die abgeleiteten Hypothesen (vgl. Kapitel 4.1) bezüglich des Lernverhaltens beider Gruppen eingegangen werden. Bei der Analyse des Lernverhaltens werden zunächst die Variablen der Observationszeit (Hypothese 1.1), der Ausführungszeiten (Hypothese 1.2) sowie der Montagefehler (Hypothese 1.3) während des Montagetrainings betrachtet. Im Anschluss erfolgt die Analyse der Ergebnisse der Korrelations- und Regressionsverfahren unter Einschluss personaler Merkmale (Hypothese 1.4). Im Rahmen der Analyse bestehender Zusammenhänge wird ergänzend das Vorkommen von Trainingsabbrüchen diskutiert.

6.2.1.1 Observationszeiten

Bezogen auf die Observationszeiten der motorisch-passiven Phase des Montagetrainings konnte über alle drei Iterationen hinweg keine Varianzgleichheit zwischen beiden Gruppen festgestellt werden. Innerhalb der Experimentalgruppe kann iterationsübergreifend eine höhere Varianz beobachtet werden. Während der ersten beiden Iterationen können statistisch signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen ermittelt werden. Die Observationszeiten der Experimentalgruppe liegen bei einem starken Effekt signifikant über den Werten der Kontrollgruppe. Innerhalb der dritten Iteration des Montagetrainings besteht weiterhin ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen, jedoch bei einer mittleren Effektstärke (vgl. Kapitel 5.3.1.1).

Die durchgängig höhere Observationszeit der Experimentalgruppe kann durch den Konsum der dargebotenen Handlungsinstruktion des AR-basierten Lernmediums erklärt werden. Innerhalb der ersten Iteration des Montagetrainings konsumierten die Versuchspersonen die arbeitsschrittspezifischen Handlungsinstruktionen am häufigsten (Median: 5). Innerhalb der ersten Iteration besteht durch die individuelle Nutzungsintensität der Instruktion (Spannweite: 14) zudem die höchste Varianz der Instruktionsnutzung. Durch diese Beobachtung kann die hohe Varianz bezüglich der Observationszeit erklärt werden (vgl. Kapitel 5.3.1.2). Bestätigt wird diese Vermutung durch die Analyse der Korrelationskoeffizienten. Die Korrelationskoeffizienten beschreiben kontinuierlich einen starken, positiven Zusammenhang zwischen den Observationszeiten und

der Nutzung der Handlungsinstruktion (*Instruction Overlay* bzw. *Action AVI*). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Versuchspersonen der Experimentalgruppe (AR) den zeitlichen Abschnitt vor der ersten aktiven Ausführung am Montageobjekt (Observationszeit) überwiegend für den Konsum der dargebotenen Handlungsinstruktionen nutzten. Den Versuchspersonen der Kontrollgruppe stand keine entsprechende Handlungsinstruktion zur Verfügung (digitalisierte Text-Bild-Kombination). Die dargestellten Erkenntnisse hinsichtlich der Observationszeiten des Montagetrainings bilden bereits erste Befunde bezüglich der vierten forschungsleitenden Fragestellung ab und werden demnach im späteren Verlauf der Arbeit vertieft diskutiert (vgl. Kapitel 6.2.4).

6.2.1.2 Ausführungszeiten

Die Ausführungszeiten der Experimentalgruppe liegen über alle drei Iterationen des Montagetrainings hinweg im Mittel unterhalb der Werte der Kontrollgruppe. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der Ausführungszeiten ist bei einem schwachen Effekt statistisch nicht signifikant. Die Handlungsinstruktion des AR-basierten Lernmediums bildet die Ausführung der einzelnen Arbeitsschritte mit einer langsamen bis moderaten Ausführungsgeschwindigkeit ab. Trotz dieser ersten zeitlichen Referenz, welche ausschließlich den Versuchspersonen der Experimentalgruppe zur Verfügung stand, konnten hinsichtlich der Ausführungszeiten der Arbeitsschritte während des Montagetrainings keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen ermittelt werden.

6.2.1.3 Montagefehler

Die durchschnittliche Fehlerzahl der Experimentalgruppe liegt über alle Iterationen des Montagetrainings hinweg unterhalb der Werte der Kontrollgruppe. Innerhalb der zweiten sowie der dritten Iteration lässt sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Fehlerzahl bei einem mittleren Effekt feststellen. Es wird vermutet, dass dieser Befund auf die systemgenerierte Fehleridentifikation der AR-basierten Anwendung zurückgeführt werden kann. Versuchspersonen der Experimentalgruppe werden durch das Lernmedium nach der eigenen Ausführung auf bestehende Montagefehler hingewiesen und erhalten anschließend erneut eine Instruktion zur korrekten Ausführung. Folglich besteht die Vermutung, dass begangene Fehler im Verlauf des Montagetrainings seltener reproduziert werden. Versuchspersonen der Kontrollgruppe werden hingegen nicht systemgestützt auf eigene Montagefehler hingewiesen. Erst durch den erneuten Abgleich der Zielzustände innerhalb nachfolgender Iterationen können Fehler selbstständig identifiziert bzw. reflektiert werden. Die Gefahr einer Fehlerreproduktion wird daher, verglichen mit der Experimentalgruppe, als höher eingestuft.

6.2.1.4 Zusammenhänge des Lernverhaltens

Bezogen auf die **Observationszeiten** konnten innerhalb beider Gruppen statistisch signifikante Zusammenhänge mit einzelnen personalen Merkmalen der Versuchspersonen ermittelt werden. Bei der Experimentalgruppe wurden statistisch signifikante Korrelationen zwischen den Observationszeiten und der Ausprägung der Selbstwirksamkeit (GSE) sowie den medien- und aufgabenbezogenen Vorkenntnissen beobachtet. Einen signifikanten Einfluss beschreiben hierbei

der GSE-Wert (Iteration 1) und die medienbezogenen Vorkenntnisse (Iteration 2) der Versuchspersonen. Es wird davon ausgegangen, dass höhere Ausprägungen dieser Variablen eine niedrigere Observationszeit begünstigen.

Bei der Kontrollgruppe konnte eine höhere Anzahl statistisch signifikanter Korrelationen bezogen auf die Observationszeit festgestellt werden. Es bestehen signifikante Korrelationen zwischen den Observationszeiten und den Variablen des allgemeinen Leistungsmotivs (AMS), der Selbstwirksamkeit (GSE), der Usability (SUS) sowie der medienbezogenen Vorkenntnisse der Versuchspersonen. Innerhalb der dritten Iteration liegen zudem Korrelation zwischen der Observationszeit und dem Alter sowie dem Geschlecht der Versuchspersonen vor. Als statistisch signifikante Einflussgrößen konnten im Rahmen der Regressionsanalyse die medienspezifischen Vorkenntnisse sowie die Ausprägung des expliziten Leistungsmotivs bestätigt werden. Eine höhere Ausprägung dieser Merkmale wird mit einer niedrigeren Observationszeit assoziiert. Explizit für die Observationszeit der dritten Iteration bildet das Geschlecht und das Alter der Versuchspersonen einen signifikanten Einfluss ab. Es wird davon ausgegangen, dass die Observationszeit mit steigendem Alter zunimmt und bei weiblichen Versuchspersonen im Schnitt niedriger ist als bei männlichen Versuchspersonen.

Es ist festzustellen, dass medienbezogene Vorkenntnisse innerhalb beider Gruppen einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Observationszeit abbilden. Für die Experimentalgruppe kann ergänzend die Ausprägung der allgemeinen Selbstwirksamkeit als signifikante Einflussgröße bestätigt werden. Innerhalb der Kontrollgruppe wird die Ausprägung des Leistungsmotivs sowie das Alter und das Geschlecht der Versuchspersonen ergänzt. Hierbei fällt auf, dass einzig in der Kontrollgruppe das Dispositionsmerkmal *Alter* sowie das Konstitutionsmerkmal *Geschlecht* einen signifikanten Einfluss abbilden. Dieser Befund kann innerhalb der Experimentalgruppe nicht bestätigt werden.

Bezugnehmend auf die **Ausführungszeiten** konnten ebenfalls innerhalb beider Gruppen statistisch signifikante Zusammenhänge mit einzelnen personalen Merkmalen der Versuchspersonen ermittelt werden. Zudem bestehen signifikante Zusammenhänge zwischen den Ausführungszeiten und den Observationszeiten der einzelnen Handlungsiterationen. Bei der Experimentalgruppe wurden statistisch signifikante Korrelationen zwischen den Ausführungszeiten und der Selbstwirksamkeit (AMS Netto), den aufgabenbezogenen Vorkenntnissen, den Angaben zur situativ empfundenen Arbeitsbelastung (NASA gesamt) sowie der Berufsgruppe und dem Geschlecht der Versuchspersonen beobachtet. Bezogen auf diese personalen Merkmale beschreibt einzig die Variable *Geschlecht* einen signifikanten Einfluss auf die Ausführungszeit der ersten Iteration. Es wird davon ausgegangen, dass die Ausführungszeiten weiblicher Versuchspersonen im Durchschnitt höher sind als die Zeiten der männlichen Versuchspersonen. Auffällig ist, dass innerhalb der ersten Iteration eine signifikante Einflussgröße (Geschlecht) sowie signifikante Korrelationen mit vier der zehn erfassten personalen Merkmale (AMS Netto, aufgabenbezogene Vorkenntnisse, Geschlecht, Alter) bestehen. Das Regressionsmodell dieser Iteration bietet die höchste Varianzaufklärung. Innerhalb der zweiten Iteration beschreibt lediglich die Observati-

onszeit (*PZeit_12*) eine signifikante Korrelation beziehungsweise einen signifikanten Einflussfaktor (Prädiktor). Innerhalb der dritten Iteration bestehen statistisch signifikante Korrelationen mit den Variablen der empfundenen Arbeitsbelastung (positiver Zusammenhang) sowie der Berufsgruppe der Versuchspersonen.

Bei der Kontrollgruppe wurden innerhalb der ersten beiden Iterationen identische Zusammenhänge festgestellt. Sowohl innerhalb der ersten Iteration als auch innerhalb der zweiten Iteration bestehen signifikante Korrelationen zwischen der Ausführungszeit und sechs der zehn erfassten potentiellen Einflussfaktoren (AMS Netto, Usability, aufgaben- und medienbezogene Vorkenntnisse, Ergebnis des Montagetestes, Alter). Zudem besteht ein kontinuierlicher Zusammenhang zwischen den Observationszeiten und den sich anschließenden Ausführungszeiten der drei Iterationen. Eine höhere Observationszeit wird mit einer höheren Ausführungszeit assoziiert. Einen signifikanten Einfluss auf die Observationszeit bilden die Variablen *Alter* (erste Iteration) und *AMS Netto* (zweite Iteration) ab. Innerhalb der ersten Iteration wird davon ausgegangen, dass sich mit steigendem Alter der Versuchspersonen die Observationszeit erhöht. Eine höhere Ausprägung der allgemeinen Selbstwirksamkeit führt innerhalb der zweiten Iteration zu niedrigeren Ausführungszeiten.

Bemerkenswert erscheinen bei diesen Erkenntnissen insbesondere die Unterschiede zwischen beiden Gruppen bezüglich der Anzahl der signifikanten Zusammenhänge mit den personalen Merkmalen der Versuchspersonen sowie deren Vorkommen im Verlauf des Montagetrainings (Iteration 1 bis Iteration 3). Die Mehrzahl der signifikanten Zusammenhänge kann im Fall der Experimentalgruppe innerhalb der ersten Iteration festgestellt werden. Innerhalb der zweiten Iteration bestehen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den personalen Merkmalen und der Ausführungszeit. Bezogen auf die Kontrollgruppe kann eine höhere Anzahl an signifikanten Zusammenhängen zwischen der Ausführungszeit und den personalen Merkmalen sowie den individuellen Wahrnehmungen festgestellt werden. Zudem bestehen diese Zusammenhänge konstant innerhalb der ersten beiden Handlungsiterationen des Montagetrainings. Darüber hinaus kann betont werden, dass einzig innerhalb der Kontrollgruppe signifikante Zusammenhänge zwischen den Ausführungszeiten und den medienbezogenen Variablen bestehen. Höhere Ausprägungen der medienbezogenen Vorkenntnisse beziehungsweise des empfundenen Nutzens des Lernmediums (Usability) werden niedrigeren Ausführungszeiten zugeordnet. Aufgabenbezogene Vorkenntnisse sowie die Ausprägung der allgemeinen Selbstwirksamkeit bilden in beiden Gruppen signifikante Zusammenhänge ab. Es wird an dieser Stelle vermutet, dass die abgebildeten Funktionalitäten des AR-basierten Lernmediums dazu beitragen können, insbesondere bei den ersten Handlungsausführungen die Relevanz potentieller personaler Einflussfaktoren zu reduzieren.

Bei der Analyse der **Montagefehler** konnten bezogen auf die Experimentalgruppe über alle Iterationen hinweg statistisch signifikante, positive Korrelationen zwischen den Ausführungszeiten und der Anzahl der Montagefehler ermittelt werden. Der Einfluss dieser Variable bestätigte sich im Rahmen der Regressionsanalysen. Dieser Effekt wird auf die geleitete, obligatorische Fehlerbehebung des AR-basierten Medium zurückgeführt. Versuchspersonen der Experimentalgruppe

werden durch das Lernmedium nach jedem Arbeitsschritt auf bestehende Montagefehler hingewiesen und zur Fehlerkorrektur angeleitet. Ein Fortschreiten zum nachfolgenden Arbeitsschritt ohne die Korrektur eines identifizierten Fehlers ist nicht möglich. Zudem besteht innerhalb der zweiten Iteration ein signifikanter Einfluss der Variable *Geschlecht*. Innerhalb dieser Iteration wird weiblichen Versuchspersonen durchschnittlich eine höhere Fehlerzahl als männlichen Versuchspersonen zugeordnet. Dieser signifikante Einfluss der Variable *Geschlecht* wird innerhalb der Kontrollgruppe nicht bestätigt, wenngleich in dieser Gruppe signifikante Zusammenhänge zwischen der Fehlerzahl und den personenbezogenen Variablen der *Usability*, der *Berufsgruppe* (Iteration 1) sowie dem *Geschlecht* der Versuchspersonen (Iteration 3) ermittelt wurden.

Im Rahmen der empirischen Untersuchung kam es im Verlauf des Montagetrainings vereinzelt zu **Trainingsabbrüchen** durch Versuchspersonen (vgl. Kapitel 5.3.2.3). Auffällig hierbei ist die Tatsache, dass drei der vier Fälle innerhalb der Kontrollgruppe dokumentiert wurden. Bei der Analyse der Versuchspersonen, die das Montagetraining ohne externe Unterstützung nicht fortsetzen konnten, wurden statistisch signifikante Unterschiede zu Versuchspersonen ohne Trainingsabbruch hinsichtlich der Variablen *Alter*, *SUS-Wert* und *Vorkenntnisse medienbezogen* festgestellt. Bei dem Alter der Versuchspersonen und den medienbezogenen Vorkenntnissen kann ein starker Effekt ermittelt werden. Bezuglich der Ausprägung dieser Merkmale bestehen zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede (vgl. Kapitel 5.1 und 5.2). Es wird daher vermutet, dass insbesondere Personen höheren Alters oder mit gering ausgeprägten medienbezogenen Vorkenntnissen von der Nutzung der hier abgebildeten AR-basierten Anwendung profitieren und die Anzahl der Trainingsabbrüche bei dieser Personengruppe durch ein entsprechendes Lernmedium reduziert werden kann. Zudem kann dieser Befund als Indikator für die Eignung eines derartigen Lernmediums zum Einsatz innerhalb überwiegend selbstgesteuerter Lern- beziehungsweise Übungsphasen dienen.

6.2.2 Forschungsleitende Frage 2: Lernerfolg

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Datenauswertung (vgl. Kapitel 5) werden in diesem Kapitel die zuvor formulierten Fragestellung und die abgeleiteten Hypothesen (vgl. Kapitel 4.1) bezüglich des Lernerfolgs beider Gruppen diskutiert. Zunächst werden die Resultate der Selbsteinschätzung (Hypothese 2.1) und der Lernerfolgskontrolle (Hypothesen 2.2 bis 2.4) analysiert. Im Anschluss erfolgt die Diskussion der Ergebnisse der Korrelations- und Regressionsverfahren unter Einschluss personaler Merkmale und Wahrnehmungen der Versuchspersonen (Hypothese 2.5).

6.2.2.1 Selbsteinschätzung

Bezogen auf die Angaben zu den beiden Items der Selbsteinschätzung (eigenständiger und geleiteter Nachvollzug) konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen ermittelt werden. Es ist jedoch festzustellen, dass bezogen auf die Lernzielstufe des eigenständigen Nachvollzugs ein größerer Anteil der Experimentalgruppe (84.44%) die beiden

höchsten Ausprägungen *stimme zu* oder *stimme eher zu* auswählte. Innerhalb der Kontrollgruppe sind diese Ausprägungen bei 77.55 Prozent der Versuchspersonen zu beobachten. Umgekehrt verhält es sich bezüglich der Angaben zum geleiteten Nachvollzug. Mit 75.51 Prozent wählte innerhalb der Kontrollgruppe ein höherer Anteil der Versuchspersonen, verglichen mit der Experimentalgruppe (56.82%), eine der beiden höchsten Ausprägungen. In diesem Kontext erscheint es nachvollziehbar, dass 27.27 Prozent der Experimentalgruppe (Kontrollgruppe: 16.33%) eine niedrige Ausprägung (*stimme nicht zu* oder *stimme eher nicht zu*) hinsichtlich dieser Lernzielstufe angegeben haben. Es wird davon ausgegangen, dass eine hohe Ausprägung der höheren Lernzielstufe (eigenständiger Nachvollzug) zu einer niedrigeren Ausprägung der niedrigeren Lernzielstufe (geleiteter Nachvollzug) führt. Basierend auf den vorliegenden Untersuchungsergebnissen lassen sich demnach Tendenzen vermuten, dass durch den Einsatz des entwickelten AR-basierten Lernmediums bei identischem Lernumfang und Lernzeiten von einem höheren Anteil der Versuchspersonen die subjektiv empfundene höhere Lernzielstufe erreicht werden kann.

6.2.2.2 Ausführungszeiten

Im Hinblick auf die Ausführungszeiten, die im Rahmen der Lernerfolgskontrolle erfasst wurden, konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen festgestellt werden. Zudem sind vergleichbare Minimal- und Maximalwerte innerhalb beider Gruppen zu beobachten. Der Mittelwert der Kontrollgruppe liegt mit 134.03 Sekunden über dem Mittelwert der Experimentalgruppe (124.94 Sekunden). Innerhalb der Experimentalgruppe konnten demnach vergleichbare, im Mittelwert niedrigere Ausführungszeiten erzielt werden. Bei der Analyse der Ausführungszeiten der Lernerfolgskontrolle wurden zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit ausschließlich vollständige Ausführungen berücksichtigt (vgl. Kapitel 5.4.2). Ausführungen, bei denen komplett Arbeitsschritte oder einzelne Teilschritte innerhalb eines Arbeitsschrittes ausgelassen wurden, fanden keine Berücksichtigung bei der Analyse der Ausführungszeit. Innerhalb der Experimentalgruppe wurden 20.0 Prozent der Ausführungen als nicht vollständig gewertet. Innerhalb der Kontrollgruppe konnten 30.6 Prozent der Ausführungen auf Grund nicht ausgeführter Arbeitsschritte oder Teilschritte nicht gewertet werden. Demnach wurden im Rahmen der Lernerfolgskontrolle innerhalb der Kontrollgruppe häufiger komplett Arbeitsschritte oder zumindest Teilschritte ausgelassen als innerhalb der Experimentalgruppe. Es besteht jedoch kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Gruppenzugehörigkeit (AR/ASB) und der Anzahl der vollständigen Ausführungen während der Lernerfolgskontrolle.

6.2.2.3 Fehleraufkommen

Bei der Fehleranalyse der Lernerfolgskontrolle wurde zwischen Abweichungen vom definierten Arbeitsergebnis eines Arbeitsschrittes (Montagefehler) und Abweichungen von der vorgegebenen Schrittfolge der Arbeitsschritte (Reihenfolgefehler) differenziert. Im Rahmen der Analyse der Montagefehler wurde ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt. Innerhalb der Experimentalgruppe können im Durchschnitt 1.76 Fehler

(Median: 1 Fehler), innerhalb der Kontrollgruppe 2.35 Fehler (Median: 2 Fehler) beobachtet werden. Der Maximalwert der Experimentalgruppe liegt bei fünf Fehlern, der Maximalwert der Kontrollgruppe bei sechs Fehlern.

Bezogen auf die Einhaltung der Schrittreihenfolge konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ermittelt werden. Die durchschnittliche Anzahl der beobachteten Reihenfolgefehler bewegt sich auf einem vergleichbaren Niveau (EG: 3.69 Fehler; KG: 3.73 Fehler), bei identischen Minimal- und Maximalwerten.

Begründet durch die niedrige Iterationszahl beziehungsweise durch die geringe Übungszeit, kann kein gefestigtes Handlungsmuster erwartet werden. Die vorliegenden Untersuchungen beabsichtigen überwiegend den Erkenntnisgewinn durch vergleichende Betrachtungen. Die geringere Fehlerzahl, bezogen auf die Montagefehler, kann als Übereinstimmung mit der dargestellten Tendenz der Selbstbeurteilung interpretiert werden. Es kann angenommen werden, dass das dargestellte AR-basierte Lernmedium gegenüber der digitalisierten Text-Bild-Kombination Vorteile bei der Vermittlung der korrekten Ausführung von Arbeitsschritten bietet (bezogen auf das Resultat). Es wurden keine Unterschiede bezüglich der Vermittlung struktureller Informationen der Arbeitsaufgabe (Sequenz der Arbeitsschritte) festgestellt. Dieser Befund könnte im Rahmen eines umfangreicheren Montagetrainings (höhere Iterationszahl) tiefergehend untersucht werden.

6.2.2.4 Nutzung des Hilfsmittels

Während der Durchführung der Lernerfolgskontrolle konnten die Versuchspersonen ein unterstützendes Medium nutzen, welches die definierten Endzustände der Arbeitsschritte ohne weiterführende Erläuterungen abbildet. Innerhalb der Experimentalgruppe wurde dieses Hilfsmittel von 22.22 Prozent der Versuchspersonen bei mindestens einem Arbeitsschritt angefragt. Innerhalb der Kontrollgruppe nutzten 24.49 Prozent der Versuchspersonen das optionale Hilfsmittel. Der Mittelwert der Experimentalgruppe bezüglich der Nutzung des Hilfsmittels (EG: 0.36) liegt unter dem Mittelwert der Kontrollgruppe (KG: 0.49). Es bestehen identische Minimal- und Maximalwerte. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Nutzung des Hilfsmittels ist statistisch nicht signifikant. Als Befund verbleiben demnach vergleichbare Werte bezüglich der Nutzung des Hilfsmittels zwischen beiden Gruppen, bei einem tendenziell dezent niedrigeren Mittelwert der Experimentalgruppe (statistisch nicht signifikant).

6.2.2.5 Zusammenhänge des Lernerfolgs

Bezogen auf die **Selbsteinschätzung** der Versuchspersonen konnten ausschließlich innerhalb der Kontrollgruppe statistisch signifikante Korrelationen zwischen der empfundenen Ausprägung der beiden Lernzielstufen und einzelnen personenbezogenen Variablen sowie einzelnen Trainingsparametern ermittelt werden. Die Anzahl der Montagefehler während der zweiten Iteration des Montagetrainings beschreibt einen signifikanten Einfluss auf die subjektive Zustimmung hinsichtlich der Lernzielstufe des eigenständigen Nachvollzugs. Eine höhere Fehlerzahl innerhalb dieser Iteration führt zu einer geringeren Zustimmung der Versuchspersonen hinsichtlich dieser Lernzielstufe. Die zweite, niedrigere Lernzielstufe betreffend (geleiteter Nachvollzug), bestehen

schwache bis moderate positive Korrelationen mit den Observationszeiten (Iteration 2-3) sowie mit den Ausführungszeiten der ersten beiden Iterationen. Es können zudem moderate, negative Korrelationen mit der empfundenen Usability sowie mit den medienbezogenen Vorkenntnissen festgestellt werden. Ergänzend liegt eine signifikante, positive Korrelation mit dem Alter der Versuchspersonen vor. Einen statistisch signifikanten Einfluss bildet hierbei einzig die Selbsteinschätzung bezüglich des eigenständigen Nachvollzugs ab. Eine höhere Zustimmung hinsichtlich der höheren Lernzielstufe führt demnach zu einer geringeren Zustimmung bezüglich der niedrigeren Lernzielstufe. Dieser Befund kann anhand der Regressionskoeffizienten innerhalb der Experimentalgruppe bestätigt werden. Bemerkenswert erscheint an dieser Stelle die deutlich höhere Anzahl statistisch signifikanter Zusammenhänge zwischen den beiden Variablen der Selbsteinschätzung und einzelnen personalen Einflussgrößen, Wahrnehmungen des Lernmediums sowie den Observations- und Ausführungszeiten des Montagetrainings (KG). Diese Beobachtung kann innerhalb der Experimentalgruppe nicht bestätigt werden.

Bei beiden Gruppen konnten statistisch signifikante Korrelationen zwischen den **Ausführungszeiten** des Montagetrainings und den Ausführungszeiten der Lernerfolgskontrolle ermittelt werden. Innerhalb beider Gruppen bestehen starke Korrelationen zwischen der Ausführungszeit der dritten Iteration des Montagetrainings und der Ausführungszeit während der Lernerfolgskontrolle. Der Einfluss dieser Variable wurde im Rahmen der Regressionsanalyse präzisiert. Innerhalb der Experimentalgruppe beschreibt die Ausführungszeit der zweiten Iteration des Montagetrainings den höchsten Beitrag zur Varianzaufklärung. Die Ausführungszeit der dritten Iteration des Montagetrainings bildet innerhalb der Kontrollgruppe den höchsten Beitrag zur Varianzaufklärung ab. Eine höhere Ausführungszeit innerhalb der zweiten beziehungsweise der dritten Iteration des Montagetrainings geht demnach mit einer höheren Ausführungszeit während der Lernerfolgskontrolle einher. Dieser Zusammenhang kann bei beiden Untersuchungsgruppen festgestellt werden. Als eine markante Beobachtung kann die Korrelation zwischen der Ausprägung der allgemeinen Selbstwirksamkeit (*GSE gesamt*) und der Ausführungszeit der LEK innerhalb der Kontrollgruppe dargestellt werden. Dieser statistisch signifikante, negative Zusammenhang wird im Rahmen der Regressionsanalyse bestätigt. Die Ausprägung der allgemeinen Selbstwirksamkeit beschreibt innerhalb der Kontrollgruppe einen signifikanten Einfluss auf die Ausführungszeit der Lernerfolgskontrolle. Es wird davon ausgegangen, dass höhere Werte der allgemeinen Selbstwirksamkeit zu niedrigeren Ausführungszeiten während der Lernerfolgskontrolle führen. Dieser Befund konnte innerhalb der Experimentalgruppe nicht bestätigt werden. In dieser Gruppe (AR) wurden keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen den Ausführungszeiten der LEK und den personalen Merkmalen der Versuchspersonen ermittelt.

Hinsichtlich der **Montagefehler** der Lernerfolgskontrolle konnten innerhalb beider Gruppen keine statistisch signifikanten Korrelationen mit personalen Merkmalen oder Wahrnehmungen der Versuchspersonen festgestellt werden. Bei beiden Gruppen bestehen jedoch signifikante, positive Korrelationen zwischen der Anzahl der Montagefehler der LEK und der Fehlerzahl des Montagetrainings. Innerhalb der Experimentalgruppe besteht dieser Zusammenhang mit der Fehlerzahl der dritten Iteration des Montagetrainings (*Fehler_I3*). In der Kontrollgruppe zeigt

sich der Zusammenhang innerhalb der ersten beiden Iterationen des Montagetrainings (*Fehler_I1, Fehler_I2*). Im Rahmen der Regressionsanalysen konnte kein statistisch signifikanter Einfluss dieser Variablen festgestellt werden. Bemerkenswert erscheinen die statistisch signifikanten Korrelationen innerhalb der Experimentalgruppe zwischen der Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle und der Observationszeit (*PZeit_I3*) beziehungsweise der Nutzung der Handlungsinstruktion (*AVI_I1*) im Rahmen des Montagetrainings. Die Nutzung der Handlungsinstruktion des AR-basierten Lernmediums während der ersten Iteration des Montagetrainings bildet einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Montagefehler der Lernerfolgskontrolle ab. Es wird davon ausgegangen, dass eine höhere Nutzungsintensität der Handlungsinstruktion zu einer Reduktion der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle führt. Bezuglich der Montagefehler der Lernerfolgskontrolle wurde zuvor ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ermittelt. Durch den bestätigten (positiven) Einfluss der AR-basierten Handlungsinstruktion kann die signifikant geringere Anzahl der Montagefehler innerhalb der Experimentalgruppe in einer ersten Vermutung auf diese spezifische Funktionalität des Lernmediums zurückgeführt werden. Dieser Befund kann als ein Indikator für die Wirksamkeit des AR-basierten Lernmediums eingeordnet werden und wird im Rahmen der Diskussion der vierten forschungsleitenden Fragestellung erneut aufgegriffen (vgl. Kapitel 6.2.4).

Im Hinblick auf die Anzahl der **Reihenfolgefehler** bestehen bei beiden Gruppen statistisch signifikante, positive Korrelationen zwischen der Anzahl der Montagefehler und der Anzahl der Reihenfolgefehler während der Lernerfolgskontrolle. Der signifikante Einfluss dieser Variable wurde im Rahmen der Regressionsanalysen bei beiden Gruppen bestätigt. Ergänzend bestehen innerhalb der Kontrollgruppe signifikante Korrelationen zwischen der Observationszeit (*PZeit_I1*) sowie den medienbezogenen Vorkenntnissen der Versuchspersonen und der Anzahl der Reihenfolgefehler während der Lernerfolgskontrolle. Diese Beobachtung konnte innerhalb der Experimentalgruppe nicht bestätigt werden.

Sowohl bei der Experimentalgruppe als auch bei der Kontrollgruppe bestehen statistisch signifikante, positive Korrelationen zwischen der **Nutzung des Hilfsmittels** und der Ausführungszeit der Lernerfolgskontrolle. Im Rahmen der Regressionsanalysen konnte diese Variable (*Ausführungszeit LEK*) innerhalb der Kontrollgruppe als statistisch signifikante Einflussgröße dargestellt werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Ausführungszeit bei zunehmender Nutzung des Hilfsmittels erhöht. Diese Beobachtung wird mit dem notwendigen Zeitbedarf für die Nutzung des Hilfsmittels bzw. dem Konsum der abgebildeten Informationen erklärt. Ergänzend wurde innerhalb der Experimentalgruppe ein statistisch signifikanter, negativer Zusammenhang zwischen dem Gebrauch des Hilfsmittels und der subjektiven Zustimmung hinsichtlich des eigenständigen Nachvollzugs ermittelt. Demnach wird eine niedrigere Ausprägung des eigenständigen Nachvollzugs mit einer intensiveren Nutzung des Hilfsmittels assoziiert. Aufgrund der Annahme, dass diese Lernzielstufe auf eine selbständige Arbeitsausführung abzielt, erscheint dieser Zusammenhang überwiegend plausibel. Innerhalb der Kontrollgruppe wurde ergänzend eine signifikante Korrelation zwischen dem Gebrauch des Hilfsmittels und dem personalen Merkmal *Berufsgruppe* identifiziert. Folglich wird eine weniger intensive Nutzung des Hilfsmittels mit einer höheren Berufsgruppe assoziiert.

tels mit Versuchspersonen verknüpft, die einen technischen Beruf erlernt haben. Der Zusammenhang zwischen der Nutzung des Hilfsmittels und dem personalen Merkmal *Berufsgruppe* konnte innerhalb der Experimentalgruppe nicht bestätigt werden.

6.2.3 Forschungsleitende Frage 3: Arbeitsaufgabe und Lernmedium

Basierend auf den Erkenntnissen der Datenauswertung (vgl. Kapitel 5) werden an dieser Stelle die zuvor formulierte Fragestellung und die abgeleiteten Hypothesen (vgl. Kapitel 4.1) bezüglich der allgemeinen Wahrnehmungen der Lernmedien sowie der Arbeitsaufgabe beider Gruppen erörtert. Zunächst wird hierbei die subjektiv empfundene Arbeitsbelastung (Hypothese 3.1) sowie der situativ empfundene Nutzen der Lernmedien (Hypothese 3.2) betrachtet. Anschließend erfolgt die Analyse der Ergebnisse der Korrelations- und Regressionsverfahren unter Einschluss personaler Merkmale sowie der Variablen des Montagetrainings und der Lernerfolgskontrolle (Hypothese 3.3). Die Diskussion spezifischer Elemente und Funktionalitäten der AR-basierten Anwendung erfolgt im nachfolgenden Kapitel (vgl. Kapitel 6.2.4).

6.2.3.1 Arbeitsaufgabe

Hinsichtlich der subjektiv wahrgenommenen Arbeitsbelastung (Workload) infolge des Montagetrainings wurden innerhalb beider Gruppen moderate Ausprägungen ermittelt. Der Mittelwert der Experimentalgruppe liegt bei 29.96 Punkten, der Mittelwert der Kontrollgruppe bei 31.04 Punkten. Der Median beider Gruppen liegt bei 30 Punkten. Der ermittelte Referenzbereich für mechanische Tätigkeiten liegt zwischen 20.10 und 51.03 Punkten (vgl. Kapitel 4.5.3.2). Demnach wird nach der Auswertung der Angaben der Versuchspersonen in beiden Gruppen von einer moderaten Arbeitsbelastung ausgegangen. Es besteht kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der empfundenen Arbeitsbelastung im Rahmen des Montagetrainings. Es wird davon ausgegangen, dass keines der beiden abgebildeten Lehr-Lern-Medien im direkten Vergleich zu einer höheren empfundenen Arbeitsbelastung beiträgt.

6.2.3.2 Lernmedium

Der Durchschnittswert des situativ empfundenen Nutzens der Lernmedien (Usability) liegt innerhalb der Experimentalgruppe bei 83.43 Punkten und innerhalb der Kontrollgruppe bei 79.45 Punkten. Demnach kann zunächst festgehalten werden, dass die Versuchspersonen beider Gruppen dem jeweils verwendeten Lernmedium im Durchschnitt einen hohen Nutzen zuordnen. Es besteht in beiden Gruppen ein identischer Maximalwert von 100 Punkten sowie ein dezentier Unterschied der Minimalwerte (EG: 47.5 Punkte; KG: 45 Punkte). Alle beobachteten Werte befinden sich oberhalb des Punktebereichs, der einen geringen Nutzen bzw. eine geringe Akzeptanz repräsentiert (25 bis 40 Punkte). Der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezogen auf den SUS-Wert ist statistisch nicht signifikant. Im Vorfeld der Datenanalyse wurden bezüglich der hier verwendeten SUS-Skala fundierte Referenzwerte eingeführt (vgl. Kapitel 4.5.3.2). Werte der SUS-Skala im Bereich von 80 Punkten werden als „sehr gut“ interpretiert beziehungsweise mit einem hohen Nutzen verknüpft. Wird diese Punktzahl als Schwellenwert definiert, kann eine

weiterführende Analyse der beobachteten SUS-Werte erfolgen. Innerhalb der Experimentalgruppe konnte bei 72.55 Prozent der Versuchspersonen ein SUS-Wert von gleich oder größer 80 Punkten festgestellt werden. Innerhalb der Kontrollgruppe konnte ein entsprechender Wert lediglich bei 54 Prozent der Versuchspersonen ermittelt werden. Im Rahmen einer vergleichenden Betrachtung wurden demnach innerhalb der Experimentalgruppe häufiger SUS-Werte von 80 Punkten oder mehr ermittelt als innerhalb der Kontrollgruppe. Als Befund verbleiben vergleichbare Mittelwerte sowie ein vergleichbarer Median zwischen beiden Gruppen, bei einer in der Tendenz höheren Usability innerhalb der Experimentalgruppe.

6.2.3.3 Zusammenhänge der Wahrnehmung des Lernmediums und der Arbeitsaufgabe

Im Rahmen der Ausführungen bezüglich der Zusammenhänge des Lernverhaltens und des Lernerfolgs wurden bereits bestehende Zusammenhänge der Wahrnehmung des Lernmediums und der Arbeitsaufgabe dargestellt (vgl. Kapitel 6.2.1 und 6.2.2). An dieser Stelle erfolgen die Konsolidierung sowie die explizite Darstellung der betreffenden Zusammenhänge.

Bezogen auf die subjektiv wahrgenommene **Arbeitsbelastung** (Workload) konnte einzig innerhalb der Experimentalgruppe eine statistisch signifikante, positive Korrelation mit der Ausführungszeit der dritten Iteration des Montagetrainings ermittelt werden. Eine höhere wahrgenommene Belastung wird demnach mit einer höheren Ausführungszeit der dritten Iteration verknüpft. Ein potentieller Erklärungsansatz für diese Beobachtung besteht darin, dass die Belastung durch die wiederholte Bearbeitung der Arbeitsaufgabe (Iteration 3) zunimmt. Innerhalb der Kontrollgruppe konnte diese Beobachtung nicht bestätigt werden.

Bezogen auf die Kontrollgruppe konnten mehrere statistisch signifikante Korrelationen zwischen dem situativ wahrgenommenen **Nutzen des Mediums** (Usability) und einzelnen Variablen des Lernverhaltens identifiziert werden. Es bestehen signifikante, negative Korrelationen zwischen der wahrgenommenen Usability und den Ausführungszeiten aller Iterationen, den Observationszeiten der ersten beiden Iterationen sowie den Montagefehlern der ersten Iteration des Montagetrainings. Demnach werden niedrigere Werte der SUS-Skala mit höheren Ausführungszeiten, höheren Observationszeiten sowie mit einer Zunahme der Montagefehler während des Montagetrainings assoziiert. Ergänzend besteht innerhalb der Kontrollgruppe eine statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen dem Wert der Usability und der Selbsteinschätzung bezüglich der Lernzielstufe des geleiteten Nachvollzugs (S_{BA}b). Diese Beobachtung erscheint im Hinblick auf die zuvor dargestellten Zusammenhänge zwischen der empfundenen Usability und den einzelnen Trainingsparametern plausibel. Versuchspersonen, die einen geringeren Nutzen des Mediums im Lernprozess wahrnehmen und tendenziell höhere Ausführungszeiten, Observationszeiten sowie Montagefehler aufweisen, stimmen potentiell einer höheren Ausprägung der niedrigeren Lernzielstufe während der Selbsteinschätzung zu. Diese Beobachtungen konnten innerhalb der Experimentalgruppe nicht bestätigt werden. Im Rahmen der Regressionsanalysen konnten keine statistisch signifikanten Einflüsse durch die Variablen der Arbeitsbelastung (*NASA gesamt*) und des wahrgenommenen Nutzens der Lernmedien (*SUS Wert*) ermittelt werden.

Ergänzend wird an dieser Stelle der Befund bezüglich der beobachteten Abbrüche des Montagetrainings betont (vgl. Kapitel 6.2.1.4). Im Rahmen des Montagetrainings, welches grundsätzlich ohne den Einbezug weiterer Personen absolviert werden sollte, konnte ein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich des empfundenen Nutzens der Lernmedien zwischen Versuchspersonen ohne Abbruch und Versuchspersonen mit Trainingsabbruch ermittelt werden. Lernmedien mit höheren SUS-Werten können demnach potentiell das Fortschreiten von Lernenden innerhalb überwiegend selbstgesteuerter Lern- bzw. Übungsphasen unterstützen. In Anlehnung an die vorliegenden Beobachtungen wird hinsichtlich der Konzeption entsprechender Lehr-Lern-Medien die Analyse des wahrgenommenen Nutzens im Lernprozess grundsätzlich empfohlen.

6.2.4 Forschungsleitende Frage 4: Spezifische Aspekte der AR-Anwendung

An dieser Stelle werden Fragestellungen hinsichtlich spezifischer Elemente und Funktionalitäten des AR-basierten Lehr-Lern-Mediums erörtert. Einleitend werden die wahrgenommene Unterstützungsleistung einzelner AR-Elemente (Hypothese 4.1) sowie die Nutzungsintensität der systemgenerierten Handlungsinstruktion während des Montagetrainings (Hypothese 4.2) betrachtet. Im Anschluss erfolgt die Analyse bestehender Zusammenhänge zwischen einzelnen AR-basierten Elementen beziehungsweise Funktionen und einzelnen Variablen des Lernerfolgs sowie einzelnen personalen Merkmalen der Versuchspersonen (Hypothese 4.3).

6.2.4.1 Elemente der AR-Anwendung

Im Rahmen einer systemspezifischen Evaluation erfolgte innerhalb der Experimentalgruppe die Beurteilung einzelner AR-basierter Elemente bzw. implementierter Funktionalitäten (vgl. Kapitel 3.2.3.3) hinsichtlich ihrer Unterstützungsleistung während des Montagetrainings. Basierend auf den Ergebnissen der Datenanalyse (vgl. Kapitel 5.2.3) konnte zunächst keine eindeutige Differenzierung bezüglich der wahrgenommenen Unterstützungsleistung zwischen den einzelnen Elementen dargestellt werden. Bei einem Median zwischen 4.5 und 5 Punkten wurden alle fünf AR-basierten Elemente von den Versuchspersonen im Rahmen des Montagetrainings als *sehr hilfreich* bis *hilfreich* wahrgenommen. Im weiteren Verlauf der Datenanalyse wurde bezüglich des Elements *Hand-Tracking* im direkten Vergleich mit allen betrachteten Elementen die höchste Standardabweichung sowie die höchste Varianz ermittelt. Einzig bei diesem Element konnten alle fünf möglichen Ausprägungen hinsichtlich der Unterstützungsleistung während des Montagetrainings beobachtet werden. Zudem liegt bezüglich dieses Elements der im Vergleich niedrigste Mittelwert (3.96) vor, der eine Tendenz zu einer niedrigeren bzw. neutralen Beurteilung abbildet. Die Unterstützungsleistung des Hand-Trackings im Rahmen des dargestellten Lernprozesses kann daher nicht uneingeschränkt bestätigt werden. Im Zuge der sich anschließenden Korrelationsanalysen wurden insbesondere Zusammenhänge zwischen der Einordnung des Elements *Hand-Tracking* und den erfassten aufgaben- sowie medienbezogenen Vorkenntnissen bzw. Wahrnehmungen (NASA- und SUS-Wert) untersucht. Hierbei konnten keine statistisch signifikanten Zusammenhänge ermittelt werden. Diese Beobachtung wurde hinsichtlich

der übrigen Elemente bestätigt. Aufbauend auf den vorliegenden Erkenntnissen werden weiterführende Untersuchungen zur Beurteilung des Nutzens dieses Elements (Hand-Tracking) innerhalb entsprechender Lernszenarien angeraten.

6.2.4.2 Nutzung der Handlungsinstruktion

Im Rahmen der Analyse der Observationszeiten des Montagetrainings (vgl. Lernverhalten) wurden Unterschiede hinsichtlich der Nutzungsintensität der systemgenerierten Handlungsinstruktion ermitteln (vgl. Kapitel 6.2.1.1). Es wird davon ausgegangen, dass die Versuchspersonen der Experimentalgruppe den zeitlichen Abschnitt vor der ersten aktiven Ausführung am Montageobjekt (Observationszeit) überwiegend für den Konsum der dargebotenen Handlungsinstruktionen nutzten. Die erste Iteration des Montagetrainings beschreibt die intensivste Nutzungsphase der Handlungsinstruktion. Durchschnittlich werden innerhalb dieser Iteration 5.34 vollständige Handlungsinstruktionen konsumiert (Median: 5). Bemerkenswert erscheinen zudem die hohe Varianz und Standardabweichung innerhalb der ersten Iteration. Diese Beobachtung wird auf das individuelle Nutzungsverhalten der Versuchspersonen zurückgeführt, welches innerhalb der ersten Iteration als besonders ausgeprägt erscheint und als Erklärungsansatz für die ebenfalls hohe Varianz der Observationszeit innerhalb dieser Iteration dient.

6.2.4.3 Zusammenhänge spezifischer Elemente und Funktionalitäten

Hinsichtlich der wahrgenommen Unterstützungsleistung einzelner Elemente des AR-basierten Mediums konnten keine statistisch signifikanten Zusammenhänge mit den erfassten medien- und aufgabenbezogenen Variablen beziehungsweise mit den Vorkenntnissen der Versuchspersonen identifiziert werden.

Bezogen auf die Nutzung der spezifischen Funktionalität der Handlungsinstruktion (*Instruktions-Overlay*) bestehen signifikante Zusammenhänge mit dem Lernverhalten und dem Lernerfolg der Versuchspersonen. Wie bereits zuvor dargestellt, wurden statistisch signifikante, starke Korrelationen zwischen der Nutzung der Handlungsinstruktion und den Observationszeiten der ersten beiden Iterationen des Montagetrainings ermittelt (vgl. *Lernverhalten*). Darüber hinaus kann die statistisch signifikante Korrelation zwischen der Nutzung der Handlungsinstruktion innerhalb der ersten Iteration des Montagetrainings und der Anzahl der Montagefehler während der Lernerfolgskontrolle hervorgehoben werden (vgl. *Lernerfolg*). Die Nutzung der Handlungsinstruktion bildet in dieser Konstellation einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Montagefehler der Lernerfolgskontrolle ab. Eine intensivere Nutzung der Handlungsinstruktion wird mit einer geringeren Anzahl an Montagefehlern während der Lernerfolgskontrolle assoziiert. Dieser positive Einfluss der spezifischen Funktionalität des AR-basierten Mediums auf den Lerntransfer wird durch die subjektive Wahrnehmung des Elements durch die Versuchspersonen bestätigt. Das Element *Instruktion* wird hinsichtlich der Unterstützungsleistung während des Lernprozesses von den Versuchspersonen überwiegend als *hilfreich* bis *sehr hilfreich* bewertet. Die statistisch signifikant niedrigere Anzahl der Montagefehler (LEK) innerhalb der Experimentalgruppe wurde bereits in einer ersten Vermutung auf die Nutzung beziehungsweise auf die systemspezifische Bereitstellung der Handlungsinstruktion zurückgeführt (vgl. Kapitel 6.2.2.5).

Im Rahmen der Korrelationsanalysen wurden ergänzende Zusammenhänge mit den personalen Merkmalen der Versuchspersonen analysiert. Es besteht eine statistisch signifikante, negative Korrelation zwischen der Nutzung der Handlungsinstruktion und dem Gesamtwert der allgemeinen Selbstwirksamkeit der Versuchspersonen. Demnach wird eine geringere Ausprägung der Selbstwirksamkeit mit einer tendenziell intensiveren Nutzung der Handlungsinstruktion verknüpft. Basierend auf dieser Beobachtung kann bei Lernenden mit einer niedrigen Selbstwirksamkeit (GSE-Wert) durch eine entsprechende Funktionalität des Lernmediums ein positiver Einfluss auf den Lerntransfer vermutet werden.

7 Schlussbetrachtung

„Nichts in der Geschichte des Lebens ist beständiger als der Wandel“
Charles Darwin

Das siebte Kapitel der Arbeit fasst die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen zusammen und ordnet sie im Kontext der definierten Untersuchungsgegenstände ein. Nach einem einleitenden Überblick über die geleistete Forschungsarbeit werden einzelne Limitationen sowie Implikationen der Arbeit dargestellt. Das Kapitel schließt mit einer zusammenfassenden Betrachtung der zentralen Erkenntnisse ab.

7.1 Überblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die *Wirksamkeit von AR-basierten Lehr-Lern-Medien* im Kontext betrieblicher Unterweisungsprozesse der manuellen Serienmontage untersucht. In diesem Zusammenhang wurden das *Lernverhalten*, der *Lernerfolg* sowie einzelne *individuelle Wahrnehmungen und Merkmale* der Versuchspersonen analysiert. Die Hinführung zum empirischen Teil der Arbeit erfolgte durch die einleitende Erläuterung des Forschungsthemas sowie durch die Darstellung des theoretischen Bezugsrahmens und die Entwicklung eines Augmented Reality-basierten Montagetrainings.

Einleitend wurden die Funktionen von Lernmedien im Kontext des betrieblichen Lernens sowie deren Wechselwirkungen mit technologischen Entwicklungen industrieller Produktions- und Informationsprozesse thematisiert. Ergänzend erfolgte eine komprimierte Darstellung der Zielsetzung der Arbeit sowie der generellen Vorgehensweise zur Untersuchung der definierten Untersuchungsgegenstände (erstes Kapitel). Als Grundlage für die Entwicklung eines AR-gestützten Montagetrainings sowie für Realisierung der empirischen Untersuchungen wurde im zweiten Kapitel der theoretische Bezugsrahmen der vorliegenden Arbeit definiert. Durch die Darstellung relevanter arbeitsbezogener Wissenschaften (Aspektwissenschaften) beziehungsweise durch die Thematisierung disziplinspezifischer Zugänge des Arbeitslernens wird eine interdisziplinäre Auseinandersetzung mit dem zentralen Untersuchungsgegenstand der Arbeit motiviert. Spezifiziert werden die Gegenstände der Untersuchung durch die Einführung betrieblicher und arbeitsbezogener Lernarten sowie durch die Betonung berufspädagogischer Perspektiven (arbeitsbezogene Qualifizierung von Mitarbeitenden eines Betriebes). Als Grundlage zur Beschreibung und zur Analyse des Arbeitslernens wurden Aspekte der psychischen Regulation von (Arbeits-) Tätigkeiten, eine Theorie des berufsmotorischen Lernens sowie einzelne Basistheorien des Arbeitshandelns und des Arbeitslernens abgebildet. Mit zunehmendem Bezug zur betrieblichen Praxis der Unterweisung von Mitarbeitenden wurden im weiteren Verlauf der Ausarbeitung gängige Methoden und Medien des betrieblichen Lernens eingeführt.

Zur Erläuterung der Untersuchungsumgebung wurden einzelne Aspekte und Gegenstände einer Industrie 4.0 - Arbeitsumgebung ergänzt. In diesem Zusammenhang erfolgte die Verknüpfung

zwischen digitalen Assistenzsystemen der Industrie, welche einen Ermöglichungsfaktor für die Anwendung neuer Lernformen darstellen, und der Entwicklung betrieblicher Lerntechnologien. Bezogen auf die didaktisch-technologische Ausrichtung der Untersuchung wurden im zweiten Kapitel zudem die spezifische Arbeitsumgebung der industriellen Serienmontage sowie einzelne Aspekte und Erkenntnisse der Nutzung von Augmented Reality-basierten Ansätzen zur Qualifizierung von Mitarbeitenden dargestellt.

Die Konzeption sowie die Umsetzung eines AR-basierten Montagetrainings wurden im dritten Kapitel der Arbeit detailliert dargelegt. Das implementierte Arbeitssystem umfasst die Komponenten *Arbeitsplatz*, *Arbeitsperson*, *Arbeitsmittel*, *Arbeitsaufgabe* und *Arbeitsablauf*. Die erste Komponente des Arbeitssystems (Arbeitsplatz) wurde in Form eines Steharbeitsplatzes der manuellen Serienmontage realisiert. Bei der Errichtung des Arbeitsplatzes wurden industrielle Standards der Arbeitsplatzgestaltung angewandt. Arbeitspersonen wurden durch ungelernte beziehungsweise formal nicht-qualifizierte Personen abgebildet und repräsentierten die Gruppe der Lernenden. In Anlehnung an die Ausstattung einer industriellen Arbeitsstation wurden Hand- und Elektrowerkzeuge sowie verschiedene Bauteilarten, Bauteilgeometrien und Fügeelemente als Arbeitsmittel definiert. Die festgelegte Arbeitsaufgabe umfasst eine Abfolge von Arbeitsschritten, welche einer realen Arbeitsaufgabe der Serienmontage des industriellen Anwendungspartners entstammen. Durch die Auswahl und Kombination verschiedener Fügevorgänge wurden unterschiedliche Komplexitäten der Arbeitsschritte abgebildet. Die Bearbeitung der Arbeitsaufgabe gliedert sich in den Ablauf der vollständigen Montage eines Vierzylindermotors ein, die im Rahmen eines betrieblichen Qualifizierungsszenarios durchgeführt wurde. Anfangs- und Endzustände des Montageobjektes wurden eindeutig definiert. Zudem wurden eindeutige Qualitätsmerkmale zur Beurteilung der Tätigkeitsausführung bestimmt.

Die Implementierung des AR-basierten Lernmediums umfasste sowohl die Bereitstellung der Architekturkomponenten als auch die Auswahl der Peripherie und wurde in Kooperation mit einem auf AR-basierte Anwendungen spezialisierten Unternehmen durchgeführt. Die gewählte Peripherie ermöglicht neben der Erfassung von Daten zusätzlich die Realisierung mehrerer Modalitäten beziehungsweise Sinnesansprachen. Die Gestaltung der Nutzungsoberfläche (User-Interface) und die Definition der abgebildeten Funktionalitäten erfolgte in Anlehnung an die zuvor dargestellten Gestaltungsempfehlungen multimedialer beziehungsweise AR-basierter Lernumgebungen (vgl. *Instructional System Design*, *Cognitive Load Theorie*, *Akzeleratoren der Augmentierung*) sowie in Anlehnung an die funktionale Ausrichtung kognitiver Assistenzsysteme. Durch einzelne virtuelle Elemente (Bsp.: animierte Pfeile, Instruction Overlay) wurden die definierten Funktionen *Information*, *Lokalisierung*, *Identifikation*, *Instruktion*, *Rückmeldung zur Ausführung und zum Arbeitsergebnis* sowie die *Ablaufsteuerung* realisiert. Die Informationsdarstellung beziehungsweise die Nutzung der virtuellen Elemente erfolgt in Anpassung an das natürliche Verhalten der Lernenden (*phasenadaptive Informationsdarstellung*). Das implementierte Kontrollmedium orientiert sich an den Inhalten gängiger industrieller Unterweisungsmedien (Text-Bild-Kombination bzw. Arbeitsschrittblatt - ASB). Durch eine Kombination aus Abbildungen, statischen Elementen (Bsp.: Pfeil, Kreis) und Texten wurden die Funktionen *Information*, *Lokalisie-*

rung, Identifikation, Instruktion und Ablaufsteuerung abgebildet. Zur Unterstützung der Versuchspersonen während der Lernerfolgskontrolle, welche analog zum Montagetraining ohne externe Eingriffe absolviert werden sollte, wurde eine reduzierte Variante des Kontrollmediums (digitalisiertes ASB) bereitgestellt. Die entwickelten Medien wurden in das implementierte Arbeitssystem integriert.

Im vierten Kapitel wurden im Zusammenhang mit dem zentralen Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Untersuchung (die Wirksamkeit von AR-basierten Anwendungen) forschungsleitende Fragen sowie Hypothesen formuliert, die eine explorative Auseinandersetzung mit dem dargestellten Forschungsthema repräsentieren. Das entwickelte Untersuchungsdesign ermöglicht die Integration der Untersuchung in ein reales betriebliches Qualifizierungsszenario, wodurch die natürliche Umgebung einer manuellen Serienmontage abgebildet werden kann.

Zur Analyse des Lernverhaltens, des Lernerfolgs sowie der Wahrnehmung der Arbeitsaufgabe und der Lernmedien wurden deskriptive und inferenzstatistische Methoden definiert. Neben den Erläuterungen zur quantitativen Datenauswertung erfolgten spezifische Interpretationsempfehlungen bezüglich einzelner Messinstrumente (NASA TLX, SUS-Scale, GSE-6, AMS-R). Notwendige Vorarbeiten sowie die abschließende Auswahl und Gestaltung der angewandten Messinstrumente wurden detailliert dargestellt.

Zur Erfassung des äußeren Verhaltens der Versuchspersonen während des Montagetrainings sowie der Lernerfolgskontrolle wurden gruppenspezifische Beobachtungsbogen entwickelt. Strukturell orientieren sich diese Instrumente zur Datenerfassung an etablierten Ansätzen der Tätigkeitsanalyse (Bsp.: MTM, Refa-Zeitaufnahme). Im Rahmen des Montagetrainings wurde die Observationszeit, der Konsum der Handlungsinstruktion (Experimentalgruppe) sowie die Ausführungszeit, die Anzahl der Montagefehler und das Montageergebnis (i.O. bzw. n.i.O.) erfasst. Bezogen auf die Lernerfolgskontrolle (Fremdeinschätzung) wurde neben der Erfassung der Ausführungszeit und des Montageresultats eine detailliertere Fehlererfassung (Fehleranzahl und Fehlerart) sowie eine Dokumentation zur Nutzung des optionalen Hilfsmittels in den Beobachtungsbogen aufgenommen. Ergänzend zu dieser überwiegend auf die Performanz ausgerichteten Beurteilung des Lernerfolgs wurden Angaben zur Selbsteinschätzung der Versuchspersonen in einen Fragebogen integriert (Fragebogen II, Abschnitt 2). Durch diese Angaben erfolgte eine erste Einschätzung bezüglich der durch das Montagetraining subjektiv erreichten Lernzielstufe (*eigenständiger* bzw. *geleiteter Nachvollzug*).

Neben den Beobachtungsbogen, welche zur Erfassung des Montagetrainings sowie der Lernerfolgskontrolle konzipiert wurden, bilden die entwickelten Fragebogen eine Kombination spezifischer Messinstrumente ab. Innerhalb eines Fragebogens wurde sowohl die Erfassung der subjektiv wahrgenommenen Arbeitsbelastung (NASA TLX) als auch die Erfassung des situativ wahrgenommenen Nutzens der Lernmedien (System Usability Scale) realisiert. Ergänzt wurde diese medienbezogene Skala durch spezifische Items zur gezielten Evaluation einzelner AR-Elemente (Fragebogen II). In Anlehnung an die theoriegeleitete Definition potentieller Einflussfaktoren erfolgte die Konstruktion eines weiteren Fragebogens, der über entsprechende Skalen das Bildungsniveau, Berufsabschlüsse, aufgaben- und medienspezifische Vorkenntnisse sowie die

allgemeine Selbstwirksamkeit (GSE-Scale) und das explizite Leistungsmotiv (AMS) der Versuchspersonen erfasst (Fragebogen I). Ergänzende Angaben der Versuchspersonen zur Analyse der Stichproben orientieren sich an demographischen Standards. Die entwickelten Skalen bezüglich der aufgaben- und medienspezifischen Vorkenntnisse orientieren sich inhaltlich an der Montageaufgabe (Motorenmontage) sowie an den im Versuchsaufbau dargestellten Lernmedien (AR-Anwendung bzw. digitalisiertes Arbeitsschrittblatt).

Das entwickelte Modell zur Untersuchung der Wirksamkeit einer AR-basierten Lehr-Lern-Anwendung bildet die definierten Untersuchungsgegenstände sowie forschungsleitende Fragestellungen und Hypothesen zusammenfassend ab und betont deren synergetisches Zusammenwirken unter Anwendung definierter statistischer Verfahren (deskriptive Statistik, Dependenzanalyse).

Die Ergebnisdarstellung der Datenanalyse erfolgte im fünften Kapitel der Ausarbeitung. Unter Anwendung deskriptiver und inferenzstatistischer Methoden wurden die Untersuchungsergebnisse bezüglich der Stichproben (soziodemographische Daten, Vorkenntnisse, Leistungsmotiv und Selbstwirksamkeit), der individuellen Wahrnehmungen (Arbeitsaufgabe und Lernmedien), des Lernerfolgs sowie des Lernverhaltens dargestellt. Motiviert durch die gewählte Untersuchungsform (Kontrollgruppenuntersuchung) und die Darstellung potentieller Ursache-Wirkungszusammenhänge wurden mittels parametrischer beziehungsweise nichtparametrischer Verfahren die unterschiedlichen Ausprägungen einzelner Merkmale und Variablen zwischen beiden Gruppen (Experimentalgruppe und Kontrollgruppe) untersucht (Unterschiedshypothesen). Darüber hinaus erfolgte insbesondere im Rahmen der Analyse des Lernverhaltens und des Lernerfolgs die Untersuchung bestehender Zusammenhänge zwischen den Gegenständen der Verhaltensbeobachtungen und den erfassten personalen Merkmalen der Versuchspersonen (Zusammenhangshypothesen).

Die Zusammenführung der Untersuchungsergebnisse und der forschungsleitenden Fragestellungen erfolgte im sechsten Kapitel der Arbeit. An dieser Stelle wurden basierend auf den Ergebnissen der angewandten deskriptiven Verfahren beziehungsweise der Dependenzanalysen (Unterschiede und Zusammenhänge) die zuvor formulierten Fragestellungen sowie die entsprechenden Hypothesen diskutiert. Einleitend erfolgte eine interpretierende Betrachtung der Stichproben. Im Hinblick auf die Repräsentation der Zielgruppe (Mitarbeitende der manuellen Montage) wurde zunächst die heterogene Ausprägung der personalen Merkmale sowie der definierten Vorkenntnisse der Versuchspersonen dargestellt. Anschließend wurde die Verteilung dieser personenbezogenen Merkmale auf die beiden Gruppen der Kontrollgruppenuntersuchung erläutert. Aufbauend auf den Ergebnissen der Dependenzanalysen wurden darüber hinaus die Beobachtungen bezüglich des Lernverhaltens, des Lernerfolgs sowie der individuellen Wahrnehmungen der beiden Gruppen diskutiert. Das siebte Kapitel bildet neben einer zusammenfassenden Darstellung der Forschungsarbeit einzelne Limitationen und Implikationen ab. Abschließend erfolgt ein Resümee der zentralen Erkenntnisse.

7.2 Limitationen und Implikationen der Arbeit

In diesem Abschnitt werden zunächst bestehende Limitationen der vorliegenden Untersuchungen einschränkend dargestellt. Es folgt die Ableitung einzelner Implikationen für die wissenschaftliche Forschung sowie für die Praxis der betrieblichen Weiterbildung.

7.2.1 Limitationen

Bezüglich einzelner Erkenntnisse sowie der Methodik der vorliegenden Untersuchungen lassen sich limitierende Faktoren darstellen. In Anlehnung an die wissenschaftstheoretische Zuordnung der Forschung werden zur Erörterung einzelner Limitationen etablierte Gütekriterien der quantitativen Sozialforschung angewandt (vgl. Krebs und Menold 2019, S. 489 ff.). In diesem Zusammenhang wird die Güte der Messungen beziehungsweise der Messinstrumente sowie des Forschungsdesigns und der statistischen Analyse diskutiert.

Die Beurteilung der Güte der durchgeführten Messungen beziehungsweise der verwendeten Messinstrumente orientiert sich an den Gütekriterien der *Objektivität*, der *Reliabilität* sowie der *Validität*. Zur Erfassung nicht direkt beobachtbarer Konstrukte (latente Variablen) wurden einzelne Messinstrumente in verschiedenen Fragebogen abgebildet. Die initiale Auswahl der Messinstrumente erfolgte im Rahmen umfangreicher Vorarbeiten und orientierte sich grundsätzlich an den etablierten Gütekriterien (vgl. Kapitel 4.3.1). Die Definition geeigneter Messinstrumente zur Erfassung der Usability, der Arbeitsbelastung, der Motivation sowie der allgemeinen Selbstwirksamkeit erfolgte im Rahmen einer vergleichenden Gegenüberstellung verschiedener Messinstrumente unter Einbezug der allgemeinen Gütekriterien (Objektivität, Reliabilität, Validität). Als ergänzende Auswahlkriterien wurden die *Zielgruppenadäquatheit* sowie die *praktische Integration* in das definierte Forschungsdesign betrachtet. Bezüglich dieser Messinstrumente kann davon ausgegangen werden, dass die allgemeinen Gütekriterien erfüllt beziehungsweise berücksichtigt wurden. Potentielle Einschränkungen bestehen durch die untersuchungsspezifischen Aspekte und Auswahlkriterien. Auf Grund der eingeschränkten Verfügbarkeit der Versuchspersonen wurde, sofern vorhanden, durchgängig die reduzierte Variante des entsprechenden Messinstrumentes gewählt. Begleitend wurden bestehende Interpretationsempfehlungen dieser Varianten abgebildet. Zudem können trotz großer Sorgfalt bei der Übersetzung der Texte in die polnische Sprache und Maßnahmen wie der Rückübersetzung einzelner Messinstrumente inhaltliche sowie semantische Defizite nicht ausgeschlossen werden. Die Skalen bezüglich der aufgaben- und medienspezifischen Vorkenntnisse der Versuchspersonen wurden in Anlehnung an die Montageaufgabe (Motorenmontage) sowie an die dargestellten Lernmedien entwickelt. Die Reliabilität beziehungsweise die interne Konsistenz der Skalen konnte durch die Berechnung des Cronbachs Alpha bestätigt werden (vgl. Kapitel 5.1.2.2). Die Erfassung soziodemographischer Daten erfolgte in Anlehnung an demographische Standards.

Zur Erfassung beobachtbarer, messbarer Variablen wurden etablierte arbeitswissenschaftliche Ansätze der Tätigkeitsanalyse in Form von standardisierten Beobachtungsbogen angewandt. Als

Maßnahme zur Erhöhung der Durchführungsobjektivität bei der Erstellung der Beobachtungsprotokolle fanden im Vorfeld der Hauptuntersuchung umfangreiche Erprobungen und Abstimmungen zwischen dem Versuchsleiter (Autor) und den Assistenzpersonen statt (*Beobachtertraining*). Ergänzend zu den Beobachtungsprotokollen wurden Videoaufnahmen von allen Ausführungen des Montagetrainings sowie der Lernerfolgskontrolle erstellt. Im Rahmen der Datenaufbereitung erfolgte der Abgleich zwischen den erstellten Beobachtungsprotokollen und den Videoaufnahmen der Versuchsdurchführung. Dieser Vorgang wurde für die Daten aller aufgenommenen Versuchspersonen durchgeführt. Zur weiteren Erhöhung der Auswertungsobjektivität wurden fehlerhafte oder unvollständige Datensätze von der Datenanalyse ausgeschlossen und dokumentiert (vgl. Anhang 8.3.2). Zudem wurden eindeutige Bewertungskriterien definiert und angewandt (vgl. Anhang 8.3.3). Eine eingeschränkte Reliabilität wird hinsichtlich der Erfassung der Observations- sowie der Ausführungszeiten vermutet. Es bestehen generelle Ungenauigkeiten aufgrund der manuellen Zeiterfassung sowie der individuellen Ausführungen einzelner Fügevorgänge. Ein positiver Beitrag zur Reliabilität der Messungen konnte durch die Implementierung eines standardisierten Arbeitssystems geleistet werden (Bsp.: konstante Greifräume und Positionen der Arbeitsmittel). Potentielle Einschränkungen der Validität einzelner Messungen bestehen hinsichtlich der Observationszeit sowie der empfundenen Unterstützungsleistung beziehungsweise der Nutzung einzelner AR-Elemente. Eine valide Analyse dieser Gegenstände kann einzig durch die Erfassung des Blickverhaltens der Versuchspersonen erfolgen. Die vermutete Nutzung der Handlungsinstruktion während der Observationszeit konnte im Rahmen der Korrelationsanalysen teilweise bestätigt werden (Experimentalgruppe). Einschränkungen bezüglich der Population bestehen durch den Standort der Erhebungsdurchführung. Es nahmen ausschließlich polnische Versuchspersonen an der Untersuchung teil.

Die Güte des Forschungsdesigns wird maßgeblich durch die *externe* und *interne Gültigkeit* (Validität) der Untersuchung bestimmt (vgl. Krebs und Menold 2019, S. 500 f.; Bortz 2002, S. 56 f.). Durch die vollständige Integration der Untersuchung in ein reales Qualifizierungsszenario entspricht die Erhebungssituation weitestgehend der natürlichen Situation einer betrieblichen Unterweisung. Zudem entstammen die realisierten Stichproben der realen Zielgruppe (formal nicht-qualifizierte Arbeitspersonen der manuellen Montage). Es bleibt jedoch offen, inwieweit sich das Verhalten der Versuchspersonen während der offenen Beobachtungen von dem Verhalten unter natürlichen Umständen unterscheidet (*Hawthorne-Effekt*). Eine weitere Limitation der externen Validität besteht durch den spezifischen Funktionsumfang der AR-basierten Anwendung. Der abgebildete Funktionsumfang adressiert spezifische Fertigkeiten der manuellen Montage und wird technologisch durch die zum Erhebungszeitpunkt verfügbare Systemarchitektur sowie die Software-Funktionen des Anwendungspartners determiniert. Im Zuge weiterführender Einordnungen der Erkenntnisse wird der kontinuierliche Einbezug gegenwärtiger Technologien empfohlen. Zur Erhöhung der Konstruktvalidität erfolgte die Entwicklung des Forschungsdesigns in Anlehnung an thematisch verwandte Forschungsarbeiten (vgl. Webel 2011; Jeske 2013).

Zur Erhöhung der internen Validität wurden Maßnahmen zur Kontrolle potentieller Störfaktoren in die Untersuchung integriert. Einzelne potentielle Einflussfaktoren der Versuchspersonen wurden erfasst und stichhaltige Experimental- und Kontrollgruppen gebildet. Durch die Parallelisierung der Gruppen konnten vergleichbare Ausprägungen der personalen Merkmale über beide Gruppen hinweg realisiert werden. Die Einweisung der Versuchspersonen in den Versuchsaufbau sowie in die Versuchsdurchführung erfolgte durch eine standardisierte Filmsequenz in polnischer Sprache. Ergänzende externe Eingriffe wurden grundsätzlich ausgeschlossen. Eine sichere Handhabung bezüglich der eingesetzten Werkzeuge wurde durch das vorgelagerte Montage- und Werkzeugtraining gewährleistet. Zudem erfolgte vor dem eigentlichen Montagetraining eine definierte Übungsphase, in der sich die Versuchspersonen mit dem Arbeitssystem und dem gruppenspezifischen Lernmedium vertraut machen konnten. Der Einbezug initialer Übungsversuche beziehungsweise Übungseffekte wurde durch diese Maßnahme reduziert. Als einschränkende Störfaktoren sind die schwankende Leistungsdisposition der Versuchspersonen über einen Arbeitstag hinweg (*physiologische Arbeitskurve*) sowie die generellen Umgebungs faktoren (Bsp.: Lärm, erhöhtes Personenaufkommen) einer Montageumgebung zu berücksichtigen (vgl. Knauth P. 1983, S. 119 ff.). Zudem bestanden aufgrund der limitierten Verfügbarkeit der Versuchspersonen Einschränkungen bezüglich der Operationalisierung des Forschungsvorhabens. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte unter anderem die Erfassung der Gemütszustände der Versuchspersonen (vgl. Kapitel 4.3.1.2) sowie die Abbildung einer höheren Iterationszahl nicht realisiert werden. Zudem kann vermutet werden, dass durch das zwischenzeitliche Geschehen im Rahmen der dreitägigen Qualifizierungsmaßnahme einzelne Versuchspersonen ihren individuellen Reifegrad bezüglich einzelner motorischer Fertigkeiten erhöhen konnten. Die Durchführung des hier definierten Montagetrainings (AGR-Modul-Montage) konnte nicht in allen Fällen am ersten Tag der Qualifizierungsmaßnahme erfolgen.

Zur Beurteilung der statistischen Validität (Signifikanz) der statistischen Ergebnisse wurde die Fehlerwahrscheinlichkeit (p) bei Ablehnung der Nullhypothese ermittelt. Dabei wurde das allgemein übliche Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ angewandt (vgl. Rasch et al. 2014a, S. 42). Im Hinblick auf die praktische Relevanz der Ergebnisse erfolgte durchgängig die ergänzende Darstellung entsprechender Effektgrößen.

7.2.2 Implikationen

Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen und den Limitationen der vorliegenden Arbeit werden an dieser Stelle potentielle Verknüpfungen zur wissenschaftlichen Forschung sowie zur betrieblichen Weiterbildungspraxis dargestellt.

Dem Einsatz einer Augmented Reality-basierten Lernanwendung werden vielversprechende Potentiale bei der Vermittlung berufsmotorischer Fertigkeiten zugesprochen. Weiterführende Forschungsaktivitäten der Arbeitspädagogik hinsichtlich der Nutzung sowie der Gestaltung AR-basierter Lernanwendungen erscheinen daher als obligatorisch. Betont wird an dieser Stelle der vermutete Beitrag zur Bildung innerer Abbilder der korrekten Ausführung manueller Arbeitsschritte. Sowohl während des Montagetrainings als auch im Rahmen der Lernerfolgskontrolle

konnte durch den Einsatz der AR-basierten Anwendung (Experimentalgruppe) das Aufkommen von Montagefehlern reduziert werden. Die Dokumentation von Montagefehlern und Reihenfolgefehlern ermöglichte eine differenzierte Analyse des Lerntransfers. Hinsichtlich der Einhaltung der Schrittfolge während der Lernerfolgskontrolle (Reihenfolgefehler) bestehen keine statistisch signifikanten Unterschiede zu einem gängigen Medium der manuellen Montage (Text-Bild-Kombination). Erhöhte Potentiale der AR-basierten Anwendung bei der Vermittlung von Informationen zur Aufgabenstruktur (Reihenfolge der Arbeitsschritte) konnten folglich nicht beobachtet werden. Im Rahmen sich anschließender Untersuchungen bleibt zu erörtern, ob sich dieser Befund insbesondere unter Erhöhung der Iterationszahl bestätigt.

Im Rahmen der Korrelations- und Regressionsanalysen konnten Zusammenhänge zwischen dem beobachteten Lernverhalten beziehungsweise dem Lernerfolg und einzelnen der zuvor dargestellten personalen Einflussgrößen (vgl. Kapitel 2.1.4) aufgezeigt werden. Als anschlussfähig erscheint die Beobachtung, dass innerhalb der Kontrollgruppe allgemein eine höhere Anzahl statistisch signifikanter Korrelationen zwischen den Observations- sowie Ausführungszeiten und den erfassten personenbezogenen Variablen ermittelt wurde. Neben der Aufnahme weiterer potentieller Einflussgrößen (Bsp.: Gemütszustand der Versuchspersonen) bleibt im Rahmen anknüpfender Forschungsanstrengungen zu erörtern, inwieweit diese Beobachtung auf den Einsatz einzelner AR-Elemente beziehungsweise auf eine Kombination virtueller Elemente zurückgeführt werden kann. Anhand der vorliegenden Ergebnisse wird in einer ersten Näherung vermutet, dass die Darbietung einer unveränderlichen Handlungsinstruktion (Instruction Overlay) die Wirkung personaler Einflussgrößen auf das Lernverhalten reduzieren kann. Erfolgt die Realisierung einer erhöhten Übungszeit beziehungsweise die Anwendung einer erhöhten Iterationszahl, wird eine variable Informationsdarstellung (abnehmende Handlungsführung) empfohlen.

Personeninduzierte Trainingsabbrüche bestehen überwiegend innerhalb der Kontrollgruppe und konnten mit einzelnen personalen Merkmalen in Zusammenhang gebracht werden (Alter und medienbezogene Vorkenntnisse der Versuchspersonen). Die Nutzung beziehungsweise die zielgruppenspezifische Erprobung einer vergleichbaren AR-basierten Anwendung innerhalb überwiegend selbstgesteuerter Lernphasen stellt somit einen relevanten Diskussionsgegenstand dar.

Zur weiterführenden Einordnung der Erkenntnisse beziehungsweise zur Bestätigung der Unterschiedshypothesen kann eine Variation des Kontrollmediums in Betracht gezogen werden. Insbesondere der Einbezug von Videoinstruktionen (in Verbindung mit entsprechenden Autoren-systemen) wird im Kontext des arbeitsplatznahen Lernens in der manuellen Montage wiederkehrend diskutiert (vgl. Goppold und Frenz 2020).

In Anlehnung an die zuvor hergestellte Verknüpfung zwischen industriellen Lernmedien und digitalen (kognitiven) Assistenzsystemen (vgl. Kapitel 2.2.2.2) bestehen potentielle Anschlussmöglichkeiten zwischen der lernförderlichen Gestaltung industrieller Assistenzsysteme und den vorliegenden Untersuchungsergebnissen sowie dem entwickelten Forschungsdesign. Weiterentwicklungen im Bereich der *Künstlichen Intelligenz* (KI) ermöglichen höhere Reifegrade

bezüglich der Implementierung von Echtzeit-Rückmeldungen sowie von individuellen Lernpfaden (adaptives Lernen). Der zugrundeliegende Ansatz von *Learning Analytics* zielt darauf ab, die Akzeptanz der Lern- bzw. Assistenzsysteme zu fördern (vgl. Windelband 2023, S.8 f.; Apt et al. 2018, S. 27). Es ist davon auszugehen, dass unter Nutzung aktueller Fortschritte im Bereich der Künstlichen Intelligenz eine höhere Ausprägung hinsichtlich der Intentionen von *Learning Analytics* abgebildet beziehungsweise in entsprechende Untersuchungen integriert werden kann.

Die Reichweite der Untersuchungsergebnisse wird primär durch den Funktionsumfang der Lernmedien, die berücksichtigten personalen Merkmale sowie durch das abgebildete Arbeitssystem (inkl. der Arbeitsaufgabe) und die eingesetzten Messinstrumente bestimmt. Trotz einzelner Einschränkungen (vgl. Limitationen) bildet das entwickelte Forschungsdesign eine hohe interne und externe Validität ab. Die Auswahl der angewandten Messinstrumente erfolgte unter Berücksichtigung wissenschaftlicher Gütekriterien. Der dargestellte Ansatz ermöglicht die Integration einer multidisziplinären Untersuchung in ein reales betriebliches Qualifizierungsszenario unter Einbezug der relevanten Zielgruppe und beschreibt einzelne Adoptionspotentiale (Bsp.: Iterationszahl, Fügeverfahren) für anknüpfende Untersuchungsvorhaben.

Weiterbildungspraktische Implikationen bestehen insbesondere in der zielgruppenspezifischen Nutzung und Entwicklung einzelner virtueller Elemente zur Unterstützung des Lerntransfers (Bsp.: Instruktion, Lokalisierung, Identifikation) sowie in der prozessualen Integration einzelner Elemente in übungsorientierte Phasen der Arbeitsunterweisung (Bsp.: dritte Phase der Vier-Stufen-Methode). Bezugnehmend auf die kontinuierlichen Weiterentwicklungen im Bereich der Informationstechnologien empfiehlt sich die Erprobung beziehungsweise der reflektierte Einbezug gegenwärtiger Technologien.

7.3 Resümee und Ausblick

Die Wirksamkeit von AR-basierten Lehr-Lern-Medien im Kontext betrieblicher Unterweisungsprozesse der manuellen Serienmontage beschreibt den zentralen Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit. Im Rahmen der empirischen Untersuchungen wurden das Lernverhalten, der Lernerfolg sowie einzelne individuelle Wahrnehmungen und Merkmale der Versuchspersonen analysiert. Die Gestaltung der Untersuchung erfolgte in Anpassung an die Prozesse, die Umgebung sowie die Zielgruppe einer industriellen Serienmontage. Im Umfeld einer betrieblichen Lerninsel wurde ein repräsentatives Arbeitssystem der manuellen Montage erstellt. Die dargebotenen Lehr-Lern-Medien, welche während des Untersuchungszeitraums entwickelt und implementiert wurden, bilden als Arbeits- beziehungsweise Lernmittel einen integrierten Bestandteil des Arbeitssystems. Durch umfangreiche Vorarbeiten konnten geeignete Messinstrumente ausgewählt beziehungsweise in Anpassung an das spezifische Forschungsdesign entwickelt werden.

Die Zielgruppe (formal nicht-qualifizierte Arbeitspersonen der manuellen Montage) konnte durch die Definition der Untersuchungsform (Feldexperiment) beziehungsweise durch die In-

tegration der Untersuchung in eine reale Qualifizierungsmaßnahme des betrieblichen Anwendungspartners abgebildet werden. Die bestehende Heterogenität innerhalb beider Gruppen (Experimental- und Kontrollgruppe) hinsichtlich der Ausprägungen einzelner soziodemographischer Merkmale sowie der Vorkenntnisse der Versuchspersonen konnte im Rahmen der Datenanalyse bestätigt werden und wurde insbesondere durch die initiale Parallelisierung (*Mat-chen*) der Gruppen begünstigt. Darüber hinaus trägt diese Maßnahme zur Kontrolle potentieller Störgrößen bei.

Basierend auf den dargestellten Untersuchungsergebnissen kann der Einsatz einer Augmented Reality-basierten Anwendung im Rahmen der Vermittlung berufsmotorischer Fertigkeiten eine vielversprechende Ergänzung konventioneller Qualifizierungsmaßnahmen darstellen. Hinsichtlich der einbezogenen Variablen des Lernverhaltens sowie des Lernerfolgs konnten im direkten Vergleich mit einem gängigen Unterweisungsmedium der industriellen Montage keine nachteiligen Effekte beobachtet werden. Hervorheben lassen sich unter anderem einzelne Befunde bezüglich des Fehleraufkommens innerhalb beider Gruppen. Sowohl während des Montagetrainings (Lernverhalten) als auch während der Lernerfolgskontrolle (Lernerfolg) konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen ermittelt werden. Innerhalb der Experimentalgruppe (Medium: AR) besteht im direkten Vergleich ein geringeres Fehlerniveau. Signifikante Unterschiede hinsichtlich der Montagefehler bestehen bei der Ausführung der Lernerfolgskontrolle sowie innerhalb der zweiten und dritten Iteration des Montagetrainings. Es wird vermutet, dass durch die systemgenerierte Fehleridentifikation mit anschließender Instruktion der AR-basierten Anwendung die Reproduktion von initialen Montagefehlern (Iteration 1) reduziert wird. Diese Beobachtung wird im Rahmen der Lernerfolgskontrolle mit einem statistisch signifikanten Ergebnis bestätigt. Es kann angenommen werden, dass das AR-basierte Lernmedium Vorteile bei der Vermittlung der korrekten Ausführung beziehungsweise des Zielzustands (inneres Abbild) eines Arbeitsschrittes bietet. Dieses Unterstützungspotential konnte bezüglich der Vermittlung von Strukturinformationen (Sequenz der Arbeitsschritte) im Rahmen des vorliegenden Übungsumfangs nicht bestätigt werden. Bezogen auf die Einhaltung der Schrittfolgenfolge während der Lernerfolgskontrolle (Reihenfolgefehler) bestehen zwischen beiden Gruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Hinsichtlich der einzelnen Phasen des Lernverhaltens (motorisch-aktive und motorisch-passive Phase) wurden Zusammenhänge zwischen den definierten Trainingsparametern und den personalen Merkmalen der Versuchspersonen untersucht. Innerhalb der Kontrollgruppe konnte allgemein eine höhere Anzahl statistisch signifikanter Korrelationen zwischen einzelnen Observations- sowie Ausführungszeiten und den personenbezogenen Variablen ermittelt werden. Obwohl diese Zusammenhänge nicht durchgängig einen signifikanten Einfluss abbilden, erscheint diese Beobachtung als diskussionswürdig. Hinsichtlich der Observationszeiten konnte beobachtet werden, dass sich die Anzahl der Zusammenhänge mit den potentiellen Einflussgrößen erhöht, wenn keine vollständige Instruktion zur Handlungsausführung präsentiert wird (Medium: Text-Bild-Kombination). Aufbauend auf dieser Beobachtung besteht die Annahme, dass die Darbietung einer entsprechenden Instruktion, die einen konstanten Umfang beschreibt, potentielle Einflüsse durch personale Merkmale reduzieren kann.

Darüber hinaus lassen sich an dieser Stelle die Beobachtungen bezüglich der Trainingsabbrüche betonen. Es kam lediglich in vier Fällen zu einem personeninduzierten Abbruch. Hierbei konnten jedoch statistisch signifikante Einflüsse (Prädiktoren) durch personale Merkmale ermittelt werden (Alter, medienbezogene Vorkenntnisse). Der Großteil dieser Trainingsabbrüche (drei von vier Fällen) trat innerhalb der Kontrollgruppe (Medium: Text-Bild-Kombination) auf. Es besteht daher die Vermutung, dass Lernende mit einer entsprechenden Merkmalsausprägung (vergleichsweise höheres Alter oder gering ausgeprägte medienbezogene Vorkenntnisse) von der Nutzung der AR-basierten Anwendung im Lernprozess profitieren können und Einsätze in überwiegend selbstgesteuerten Lernphasen weiterführend erprobt werden sollten.

Die Reichweite der Erkenntnisse der vorliegenden Untersuchungen wird insbesondere durch den abgebildeten Funktionsumfang der Lernmedien, die aufgenommenen personalen Merkmale sowie durch das definierte Arbeitssystem und die eingesetzten Messinstrumente determiniert. Im Rahmen weiterführender Untersuchungen kann neben der Erweiterung des Funktionsumfangs der AR-basierten Anwendung, beispielsweise durch eine an den Lernfortschritt angepasste Informationsdarstellung oder den Einbezug verbaler Trainingselemente, die Erweiterung des Kontrollmediums (Text-Bild-Kombination) diskutiert werden. Das Element der visuellen Fehleridentifikation über ein entsprechendes Kamerasystem sowie eine videobasierte Instruktion können als Ergänzung eines gängigen Unterweisungsmediums in Betracht gezogen werden. Durch die begrenzte Verfügbarkeit der Versuchspersonen im Rahmen der betrieblichen Qualifizierungsmaßnahme bestand eine niedrige Iterationszahl beziehungsweise eine geringe Übungszeit. Die dargestellte Iterationszahl wird jedoch durch die Arbeitsschritte der Demontage relativiert. Der Ablauf des Montagetrainings sieht vor, dass der Rückbau des Montageobjektes zwischen den Iterationen (Herstellung des Ausgangszustandes) ebenfalls von den Versuchspersonen durchgeführt wird. In die Datenanalyse wurden ausschließlich die Arbeitsschritte der Montage aufgenommen. Es bleibt zu klären, wie sich die definierten Parameter des Lernverhaltens sowie des Lernerfolgs mit steigender Iterationszahl entwickeln. Zudem wird im Rahmen anknüpfender Untersuchungen die Abbildung weiterer Fügeverfahren beziehungsweise Arbeitsaufgaben unterschiedlicher Komplexitätsstufen empfohlen. Zur Analyse der Nutzungsintensität sowie der subjektiv empfundenen Unterstützungsleistung einzelner virtueller Elemente im Lernprozess wurden die Observationszeiten beziehungsweise die Anzahl konsumierter Instruktionen und die subjektiven Wahrnehmungen der Versuchspersonen anhand entsprechender Skalen erfasst. Tiefergehende Analysen dieser Gegenstände können durch die Erfassung der Blickbewegungen beziehungsweise des Blickverhaltens der Versuchspersonen erfolgen.

Trotz vielschichtiger Maßnahmen, wie der Rückübersetzung einzelner Messinstrumente beziehungsweise einzelner Skalen, können inhaltliche beziehungsweise semantische Defizite der eingesetzten Fragebogen nicht ausgeschlossen werden. Dieser Umstand ist auf die Durchführung der Untersuchungen im europäischen Ausland zurückzuführen (Polen). Standortbedingte, kulturelle Aspekte oder Einflussgrößen wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht berücksichtigt. Darüber hinaus kann von Messungenauigkeiten hinsichtlich der Observations- sowie der Ausführungszeiten ausgegangen werden. Diese Ungenauigkeiten sind sowohl durch

die individuellen Ausführungen einzelner Fügevorgänge (Bsp.: *Anschrauben*) sowie durch die generelle Vorgehensweise der manuellen Zeitäufnahme begründet. Der Erkenntnisgewinn bezüglich dieser Parameter besteht überwiegend durch die vergleichende Betrachtung der ermittelten Zeitwerte.

Basierend auf den dargestellten Erkenntnissen wird der Einsatz einer Augmented Reality-basierten Anwendung als ein vielversprechender Ansatz zur Erweiterung der konventionellen Lehr-Lern-Medien der manuellen Serienmontage eingeordnet. Die gezielte Nutzung einzelner virtueller Elemente sowie die prozessuale Integration in übungsorientierte Phasen der Arbeitsunterweisung (Bsp.: dritte Phase der Vier-Stufen-Methode) können den Einbezug der individuellen Bedarfe und Eigenschaften der Lernenden unterstützen und somit einzelne Aspekte einer lernförderlichen Gestaltung von betrieblichen Qualifizierungsmaßnahmen abbilden.

8 Anhang

8.1 Fragebogen

8.1.1 Fragebogen I (DE)

8.1.2 Fragebogen I (POL)

8.1.3 Fragebogen II (DE)

8.1.4 Fragebogen II (POL)

8.2 Beobachtungsbogen

8.2.1 Montagetraining - Experimentalgruppe

8.2.2 Montagetraining - Kontrollgruppe

8.2.3 Lernerfolgskontrolle

8.3 Datenauswertung

8.3.1 Übersicht der Variablen

8.3.2 Einordnung und Bewertung von Einzelfällen

8.3.3 Beurteilung und Zielzustände der Montageschritte

8.3.4 Digitale Anhänge

8.1 Fragebogen

8.1.1 Fragebogen I (DE)

Codierung:			
------------	--	--	--

Liebe Teilnehmer/innen,

wir möchten das Montagetraining weiter verbessern und möchten Sie deshalb bitten, sich 10 Minuten Zeit zu nehmen, um diesen Fragebogen auszufüllen. In diesem Fragebogen gibt es keine richtigen oder falschen Antworten. Sie müssen nur entscheiden, in welchem Maße eine Aussage auf Sie persönlich zutrifft. Ihre Angaben werden vertraulich behandelt und anonym ausgewertet. Wir freuen uns auf Ihre Rückmeldung und danken Ihnen für Ihre Teilnahme!

1. Allgemeine Angaben zu Ihrer Person				
Vorname:	Nachname:			
.....				
Benötigen Sie Sehhilfen (Brillen, Kontaktlinsen)?		<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	
Geschlecht:	<input type="checkbox"/> weiblich	<input type="checkbox"/> männlich	<input type="checkbox"/> keine Angabe	
Alter:	<input type="checkbox"/> keine Angabe			
.....				
2. Alle Bildungs- bzw. Berufsabschlüsse mit fachlichem Schwerpunkt:				
<input type="checkbox"/> Szkoła zawodowa	Profil/kierunek:			
<input type="checkbox"/> Liceum ogólnokształcące	Profil/kierunek:			
<input type="checkbox"/> Dyplom mistrzowski	Profil/kierunek:			
<input type="checkbox"/> Technikum	Profil/kierunek:			
<input type="checkbox"/> Licencjat <input type="checkbox"/> Inżynier <input type="checkbox"/> Magister	Tematyka:			
<input type="checkbox"/> Sonstiges:	Bitte ergänzen Profil/kierunek:			
3. Wie schätzen Sie Ihre Kenntnisse und Fähigkeiten in folgenden Bereichen ein?				
	Sehr gut	Gut	Gering	Keine
a) Lesen von technischen Zeichnungen	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
b) Durchführen von Montagetätigkeiten	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
c) Kenntnisse in der Motorenmechanik	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
d) Bedienen von Smartphones	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
e) Bedienen von Tablets	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
f) Lernen mit digitalen Medien (z. B. YouTube-Tutorials, E-Learning usw.)	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
g) Virtual Reality / Augmented Reality durch Gaming (z. B. Playstation)	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
h) Virtual Reality / Augmented Reality durch Filme	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1

4. In welchem Maße können Sie persönlich folgenden Aussagen zustimmen?				
	Stimme zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme gar nicht zu
a) Es macht mir Spaß, an Problemen zu arbeiten, die für mich ein bisschen schwierig sind.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
b) Ich mag Situationen, in denen ich feststellen kann, wie gut ich bin.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
c) Probleme, die schwierig zu lösen sind, reizen mich.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
d) Mich reizen Situationen, in denen ich meine Fähigkeiten testen kann.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
e) Ich möchte gern vor eine etwas schwierige Arbeit gestellt werden.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
f) Es beunruhigt mich, etwas zu tun, wenn ich nicht sicher bin, dass ich es kann.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
g) Auch bei Aufgaben, von denen ich glaube, dass ich sie kann, habe ich Angst zu versagen.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
h) Dinge, die etwas schwierig sind, beunruhigen mich.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
i) Wenn eine Sache etwas schwierig ist, hoffe ich, dass ich es nicht machen muss, weil ich Angst habe, es nicht zu schaffen.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
j) Wenn ich ein Problem nicht sofort verstehe, werde ich ängstlich.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
k) Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
l) Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, meine Absichten und Ziele zu verwirklichen.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
m) In unerwarteten Situationen weiß ich immer, wie ich mich verhalten soll.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
n) Auch bei überraschenden Ereignissen glaube ich, dass ich gut mit ihnen zurechtkommen kann.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
o) Was auch immer passiert, ich werde schon klarkommen.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
p) Wenn ein Problem auftaucht, kann ich es aus eigener Kraft meistern.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1

8.1.2 Fragebogen I (PL)

Codierung:			
------------	--	--	--

Drodzy Uczestnicy,

chcielibyśmy jeszcze ulepszyć szkolenie montażowe, dlatego prosimy o poświęcenie 10 minut na wypełnienie ankiety. W niniejszej ankiecie nie ma odpowiedzi prawidłowych ani nieprawidłowych. Prosimy tylko, aby zdecydowali Państwo, w jakim stopniu dana wypowiedź dotyczy Państwa osobiście. Państwa odpowiedzi będą traktowane poufnie i analizowane anonimowo. Czekamy na Państwa opinię i dziękujemy za uczestnictwo!

1. Ogólne informacje o Panu/Pani				
Imię:	nazwisko:			
Potrzebujesz pomoce optyczne (okulary, szkła kontaktowe)?		<input type="checkbox"/> tak <input type="checkbox"/> nie		
Płeć:	<input type="checkbox"/> kobieta	<input type="checkbox"/> mężczyzna	<input type="checkbox"/> bez podawania	
Wiek:	<input type="checkbox"/> bez podawania			
2. Wszystkie kwalifikacje edukacyjne lub zawodowe o charakterze specjalistycznym:				
<input type="checkbox"/> Szkoła zawodowa	Profil/kierunek:			
<input type="checkbox"/> Liceum ogólnokształcące	Profil/kierunek:			
<input type="checkbox"/> Dyplom mistrzowski	Profil/kierunek:			
<input type="checkbox"/> Technikum	Profil/kierunek:			
<input type="checkbox"/> Licencjat <input type="checkbox"/> Inżynier <input type="checkbox"/> Magister	Tematyka:			
<input type="checkbox"/> Inne(Jakie)	Proszę uzupełnić Profil/kierunek:			
3. Jak ocenia Pan/Pani swoją wiedzę i umiejętności w następujących obszarach?				
	bardzo dobre	dobre	Niewielkie	brak
a) Czytanie rysunków technicznych	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
b) Wykonywanie czynności montażowych	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
c) Znajomość techniki silnikowej	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
d) Obsługa smartfona	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
e) Obsługa tabletu	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
f) Nauka z zastosowaniem cyfrowych mediów (np. tutoriale na YouTube, e-learning...)	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
g) Wirtualna rzeczywistość / rozszerzona rzeczywistość w grach (np. Playstation)	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
h) Wirtualna rzeczywistość / rozszerzona rzeczywistość w filmach	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1

4. W jakim stopniu zgadza się Pan/Pani osobiście z poniższymi stwierdzeniami?				
	zgadzam się	raczej się zgadzam	raczej się nie zgadzam	całkowicie się nie zgadzam
a) Lubię pracować nad problemami, które są dla mnie nieco trudne.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
b) Lubię sytuacje, w których mogę zobaczyć, jak dobry/-a jestem.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
c) Ciekawią mnie problemy, które są trudne do rozwiązania.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
d) Ciekawią mnie sytuacje, w których mogę sprawdzić swoje umiejętności.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
e) Chciałbym/-abym dostać do wykonywania nieco trudniejszą pracę.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
f) Niepokoi mnie, jeśli mam do zrobienia coś, a nie jestem pewien/-na, czy to potrafię.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
g) Także w przypadku zadań, które moim zdaniem potrafię wykonać, obawiam się niepowodzenia.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
h) Niepokoją mnie rzeczy, które są nieco trudne.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
i) Jeśli coś jest trochę trudne, mam nadzieję, że nie będę musiał/-a tego robić, ponieważ obawiam się, że sobie nie poradzę.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
j) Niepokoję się, jeśli nie od razu rozumiem jakiś problem.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
k) Jeśli się postaram, zawsze udaje mi się rozwiązywać trudne problemy.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
l) Nie mam trudności z realizacją moich zamierzeń i celów.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
m) Zawsze wiem, jak się zachować w nieoczekiwanych sytuacjach.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
n) Nawet w obliczu zaskakujących wydarzeń sądzę, że potrafię sobie z nimi poradzić.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
o) Cokolwiek się zdarzy, dam sobie z tym radę.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1
p) Gdy pojawia się problem, radzę sobie z nim samodzielnie.	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1

8.1.3 Fragebogen II (DE)

Codierung:			
------------	--	--	--

Liebe Teilnehmer/innen,

Sie haben gerade ein Montagetraining absolviert und wir möchten gerne Ihre diesbezüglichen Erfahrungen und Einschätzungen erfassen. In diesem Fragebogen gibt es keine richtigen oder falschen Antworten. Es geht vielmehr darum, in welchem Maße eine Aussage auf Sie persönlich zutrifft. Ihre Angaben werden von uns **vertraulich** behandelt und **anonym** ausgewertet.

Wir freuen uns auf Ihre Rückmeldung und möchten uns im Voraus vielmals für Ihre Teilnahme bedanken.

1. Kreuzen Sie in jeder Skala den Punkt an, der Ihre Erfahrung mit der Aufgabe am besten verdeutlicht.														
Geistige Anstrengung										Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Erinnern, Hinsehen, Suchen usw.)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Gering										Hoch				
Manuelle Geschicklichkeit										In welchem Maße war die manuelle Geschicklichkeit bei dieser Aufgabe erforderlich?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Gering										Hoch				
Zeitdruck										Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder des Taks, in der bzw. in dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Gering										Hoch				
Zufriedenheit										Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Gering										Hoch				
Schwierigkeitsgrad										Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Gering										Hoch				
Frustration										Wie unsicher, entmutigt, gestresst und irritiert fühlten Sie sich während der Aufgabe?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Gering										Hoch				
2. Wie sicher fühlen Sie sich bei der Bewältigung der Arbeitsschritte nach dem Training?														
										Stimme zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu
Ich habe das Gefühl, alle Arbeitsschritte an der Arbeitsstation selbstständig und fehlerfrei durchführen zu können.										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe das Gefühl, bei der Durchführung der Arbeitsschritte noch Unterstützung zu benötigen, um fehlerfrei arbeiten zu können.										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. In welchem Maße können Sie folgenden Aussagen bezüglich des Lernmediums (AR/SAB) zustimmen?					
	Stimme zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu
a) Ich kann mir sehr gut vorstellen, das Lernmedium regelmäßig zu nutzen.	<input type="checkbox"/>				
b) Ich empfinde das Lernmedium als unnötig kompliziert.	<input type="checkbox"/>				
c) Ich empfinde das Lernmedium als einfach zu nutzen.	<input type="checkbox"/>				
d) Ich denke, dass ich Unterstützung brauchen würde, um das Lernmedium zu nutzen.	<input type="checkbox"/>				
e) Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Lernmediums gut integriert sind.	<input type="checkbox"/>				
f) Ich finde, dass es im Lernmedium zu viele Widersprüchlichkeiten gibt.	<input type="checkbox"/>				
g) Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.	<input type="checkbox"/>				
h) Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.	<input type="checkbox"/>				
i) Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.	<input type="checkbox"/>				
j) Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.	<input type="checkbox"/>				
4. Zusätzliche Fragen bei der Nutzung des Lernmediums AR. In welchem Maße empfanden Sie folgende Elemente des Lernmediums als hilfreich im Lernprozess?					
	Sehr hilfreich	Etwas hilfreich	Weder noch	Eher nicht hilfreich	Nicht hilfreich
k) Orientierungspfeile	<input type="checkbox"/>				
l) Vormachen der Schritte durch die halbtransparenten Hände	<input type="checkbox"/>				
m) Einfärbung der Hände (grün/rot)	<input type="checkbox"/>				
n) Einblendung der relevanten Werkzeuge und Bauteile	<input type="checkbox"/>				
o) Rückmeldung bzw. Qualitätskontrolle (grüner Haken/rotes Kreuz)	<input type="checkbox"/>				

8.1.4 Fragebogen II (PL)

Codierung:			
------------	--	--	--

Drodzy Uczestnicy,

właśnie ukończyli Państwo szkolenie montażowe, w związku z czym chcielibyśmy zebrać Państwa doświadczenia i oceny. W niniejszej ankcie nie ma odpowiedzi prawidłowych ani nieprawidłowych. Chodzi raczej o to, w jakim stopniu dana wypowiedź dotyczy Państwa osobiście. Państwa odpowiedzi będą przez nas traktowane poufnie i analizowane anonimowo.

Czekamy na Państwa opinie i chcielibyśmy z góry bardzo podziękować za Państwa uczestnictwo.

1. Proszę w każdej skali zaznaczyć punkt, który najlepiej opisuje Pana/Pani doświadczenie z danym zadaniem.														
Wysiłek umysłowy										Ile wysiłku umysłowego wymagało pozyskanie i przetworzenie informacji (np. myślenie, podejmowanie decyzji, przypominanie, sprawdzanie, wyszukiwanie...)? Czy zadanie było łatwe, czy raczej ambitne?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Niski Wysoki														
Sprawność manualna										W jakim stopniu to zadanie wymagało od Ciebie sprawności manualnej ?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Niski Wysoki														
Presja czasu										Jaką presję czasu odczuwał/-a Pan/Pani w związku z częstotliwością lub odstępami czasowymi, w jakich pojawiały się zadania lub elementy zadań? Czy zadanie było powolne i spokojne, czy szybkie i gorączkowe?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Niski Wysoki														
Satysfakcja										W jakim stopniu Pana/Pani zdaniem udało się Panu/Pani osiągnąć cele wyznaczone przez osobę prowadzącą badanie? Jak bardzo był/-a Pan/Pani zadowolony/-a z osiągniętego wyniku?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Niski Wysoki														
Stopień trudności										Jak trudno było wypracować osiągnięty przez Pana/Panią stopień realizacji zadania?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Niski Wysoki														
Frustracja										Jak bardzo niepewny/-a, zniechęcony/-a, zestresowany/-a i zirytowany/-a czuł/-a się Pan/Pani podczas tego zadania?				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Niski Wysoki														
2. Jak pewnie radzi sobie Pan/Pani z czynnościami roboczymi po tym szkoleniu?														
										zgadzam się	raczej się zgadzam	nie mam zdania	raczej się nie zgadzam	nie zgadzam się
a) Mam wrażenie, że jestem w stanie samodzielnie i bezbłędnie wykonywać wszystkie czynności na stanowisku pracy.										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Mam wrażenie, że jeszcze potrzebuję wsparcia w wykonywaniu czynności roboczych, aby móc pracować bezbłędnie.										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. W jakim stopniu zgadza się Pan/Pani z poniższymi stwierdzeniami dotyczącymi medium edukacyjnego (AR/SAB).					
	zgadzam się	raczej się zgadzam	nie mam zdania	raczej się nie zgadzam	nie zgadzam się
a) Móglbym/-abym regularnie korzystać z tego medium edukacyjnego.	<input type="checkbox"/>				
b) Mam wrażenie, że to medium edukacyjne jest niepotrzebnie skomplikowane.	<input type="checkbox"/>				
c) Postrzegam to medium jako łatwe w użyciu.	<input type="checkbox"/>				
d) Myślę, że potrzebowałbym/-abym wsparcia, aby używać tego medium edukacyjnego.	<input type="checkbox"/>				
e) Uważam, że dobrze zintegrowano różne funkcje tego medium edukacyjnego.	<input type="checkbox"/>				
f) Uważam, że w medium edukacyjnym jest zbyt wiele sprzeczności.	<input type="checkbox"/>				
g) Wydaje mi się, że większość ludzi szybko opanuje ten system.	<input type="checkbox"/>				
h) Uważam obsługę za bardzo uciążliwą.	<input type="checkbox"/>				
i) Korzystając z systemu, czułem/-am się bardzo pewnie.	<input type="checkbox"/>				
j) Przed rozpoczęciem pracy z tym systemem, musiałem/-am się nauczyć bardzo wielu rzeczy.	<input type="checkbox"/>				
4. Dodatkowe pytania związane z korzystaniem z medium edukacyjnego AR. W jakim stopniu w procesie uczenia się przydatne były następujące elementy medium edukacyjnego?					
	bardzo przydatne	trochę przydatne	nie mam zdania	raczej nieprzydatne	Nieprzydatne
a) Strzałki orientacyjne	<input type="checkbox"/>				
b) Pokazywanie czynności przez półprzezroczyste ręce	<input type="checkbox"/>				
c) Zabarwienie rąk (na zielono/czerwono)	<input type="checkbox"/>				
d) Wyświetlanie odpowiednich narzędzi i elementów	<input type="checkbox"/>				
e) Opinia lub kontrola jakości (zielony haczyk / czerwony krzyżyk)	<input type="checkbox"/>				

8.2 Beobachtungsbogen

8.2.1 Montagetraining – Experimentalgruppe (AR)

Montage und Demontage: AGR-Modul		Lernmedium: AR V1.6		Interaktion Nr. _____			
Trainingsprotokoll		Version: _____		Interaktion mit dem Lernmedium vor erster Handlung (passiv)*		Interaktion mit dem Lernmedium während der Durchführung (aktiv) i.O.	
Ver such person: Gruppe/ Zuordnung:	Uhrzeit:	Werkzeug:	Verbindungs element:	Anzahl	Konsumierte Action AVI	Anzahl	Anzahl: Systemvalidierung n.i.O.
Nr.	Aufgabe						
1	Wasserleitung anschließen	keine	/	/	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
2	AGR Kühler mit Schraube anschrauben	Schraubendreher	Schraube M6x25	1	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
3	AGR Modul (hinten) mit zwei Schrauben anschrauben	Schraubendreher	Schraube M6x20	2	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
4	AGR Modul mit EDM verschrauben	Akku-Knick-Schrauber	Schraube M6x25	3	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
5	Drucksensor mit Dichtring an Gehäuse anschrauben	keine	/	/	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
6	Elektr. Umschaltventil und Unterdruckleitung aufstecken am Halter und an U-Dose aufstecken	keine	/	/	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
7	Unterdruckleitung an U-Dose aufstecken und an Omega-Clip montieren	keine	/	/	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
8	Demontage der Wasserleitung	keine	/	/	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
9	Demontage des Drucksensors	keine	/	/	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
10	Demontage des Unterdruckleitung	keine	/	/	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
11	Demontage des elekt. Unterdruckventils	keine	/	/	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$
12	Demontage der 3 Schrauben am AGR Modul	Akku-Knick-Schrauber, Zange	Schraube M6x25	3	$t_s = t_f$		$t_s = t_f$

8.2.2 Montagetraining – Kontrollgruppe (ASB)

Montage und Demontage: AGR-Modul		SAB / ASB V1.6		Interaktion mit dem Lernmedium während der Durchführung (aktiv)		Interaktion Nr. _____	
Trainingsprotokoll		Interaktion mit dem Lernmedium während der Durchführung (aktiv)		Anzahl: bemerkte, selbst korrigierte Fehler		Trainereingriff und/oder Bemerkung	
Versuchsperson:	Gruppe/ Zuordnung:	erster Handlung (passiv)*		Anzahl: nicht bemerkte Fehler		Zeit: Zum nächsten Schritt navigiert	
Skil-/Test-/Resultat:		Werkzeuge	Verbindungs-element	Anzahl			
Nr.	Aufgabe						
1	Wasserleitung anschließen	keine	/	/	t _g ≠t _f t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g ≠ ja ○
2	AGR Kühler mit Schraube anschrauben	Schraubendreher	Schraube M6x25	1	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○
3	AGR Modul (hinten) mit zwei Schrauben anschrauben	Schraubendreher	Schraube M6x20	2	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○
4	AGR Modul mit EDM verschrauben	Akku-Knick-Schrauber	Schraube M6x25 Schraube M6x20	3	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○
5	Drucksensor mit Dichtring an Gehäuse anschrauben	keine	/	/	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○
6	Elektr. Umschaltventil und Unterdruckleitung aufstecken am Halter und an U-Dose aufstecken	keine	/	/	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○
7	Unterdruckleitung an U-Dose aufstecken und an Omega-Clip montieren	keine	/	/	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○
8	Demontage der Wasserleitung	keine	/	/	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○
9	Demontage des Drucksensors	keine	/	/	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○
10	Demontage des Unterdruckleitung	keine	/	/	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○
11	Demontage des elektt. Unterdruckventils	keine	/	/	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○
12	Demontage der 3 Schrauben am AGR Modul	Akku-Knick-Schrauber, Zange	Schraube M6x25 Schraube M6x20	3	t _g = t _f =	i.O. ○ n.i.O. ○	t _g = ja ○

8.2.3 Lernerfolgskontrolle

Montage und Demontage: AGR-Modul				Lernmedium: ohne V16		Fehler		Bewertung		Zeiten	
Nr.	Aufgabe	Werkzeuge	Verbindungslement	nicht erfüllte Anforderung / Abweichung		Korrektuuren/Hilfen	Gesamtreihenfolge	Arbeitsergebnis	Arbeitsschritt beendet	Zeit	
				Anzahl: Fehler	Anzahl: Korrigierhilfe						
1	Wasserleitung anschließen	keine	/	/	/	Anzahl: Hilfe angetragen	Anzahl: Hilfe angetragen	eingehaftet	t ₅ =	i.O. <input type="radio"/>	
2	AGR Kühler mit Schraube anschrauben	Schraubendreher	Schraube M6x25	1				nein ○ an Nr. —	t ₁ =	i.O. <input type="radio"/>	
3	AGR Modul (hinten) mit 2 Schrauben anschrauben	Schraubendreher	Schraube M6x20	2				nein ○ an Nr. —	t ₅ =	i.O. <input type="radio"/>	
4	AGR Modul mit EBM verschrauben	Akku-Knick-Schrauber	Schraube M6x25 Schraube M6x20	3				nein ○ an Nr. —	t ₁ =	i.O. <input type="radio"/>	
5	Drucksensor mit Dichtring an Gehäuse anschrauben	keine	/	/	/			nein ○ an Nr. —	t ₅ =	i.O. <input type="radio"/>	
6	Elektr. Umschaltventil und Unterdruckleitung aufstecken am Halter und an U-Dose aufstecken	keine	/	/	/			nein ○ an Nr. —	t ₅ =	i.O. <input type="radio"/>	
7	Unterdruckleitung an U-Dose aufstecken und an Omega-Clip montieren	keine	/	/	/			nein ○ an Nr. —	t ₁ =	i.O. <input type="radio"/>	
8	Demontage der Wasserleitung	keine	/	/	/			nein ○ an Nr. —	t ₅ =	i.O. <input type="radio"/>	
9	Demontage des Drucksensors	keine	/	/	/			nein ○ an Nr. —	t ₁ =	i.O. <input type="radio"/>	
10	Demontage des Unterdruckleitung	keine	/	/	/			nein ○ an Nr. —	t ₅ =	i.O. <input type="radio"/>	
11	Demontage des elektr. Unterdruckventils	keine	/	/	/			nein ○ an Nr. —	t ₁ =	i.O. <input type="radio"/>	
12	Demontage der 3 Schrauben am AGR Modul	Akku-Knick-Schrauber, Zange	Schraube M6x25 Schraube M6x20	3				nein ○ an Nr. —	t ₁ =	i.O. <input type="radio"/>	

8.3 Datenauswertung

8.3.1 Übersicht der Variablen

Name	Typ	Beschriftung	Messniveau
Aktive_Zeit_I1	Numerisch	AZeit_I1	Metrisch
Aktive_Zeit_I2	Numerisch	AZeit_I2	Metrisch
Aktive_Zeit_I3	Numerisch	AZeit_I3	Metrisch
Alter	Numerisch	Alter	Metrisch
AMSHoffnung	Numerisch	AMSHoffnung	Metrisch
AMSMisserfolg	Numerisch	AMSMisserfolg	Metrisch
AMSNettoerfolg	Numerisch	AMSNettoerfolg	Metrisch
Anzahl_Fehler_I1	Numerisch	Fehler_I1	Metrisch
Anzahl_Fehler_I2	Numerisch	Fehler_I2	Metrisch
Anzahl_Fehler_I3	Numerisch	Fehler_I3	Metrisch
Anzahl_Montagefehler_LEK	Numerisch	Montagefehler_LEK	Metrisch
Anzahl_SchrittreihenfolgeFehler_LEK	Numerisch	ReihenfolgeFehler_LEK	Metrisch
AVI_I1_vor_Handlung	Numerisch	AVI_I1	Metrisch
AVI_I2_vor_Handlung	Numerisch	AVI_I2	Metrisch
AVI_I3_vor_Handlung	Numerisch	AVI_I3	Metrisch
AVI_vor_Handlung_gesamt	Numerisch	AVIgesamt	Metrisch
BAR_Einblendung_Werkzeug_Bauteile	Numerisch	BARd	Ordinal
BAR_Einfärbung_Hände	Numerisch	BARc	Ordinal
BAR_InstruktionOverlay	Numerisch	BARb	Ordinal
BAR_Orientierungspfeile	Numerisch	BARa	Ordinal
BAR_Rückmeldung	Numerisch	BARe	Ordinal
Bedienen_Mittelwert	Numerisch	Bedienen_SPundT	Ordinal
Bedienen_von_Smartphones	Numerisch	Bedienen_SP	Ordinal
Bedienen_von_Tablets	Numerisch	Bedienen_T	Ordinal
Berufsgruppe	Numerisch	Berufsgruppe	Nominal
Bewältigung_Arbeitsschritte_geleitet	Numerisch	SBAb	Ordinal
Bewältigung_Arbeitsschritte_eigenständig	Numerisch	SBAa	Ordinal
Durchführen_von_Montagetätigkeiten	Numerisch	Montagetätigkeiten	Ordinal
Fehler_LEK_Gesamt	Numerisch	FehlerGesamt_LEK	Metrisch
Geschlecht	Numerisch	Geschlecht	Nominal
Gruppe	Numerisch	Gruppe	Nominal
GSEgesamt	Numerisch	GSEgesamt	Metrisch
Hilfe_angefragt	Numerisch	Hilfe_LEK	Metrisch
HöchsterAbschluss	Zeichenfolge	HöchsterAbschluss	Nominal
Kenntnisse_in_der_Motorentechnik	Numerisch	Motorentechnik	Ordinal
Kodierung	Zeichenfolge	Kodierung	Nominal
Kritischer_Eingriff_Beobachtungsinstanz	Numerisch	Eingriff_extern	Nominal
Lernen_mit_digitalen_Medien	Numerisch	ELearning	Ordinal
Lesen_von_technischen_Zeichnungen	Numerisch	Techn_Zeichnung	Ordinal

Name	Typ	Beschriftung	Messniveau
Montagetest_Ergebnis	Numerisch	Montagetest_Ergebnis	Metrisch
Montagezeit_LEK_S1bisS7	Numerisch	Ausführungszeit_LEK	Metrisch
NASAg gesamt	Numerisch	NASAg gesamt	Metrisch
Passive_Zeit_I1	Numerisch	PZeit_I1	Metrisch
Passive_Zeit_I2	Numerisch	PZeit_I2	Metrisch
Passive_Zeit_I3	Numerisch	PZeit_I3	Metrisch
Profil	Zeichenfolge	Profil	Nominal
Profil_deutsch	Zeichenfolge	Profil_deutsch	Nominal
Schritte_vollständig_LEK	Numerisch	Montage_vollst_LEK	Nominal
Sehhilfe	Numerisch	Sehhilfe	Nominal
SUSWert	Numerisch	SUSWert	Metrisch
Trainingsabbruch_Systembedingt	Numerisch	Abbruch_System	Nominal
Trainingsabbruch_Versuchsperson	Numerisch	Abbruch_Person	Nominal
Vorkenntnisse_aufgabenbezogen	Numerisch	Vorkenntnisse_aufgabenbezogen	Ordinal
Vorkenntnisse_medienbezogen	Numerisch	Vorkenntnisse_medienbezogen	Ordinal
VR_oder_AR_durch_Filme	Numerisch	VRAR_Filme	Ordinal
VR_oder_AR_durch_Gaming	Numerisch	VRAR_Gaming	Ordinal
VR_oder_AR_Mittelwert	Numerisch	VRAR_Gesamt	Ordinal

8.3.2 Einordnung und Bewertung von Einzelfällen

Fall	Fallbeschreibung	Einordnung
A090501	Versuchsperson war am zweiten Tag nicht anwesend → keine LEK möglich	LEK: fehlende Werte
A080508	Videoprotokoll-Datei beschädigt, Zeiten konnten nicht verifiziert werden → Keine Auswertung der Trainings- und LEK-Daten	Daten teilweise nicht verwertbar
A080507	Videoprotokoll-Datei beschädigt, Zeiten konnten nicht verifiziert werden → Keine Auswertung der Trainingsdaten, LEK-Aufnahme verwertbar	Daten teilweise nicht verwertbar
S040401	Abbruch durch Versuchsperson innerhalb der ersten Iteration (Schritt 4 und Schritt 6), Training konnte nicht ohne externe Unterstützung fortgesetzt werden → Keine Auswertung der Trainings- und LEK-Daten	Abbruch durch Versuchsperson bzw. externe Eingriffe
A030405	Abbruch durch Versuchsperson innerhalb der ersten Iteration (Schritt 3 und Schritt 4), Training konnte nicht ohne externe Unterstützung fortgesetzt werden → Keine Auswertung der Trainings- und LEK-Daten	Abbruch durch Versuchsperson bzw. externe Eingriffe
S060303	Abbruch durch Versuchsperson innerhalb der ersten Iteration (Schritt 2 und Schritt 3), Training konnte nicht ohne externe Unterstützung fortgesetzt werden → Keine Auswertung der Trainings- und LEK-Daten	Abbruch durch Versuchsperson bzw. externe Eingriffe
S080510	Abbruch durch Versuchsperson innerhalb der ersten Iteration (Schritt 2, Schritt 3 und Schritt 6), Training konnte nicht ohne externe Unterstützung fortgesetzt werden → Keine Auswertung der Trainings- und LEK-Daten	Abbruch durch Versuchsperson bzw. externe Eingriffe
A080404	Fehlerhafte Validierung des Montageergebnis (innerhalb der ersten beiden Iterationen werden bei den Schritten 2 und 3 Montagefehler nicht erkannt und mit i.O. bewertet → Keine Auswertung der Trainings- und LEK-Daten	Systembedingter Abbruch
A090507	Fehlerhafte Validierung des Montageergebnis (innerhalb der zweiten Iteration wird Montagefehler bei Schritt 6 nicht erkannt und mit i.O. bewertet → Keine Auswertung der Trainings- und LEK-Daten	Systembedingter Abbruch
A060302	Software-Ausfälle, Training musste mehrfach unterbrochen werden → Keine Auswertung der Trainings- und LEK-Daten	Systembedingter Abbruch

S050603	Versuchsperson führt Schritt 4 innerhalb der ersten Iteration nicht aus → Es wurde keine max. Bearbeitungszeit bei Nicht-Durchführung definiert; die aktive Zeit I1 wird nicht gewertet	Motorisch-aktive Phase Iteration 1 = -99 (fehlender Wert)
S050605	Person möchte (nachträglich) nicht als Versuchsperson in die Datenanalyse aufgenommen werden	Daten werden nicht verwertet

8.3.3 Beurteilung und Zielzustände der Montageschritte

Schritt Nr.	Beurteilungskriterien (Wird ein Arbeitsschritt nicht durchgeführt wird innerhalb der Gesamtbeurteilung die maximale Fehlerzahl hinterlegt)	Anzahl potentieller Montagefehler*
1	(1) Wasserleitung aufgeschoben	1
2	(1) Schraube M6x25 an definierter Position angeschraubt	1
3	(1) Schraube M6x20 an definierter Position angeschraubt (2) Schraube M6x20 an definierter Position angeschraubt (Teil-Schritt-Reihenfolge nicht kritisch)	2
4	(1) Schraube M6x25 mit E-Schrauber festgeschraubt (2) Schraube M6x20 mit E-Schrauber festgeschraubt (3) Schraube M6x20 mit E-Schrauber festgeschraubt (4) Vorgegebene Anzugsreihenfolge eingehalten	4
5	(1) Drucksensor an definierter Position angeschraubt	1
6	(1) Ventil an definierter Position (Halter) aufgeschoben (2) Unterdruckleitung an definierter Position aufgeschoben (Teil-Schritt-Reihenfolge nicht kritisch)	2
7	(1) Unterdruckleitung an definierter Position aufgeschoben (2) Unterdruckleitung an definierter Position (Clip) einge-hängt (Teil-Schritt-Reihenfolge nicht kritisch)	2

*ohne Beachtung der Schritteihenfolge

8.3.4 Digitale Anhänge

Der vorliegenden Ausarbeitung wurden über ein elektronisches Speichermedium (USB-Stick) alle erstellten Ausgabedateien (*SPSS Statistics Output Document*) der Datenanalyse beigefügt:

- 01_Auswertung_Alter, Geschlecht, Berufsgruppe, Bildung
- 02_Auswertung_Vorkenntnisse, Montagetest
- 03_Auswertung_Skalen Vorkenntnisse_Cronbachs Alpha
- 04_Auswertung_AMS, GSE
- 05_Auswertung_NASA
- 06_Auswertung_SUS, Elemente AR
- 07_Auswertung_Observationszeit_Training
- 08_Auswertung_Instruktionsnutzung_Training
- 09_Auswertung_Ausfuehrungszeit_Training
- 10_Auswertung_Montagefehler_Training
- 11_Auswertung_Trainingsabbrueche
- 12_Auswertung_Selbsteinschaetzung_Lernerfolg
- 13_Auswertung_Ausfuehrungszeit_LEK
- 14_Auswertung_Montagefehler_LEK
- 15_Auswertung_Reihenfolgefehler_LEK
- 16_Auswertung_Hilfsmittel_LEK

Literaturverzeichnis

Aehnelt, Mario; Müller, Andreas (2016): Werker der Zukunft: Assistenz im Zeitalter von Industrie 4.0. In: Christoph Kutter (Hg.): *VDE-Kongress – Internet der Dinge: Technologien, Anwendungen, Perspektiven*. Kongressbeiträge. Mannheim, 7.-8. November 2016. VDE e.V. Berlin: VDE Verlag.

Anderson, John R. (2000): Learning and memory. An integrated approach. 2. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc.

Apt, Wenke; Bovenschulte, Marc; Priesack, Kai; Weiss, Christine; Hartmann, Ernst (2018): Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb. Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Forschungsbericht, 502). Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-56159-9>, zuletzt geprüft am 19.06.2025.

Arendt, Hannah (2007): Vita activa oder Vom tätigen Leben. Taschenbuchsonderausg., 5. Aufl. München: Piper (Serie Piper, 3623).

Baddeley, Alan D. (1992): Working memory. Repr. Oxford: Clarendon Pr (Oxford science publications, 11).

Baldwin, Timothy T.; Ford, J. K. (1988): Transfer of training: A review and directions for future research. In: *Personnel psychology* (41.1), S. 63–105.

Bandura, Albert (1986): Social foundations of thought and action. A social cognitive theory. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall (Prentice-Hall series in social learning theory).

Bangor, Aaron; Kortum, Philip T.; Miller, James T. (2008): An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. In: *International Journal of Human-Computer Interaction* 24 (6), S. 574–594. DOI: 10.1080/10447310802205776.

Bannat, Alexander (2014): Ein Assistenzsystem zur digitalen Werker-Unterstützung in der industriellen Produktion. Dissertation. Technische Universität München.

Beck, Ulrich; Giddens, Anthony; Lash, Scott (1996): Reflexive Modernisierung. Eine Kontroverse. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Edition Suhrkamp, 1705 = N.F.; Bd. 705).

Becker, K.-D. (2015): Arbeit in der Industrie 4.0 – Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. In: Ernst Hartmann (Hg.): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Unter Mitarbeit von Alfons Botthof. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 23–30.

Beckmann, Katharina; Glemser, Axel; Heckel, Christiane; et.al (2016): Demographische Standards. Eine gemeinsame Empfehlung des ADM, Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute e.V., der Arbeitsgemeinschaft Sozialwissenschaftlicher Institute e.V. (ASI) und

des Statistischen Bundesamtes. 6., überarbeitete Auflage. Wiesbaden (Statistik und Wissenschaft, 17). Online verfügbar unter https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEMografie_mods_00003695, zuletzt geprüft am 20.06.2025.

Beierlein, Constanze; Kovaleva, Anastassya; Kemper, Christoph J.; Rammstedt, Beatrice (2012): Ein Messinstrument zur Erfassung subjektiver Kompetenzerwartungen: Allgemeine Selbstwirksamkeit Kurzskala (ASKU). Mannheim (GESIS-Working Papers, Bd. 2012/17).

Beiling, Britta; Venitz, Janis; Weber, Franziska; Bauer, Thomas (2024): Einsatz immersiver Lerntechnologien in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung. In: Katrin Böttcher und Alexandra Merkert (Hg.): *Kommunikation und Beratung digital. Ansätze und Entwicklungen im Bildungs- und Arbeitskontext*. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos (Managementkonzepte, 40), S. 113–136.

Bellalouna, Fahmi; Langebach, Robin; Stamer, Volker; Zipperling, Franco (2022): Use Cases für industrielle Anwendungen der Augmented Reality Technologie - Use Cases for Industrial Applications of Augmented Reality Technology. In: *HMD* 59. DOI: 10.1365/s40702-021-00824-x.

Beuting, Jürgen; Haase, Tina; Termath, Wilhelm (2010): Qualifizierung von technischen Fachkräften in der Instandhaltung von Hochspannungsbetriebsmitteln mit Methoden der Virtual Reality. In: *Lernen & Lehren* 25 (97), S. 26–33.

Bittmann, Andreas; Novak, Hermann (1996): Die Entwicklung der Lernorte in Gaggenau als ein Prozess der Ausdifferenzierung von Lernorten im Kontext eines permanenten Anforderungswandels. In: Peter Dehnbostel (Hg.): *Neue Lernorte und Lernortkombinationen - Erfahrungen und Erkenntnisse aus dezentralen Berufsbildungskonzepten*. Bielefeld: Bertelsmann (Berichte zur beruflichen Bildung, H. 195), S. 121–143.

Blume, Brian; Ford, J.; Baldwin, Timothy; Huang, Jason (2010): Transfer of Training: A Meta-Analytic Review. In: *Journal of Management* 36, S. 1065–1105. DOI: 10.1177/0149206309352880.

BMBF (2006): Arbeiten, Lernen, Kompetenzen entwickeln. Innovationsfähigkeit in einer modernen Arbeitswelt: BMBF-Forschungs- und Entwicklungsprogramm. Bonn, Berlin: BMBF, Referat Öffentlichkeitsarbeit (Forschung - Ideen zünden!).

BMBF (2014): Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen. In: *Programmbroschüre, Bundesministerium für Bildung und Forschung*, Referat – Forschung für Produktion, Dienstleistung und Arbeit, Bonn.

BMBF (2015): eQualification 2016. Lernen und Beruf digital verbinden: Projektband des Förderbereichs "Digitale Medien in der beruflichen Bildung". Stand Dezember 2015. Berlin.

BMBF (2016): AmbiWise - Alltagsgerechte, mobile, kontext-sensitive Benutzungsschnittstellen für optimierten Wissensaustausch. Verbundprojekt-Nr. V4ISS035. Unter Mitarbeit von Bundesministerium für Bildung und Forschung. Online verfügbar unter <https://www.interaktive-technologien.de/projekte/ambi-wise>, zuletzt geprüft am 18.03.2025.

Böhle, Fritz; Voß, G. Günter; Wachtler, Günther (Hg.) (2010): Handbuch Arbeitssoziologie. Unter Mitarbeit von Anna Hoffmann. 1. Auflage. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwissenschaften.

Bokranz, Rainer; Landau, Kurt; Deutsche MTM-Vereinigung e.V. (Hg.) (2006): Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. MTM-Handbuch. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Bortz, Jürgen (2002): Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler. 3., überarb. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (Springer-Lehrbuch).

Breyer, B.; Bluemke, M. (2016): Deutsche Version der Positive and Negative Affect Schedule PANS (GESIS Panel).

Brill, Manfred (Hg.) (2009): Virtuelle Realität. Berlin, Heidelberg: Springer.

Brooke, J. (1996): SUS-A quick and dirty usability scale. In: Patrick W. Jordan, Bruce Thomas, Bernard A. Weerdmeester und Ian Lyall McClelland (Hg.): *Usability evaluation in industry*. First edition. Bristol, PA, London, ©1996: Taylor and Francis.

Buck, Hartmut; Witzgall, Elmar (2012): Mitarbeiterqualifizierung in der Montage. In: Bruno Lotter und Hans-Peter Wiendahl (Hg.): *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis*. 2. Aufl. 2012. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI), S. 397–417.

Bühner, Markus; Ziegler, Matthias (2009): Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. München, Harlow, Amsterdam, Madrid, Boston, San Francisco, Don Mills, Mexiko City, Sydney: Pearson Education.

Bullinger, Hans-Jörg; Witzgall, Elmar (Hg.) (2002): Qualifikationsmanagement in der Produktion. Pläne und Werkzeuge für die Baustelle Lernende Organisation. Stuttgart: Fraunhofer - Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

Bundesagentur für Arbeit (2011a): Klassifikation der Berufe 2010, Band 1: Systematischer und alphabetischer Teil mit Erläuterungen, Bundesagentur für Arbeit, Nürnberg.

Bundesagentur für Arbeit (2011b): Klassifikation der Berufe 2010/Band 2: Definitorischer und beschreibender Teil, Bundesagentur für Arbeit, Nürnberg.

Bunk, Gerhard P. (1982): Einführung in die Arbeits-, Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Heidelberg: Quelle & Meyer (UTB, 1172).

Bunk, Gerhard P. (1991): REFA - Methodenlehre der Betriebsorganisation. Arbeitspädagogik. 3. Auflage. München: Hanser.

Cohen, Jacob (1988): Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2. ed. Hillsdale, NJ: Erlbaum. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203771587>. zuletzt geprüft am 20.06.2025.

Collins, Alan; Brown, John Seely; Newmann, Sudan E. (1989): Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing and mathematics. In: Lauren B. Resnick (Hg.): *Knowing, learning,*

and instruction. Essays in honor of Robert Glaser. Unter Mitarbeit von Robert Glaser. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, S. 453–494.

Colquitt, J. A.; LePine, J. A.; Noe, R. A. (2000): Toward an integrative theory of training motivation: a meta-analytic path analysis of 20 years of research. In: *The Journal of applied psychology* 85 (5), S. 678–707. DOI: 10.1037/0021-9010.85.5.678.

Cooper, George E.; Harper, Robert P. (1969): The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities: National Aeronautics and Space Administration.

Cranach, Mario von (1994): Die Unterscheidung von Handlungstypen - Ein Vorschlag zur Weiterentwicklung der Handlungspsychologie. In: B. R. Bergmann, P. (Ed.): *Die Handlungstheorie. Von der Praxis einer Theorie*, S. 69–88.

Cronbach, Lee J. (1951): Coefficient alpha and the internal structure of tests. In: *Psychometrika* 16 (3), S. 297–334. DOI: 10.1007/BF02310555.

Czerniak-Wilmes, J.; Brandl, Christopher; Mertens, A. W.; Schlick, C. (2017): Innovative Mensch-Maschine-Interaktionskonzepte für den Facharbeiter der Zukunft in der Produktion 4.0. In: Georg Spöttl und Lars Windelband (Hg.): *Industrie 4.0. Risiken und Chancen für die Berufsbildung*, Bd. 4. Bielefeld: wbv (Berufsbildung, Arbeit und Innovation, Band 44), S. 171–188.

Dehbostel, Peter (1994): Erschließung und Gestaltung des Lernorts Arbeitsplatz. In: *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis* (23), S. 13–18.

Dehbostel, Peter (1995): Dezentrales Lernen als didaktische Orientierung einer Modellversuchsreihe. In: Peter Dehbostel, Hans-Joachim Walter-Lezius und Herbert Arndt (Hg.): *Didaktik moderner Berufsbildung. Standorte, Entwicklungen, Perspektiven*. Bielefeld: Bertelsmann (Berichte zur beruflichen Bildung, 186), S. 64–77.

Dehbostel, Peter (2007): Lernen im Prozess der Arbeit. Münster: Waxmann (Studienreihe Bildungs- und Wissenschaftsmanagement, 7).

Dehbostel, Peter (2015): Betriebliche Bildungsarbeit. Kompetenzbasierte Aus- und Weiterbildung im Betrieb. 2., erw. und neubearb. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren (Studentexte Basiscurriculum Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Bd. 9).

Dehbostel, Peter (2016): Informelles Lernen in der betrieblichen Bildungsarbeit. In: Matthias Rohs (Hg.): *Handbuch Informelles Lernen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 343–364.

Deuse, Jochen; Weisner, Kirsten; Hengstebeck, Andre; Busch, Felix (2015): Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In: Alfons Bothof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 99–109.

Dyrna, Jonathan; Riedel, Jana; Schulze-Achaz, Sylvia; Köhler, Thomas (2021): Selbstgesteuertes Lernen in der beruflichen Weiterbildung. Ein Handbuch für Theorie und Praxis. Waxmann Verlag GmbH.

Engeser, Stefan (2005): Messung des expliziten Leistungsmotivs: Kurzform der Achievement Motives Scale [Measuring the explicit achievement motive: A short version of the Achievement Motives Scale]. In: *Unpublished manuscript, University of Potsdam, Germany*.

Franke, Guido; Kleinschmitt, Manfred (1987): Der Lernort Arbeitsplatz. Eine Untersuchung der arbeitsplatzgebundenen Ausbildung in ausgewählten elektrotechnischen Berufen der Industrie und des Handwerks. Berlin: Beuth (Schriften zur Berufsbildungsforschung, 65).

Fröhlich, Werner D. (2002): Wörterbuch Psychologie. Orig.-Ausg., 24., durchges. Aufl. München: Dt. Taschenbuch-Verl. (dtv, 32514).

Gagné, Robert Mills; Briggs, Leslie J.; Wager, Walter W. (1992): Principles of instructional design. 4. ed. Belmont CA: Wadsworth/Thomson Learning.

Galaske, N.; Rönick, K.; Stockinger, C. (2019): Leitfaden Arbeit 4.0. Erfassung und Verarbeitung sensibler Mitarbeiterdaten für Assistenzsysteme in der Produktion. In: *Mittelstand 4.0 - Kompetenzzentrum Darmstadt*.

Galperin, Piotr J. (1973): Die Psychologie des Denkens und die Lehre von der etappenweisen Ausbildung geistiger Handlungen. In: *Untersuchungen des Denkens in der sowjetischen Psychologie*, S. 81–119.

Gehlen, Arnold (1957): Die Seele im technischen Zeitalter. Sozialpsychologische Probleme in der industriellen Gesellschaft. Hamburg: Rowohlt.

Gerschner, K.; Molitor, M.; Frenz, M. (2017): Analyse von Arbeitsanforderungen zur Entwicklung eines Weiterbildungskonzepts mit Autorensystemen in der industriellen Produktion. In: Matthias Becker, Christian Dittmann, Julia Gillen, Stefanie Hiestand und Rita Meyer (Hg.): *Einheit und Differenz in den gewerblich-technischen Wissenschaften. Berufspädagogik, Fachdidaktiken und Fachwissenschaften*. Berlin, Münster: LIT (Bildung und Arbeitswelt, Band 33), S. 310–325.

Gidion, Gerd (2006): Arbeitsbezogene Lernanwendungen und ihre Wirksamkeit. In: Burkhard Lehmann, Heinrich Dieckmann und Karl-Heinz Dittrich (Hg.): *Kompetenztransfer durch selbstgesteuertes Lernen*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt Verlag, S. 133–149.

Gjesme, Torgrim; Nygard, Roald (1970): Achievement-related motives: Theoretical considerations and construction of a measuring instrument. Hg. v. University of Oslo.

Goldstein, Irwin L. (2002): Training in organizations. 4. ed. Belmont CA: Wadsworth.

Gopher, Daniel (2012): Skill training in multimodal virtual environments. In: *Work (Reading, Mass.)* 41 Suppl 1, S. 2284–2287. DOI: 10.3233/WOR-2012-0452-2284.

Goppold, Marvin; Frenz, Martin (2020): Lernen im Prozess der Arbeit: Entwicklung, Umsetzung und Evaluation einer Weiterbildung zur manuellen Montage unter Einsatz von Autorensystemen. In: *Z. Arb. Wiss.* 74 (2), S. 100–116. DOI: 10.1007/s41449-020-00202-1.

Görhofer, Andreas (2020): Quantitative Auswertung und Identifikation potentieller Prädiktoren bei der Anwendung eines Augmented Reality – basierten Konzeptes zur Mitarbeiterqualifizierung in der manuellen Montage. Masterthesis. KIT – Karlsruher Institut für Technologie. Institut für Berufspädagogik und Allgemeine Pädagogik.

Gorz, André (1994): Kritik der ökonomischen Vernunft. Sinnfragen am Ende der Arbeitsgesellschaft. Hamburg: Rotbuch-Verl. (Rotbuch-Taschenbuch, 1003).

Greif, Siegfried (Hg.) (1994): Die Arbeits- und Organisationspsychologie. Gegenstand und Aufgabenfelder ; Lehre und Forschung ; Fort- und Weiterbildung. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe, Verl. für Psychologie.

Greiff, Malte de (2001): Die Prognose von Lernkurven in der manuellen Montage unter besonderer Berücksichtigung der Lernkurven von Grundbewegungen. Dissertation. Universität Duisburg, Düsseldorf. VDI-Verlag.

Grier, Rebecca A. (2015): How High is High? A Meta-Analysis of NASA-TLX Global Workload Scores. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 59 (1), S. 1727–1731. DOI: 10.1177/1541931215591373.

Haase, Tina; Berndt, Dirk; Termath, Wilhelm; Dick, Michael (2022): Digitale Assistenz- und Lernsysteme. In: *Industrie 4.0 Management* (38). DOI: 10.30844/i40m_22-2_19-22.

Hacker, Winfried (1980): Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie. Psych. Struktur u. Regulation von Arbeitstätigkeiten. 3., durchges. u. erg. Aufl. Berlin: Dt. Verl. d. Wiss.

Hacker, Winfried (1983): Tätigkeits-Bewertungssystem. Berlin: Psychodiagnost. Zentrum, Sekt. Psychologie d. Humboldt Universität.

Hacker, Winfried (1998): Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. 1. Aufl. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Huber (Schriften zur Arbeitspsychologie, Nr. 58).

Hacker, Winfried (2005): Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit. 2., vollst. überarb. und erg. Aufl. Bern: Huber (Schriften zur Arbeitspsychologie, 58).

Hacker, Winfried; Richter, Peter (1980): Psychische Fehlbeanspruchung. Psychische Ermüdung Monotonie Sättigung und Stress. Berlin: Dt. Verl. d. Wissenschaften (Spezielle Arbeits- und Ingenieurpsychologie in Einzeldarstellungen, 2).

Hacker, Winfried; Sachse, Pierre (2014): Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Tätigkeiten. 3., vollst. überarb. Aufl. Göttingen, Bern, Wien: Hogrefe.

Hacker, Winfried; Skell, Wolfgang (1993): Lernen in der Arbeit. Berlin: Bundesinst. für Berufsbildung.

Hammer, Wilfried (1997): Wörterbuch der Arbeitswissenschaft. Begriffe und Definitionen. 1. Aufl. München: Hanser (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation).

Hart, Sandra G. (2006): Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 50 (9), S. 904–908. DOI: 10.1177/154193120605000909.

Hart, Sandra G.; Staveland, Lowell E. (1988): Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Peter Hancock und Najmedin Meshkati (Hg.): *Human Mental Workload*, Bd. 52: Elsevier Science Publishing (Advances in Psychology), S. 139–183.

Hartmann, Ernst (2015): Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen. In: Ernst Hartmann (Hg.): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Unter Mitarbeit von Alfonso Botthof. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 9–20.

Herzog, Henning (Hg.) (1981): Das Programm "Forschung zur Humanisierung des Arbeitslebens". Ergebnisse und Erfahrungen arbeitsorientierter Forschung, 1974 - 1980. Projektträgerschaft Humanisierung des Arbeitslebens. Frankfurt a. M.: Campus-Verlag (Schriftenreihe "Humanisierung des Arbeitslebens", 1).

Hinrichsen, S.; Riediger, D.; Unrau, A. (2017): Anforderungsgerechte Gestaltung von Montageassistenzsystemen. Online verfügbar unter <https://refa.de/blog-industrial-engineering/anforderungsgerechte-gestaltung-von-montageassistenzsystemen>. zuletzt geprüft am 20.06.2025.

Hinrichsen, Sven; Bendzioch, Sven (2019): How Digital Assistance Systems Improve Work Productivity in Assembly. In: Isabel L. Nunes (Hg.): *Advances in Human Factors and Systems Interaction*. Cham: Springer International Publishing, S. 332–342.

Hinz, Andreas; Schumacher, Jörg; Albani, Cornelia; Schmid, Gabriele; Brähler, Elmar (2006): Bevölkerungsrepräsentative Normierung der Skala zur Allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung. In: *Diagnostica* 52 (1), S. 26–32.

Horz, Holger (2009): Medien. In: Elke Wild und Jens Möller (Hg.): *Pädagogische Psychologie*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 103–125.

Horz, Holger; Ulrich, Immanuel (2015): Lernen mit Medien. In: Hartmut Ditton, Cornelia Gräsel und Burkhard Gniewosz (Hg.): *Empirische Bildungsforschung. Gegenstandsbereiche*. 2., überarbeitete Aufl. 2015. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften (Springer eBook Collection), S. 25–39.

- Huk, Thomas (2006): Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability (Journal of Computer Assisted Learning (2006) 22 (392-404)). In: *J. Comp. Assisted Learning* 22, S. 392–404. DOI: 10.1111/j.1365-2729.2006.00180.x.
- Immenroth, Marc (2003): Mentales Training in der Medizin. Anwendung in der Chirurgie und Zahnmedizin. Hamburg: Dr. Kovač (Studienreihe Psychologische Forschungsergebnisse, 97).
- Jeske, Tim (2013): Entwicklung einer Methode zur Prognose der Anlernzeit sensumotorischer Tätigkeiten. Dissertation. RWTH Aachen.
- Jeske, Tim; Garrel, Jörg; Starke, Jan (2011): Erfolgsfaktor Flexibilität - Ergebnisse einer deutschlandweiten Unternehmensbefragung 64, S. 20–23.
- Jeske, Tim; Schlick, Christopher M.; Mütze-Niewöhner, Susanne (2014): Unterstützung von Lernprozessen bei Montageaufgaben. In: Christopher Marc Schlick, Klaus Moser und Michael Schenk (Hg.): *Flexible Produktionskapazität innovativ managen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 163–192.
- Kampker, A.; Osebold, R.; Trautz, Martin; Burggräf, Peter; Krunk, M.; Meckelnborg, A. et al. (2012): Fabrikplanung, Forschung Innovative Fabriken interdisziplinär planen. In: *wt Werkstattstechnik online* 102, S. 186–192.
- Kerres, Michael (2003): Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. In: Reinhard Keill-Slawik (Hg.): *Education Quality Forum 2002. Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien*. Münster: Waxmann, S. 31–44.
- Kiesel, Andrea; Koch, Iring (2012): Lernen. Grundlagen der Lernpsychologie. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden (Basiswissen Psychologie).
- Kieser, Alfred (1993): Managementlehre und Taylorismus. In: Alfred Kieser (Hg.): *Organisationstheorien*. 3. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer, S. 65–100.
- Kirkpatrick, Donald L. (1996): Evaluating Training Programs: The Four Levels. In: *The American Journal of Evaluation*, S. 259–261. DOI: 10.1016/S1098-2140(99)80206-9.
- Kleinbeck, Uwe (Hg.) (2010): Arbeitspsychologie. [Vollst. Neuausg.]. Göttingen, Bern: Hogrefe Verl. für Psychologie (Enzyklopädie der Psychologie / in Verbindung mit der Deutschen Gesellschaft für Psychologie hrsg. von Niels Birbaumer Themenbereich D, Praxisgebiete Serie 3, Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie, Bd. 1).
- Knauth P. (1983): Physiologische Arbeitskurve und biologische Rhythmik. In: W. Rohmert und J. Rutenfranz (Hg.): *Praktische Arbeitsphysiologie*. 3. Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, S. 118–128.

Krebs, Dagmar; Menold, Natalja (2019): Gütekriterien quantitativer Sozialforschung. In: Nina Baur und Jörg Blasius (Hg.): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 489–504.

Kuhn, J.; Göttert, R. (1980): LM-Fragebogen: Deutsche Übersetzung der AMS-Scale von Gjesme und Nygard. Hg. v. Ruhr-Universität Bochum.

Laick, Thomas (2003): Hochlaufmanagement. Sicherer Produktionshochlauf durch zielorientierte Gestaltung und Lenkung des Produktionsprozesssystems. Dissertation. Universität Kaiserslautern. Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation.

Lang, Jonas; Fries, Stefan (2006): A Revised 10-Item Version of the Achievement Motives Scale. In: *European Journal of Psychological Assessment* 22 (3), S. 216–224. DOI: 10.1027/1015-5759.22.3.216.

Lange, Jens; Henschel, Nina (2017): Der Einsatz von Lean Management zur Komplexitätsreduktion. In: Rita Scheinpflug und Kerstin Stolzenberg (Hg.): *Neue Komplexität in Personalarbeit und Führung. Herausforderungen und Lösungsansätze*. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 155–177.

Lauche, Kristina (2001): Qualitätshandeln in der Produktentwicklung. Theoretisches Modell, Analyseverfahren und Ergebnisse zu Förderungsmöglichkeiten. Zugl.: Potsdam, Univ., Diss., 2001. Zürich: vdf Hochsch-Verl. an der ETH (Mensch, Technik, Organisation, 27).

Lefrancois, Guy R.; Leppmann, Peter K.; Angermeier, Wilhelm F.; Thiekötter, Thomas J. (1986): Psychologie des Lernens. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-09577-5_3, zuletzt geprüft am 20.06.2025.

Leontjew, Aleksej N. (1977): Tätigkeit, Bewußtsein, Persönlichkeit. 1. Aufl. Stuttgart: Klett.

Leontjew, Aleksej N. (1979): Tätigkeit, Bewusstsein, Persönlichkeit. 1. Aufl. Berlin: Volk und Wissen, VEB (Beiträge zur Psychologie, Bd. 1).

Lewin, Kurt (1920): Die Sozialisierung des Taylorsystems. Eine grundsätzliche Untersuchung zur Arbeits- und Berufs-Psychologie. Berlin: Verl. Ges. und Erziehung (Praktischer Sozialismus, 4).

Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (Hg.) (2006): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (VDI).

Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (Hg.) (2012): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. 2012. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI).

Luczak, H.; Rohmert, W. (1985): Ansätze zu einer anthropologischen Systematik arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse (Essai d'analyse anthropologique des connaissances ergonomiques). In: *Z. Arb. Wiss.* 39 (3), S. 129–144.

Luczak, Holger (1989): Arbeitswissenschaft. Kerndefinition, Gegenstandskatalog, Forschungsgebiete; Bericht an den Vorstand der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft und die Stiftung Volkswagenwerk. 3. Aufl. Eschborn, Köln: RKW-Verl.; Verl. TÜV Rheinland (Praxisinformation).

Manske, Fred (1987): Ende oder Wandel des Taylorismus? Von der punktuellen zur systemischen Kontrolle des Produktionsprozesses. In: *Soziale Welt* 38 (2), S. 166–180.

Marks, Alexander Frederik (2019): Wirtschaftliche Mitarbeiterqualifizierung durch lernorientierte Montagesystemgestaltung. 1. Auflage. Aachen: Zugl.: Aachen, RWTH, Diss., 2018 (Produktionssystematik, 2019, Band 7).

Mayer, Richard; Moreno, Roxana (2003): Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. In: *Educational Psychologist - EDUC PSYCHOL* 38, S. 43–52. DOI: 10.1207/S15326985EP3801_6.

Mayer, Richard E. (Hg.) (2005): The Cambridge handbook of multimedia learning. 1. publ. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Mehler-Bicher, Anett; Reiß, Michael; Steiger, Lothar (2011): Augmented Reality. Theorie und Praxis. München: De Gruyter.

Meinel, Kurt; Schnabel, Günter (1977): Bewegungslehre. Abriß einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt. 2. Aufl. Berlin: Volk und Wissen, VEB.

Meinel, Kurt; Schnabel, Günter (1998): Bewegungslehre - Sportmotorik. Abriß einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt. 9., stark überarbeitete Auflage. Berlin: Sportverlag Berlin.

Meinel, Kurt; Schnabel, Günter (2007): Bewegungslehre - Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt. 11., überarb. und erw. Aufl. Aachen: Meyer & Meyer.

Milgram, Paul; Takemura, Haruo; Utsumi, Akira; Kishino, Fumino (1994): Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In: *Telemanipulator and telepresence technologies. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* (Vol. 2351), S. 282–292.

Miller, George A.; Galanter, Eugene; Přibram, Karl H. (1973): Strategien des Handelns. Pläne und Strukturen des Verhaltens. Unter Mitarbeit von Hans Aebli. 1. Aufl. Stuttgart: Klett (Konzepte der Humanwissenschaften).

Minge, Michael; Thüring, Manfred; Wagner, Ingmar; Kuhr, Carina V. (2017): The meCUE questionnaire: a modular tool for measuring user experience. In: Marcelo Soares, Christianne Falcão und Tareq Z. Ahram (Hg.): *Advances in Ergonomics Modeling, Usability & Special Populations. Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Ergonomics Modeling, Usability &*

Special Populations, July 27-31, 2016, Walt Disney World®, Florida, USA: Springer International Publishing (Advances in Intelligent Systems and Computing, 486), S. 115–128.

Moreno, Roxana; Mayer, Richard (2007): Interactive Multimodal Learning Environments. In: *Educ Psychol Rev* 19, S. 309–326. DOI: 10.1007/s10648-007-9047-2.

Murray, Henry A. (1943): Thematic apperception test manual. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Nerdinger, Friedemann W.; Blickle, Gerhard; Schaper, Niclas (2011): Arbeits- und Organisationspsychologie. 2., überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg, New-York: Springer (Springer-Lehrbuch).

Newell, Allen (1972): Human problem solving. 2. print. Englewood Cliffs, NJ u.a.: Prentice-Hall.

Nieding, Gerhild; Ohler, Peter; Rey, Günter Daniel (2015): Lernen mit Medien. 1. Aufl. Paderborn: Schöningh (StandardWissen Lehramt, utb 4001).

Nisbett, Richard E.; Wilson, Timothy D. (1977): Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. In: *Psychological Review* 84, S. 231–259. DOI: 10.1037/0033-295X.84.3.231.

Nygren, Thomas E. (1991): Psychometric Properties of Subjective Workload Measurement Techniques: Implications for Their Use in the Assessment of Perceived Mental Workload. In: *Hum Factors* 33 (1), S. 17–33. DOI: 10.1177/001872089103300102.

Oesterreich, Rainer (1981): Handlungsregulation und Kontrolle. München, Wien, Baltimore: Urban und Schwarzenberg (U- & S-Psychologie: Forschung).

Oppermann, Reinhard (Hg.) (1994): Adaptive user support. Ergonomic design of manually and automatically adaptable software. Hillsdale, NJ: Erlbaum (Computers, cognition, and work).

Orsolits, Horst; Lackner, Maximilian (Hg.) (2020): Virtual Reality und Augmented Reality in der digitalen Produktion. Wiesbaden: Springer Gabler (Research).

Petersen, Nils (2014): Acquiring and transferring workflow knowledge using Augmented Reality. Dissertation. Technische Universität Kaiserslautern.

Petzoldt, Christoph; Keiser, Dennis; Beinke, Thies; Freitag, Michael (2020): Requirements for an Incentive-Based Assistance System for Manual Assembly. In: Michael Freitag, Hans-Dietrich Haasis, Herbert Kotzab und Jürgen Pannek (Hg.): *Dynamics in logistics*. Proceedings of the 7th International Conference LDIC 2020, Bremen, Germany. Switzerland: Springer, S. 541–553.

Pfeifroth T.; Dietsch M.; Mahlandt R. (2022): Projektionsbasierte Assistenz in der Montage. Laser- und Beamerprojektionen als Werkerassistenzsysteme in der manuellen Montage. In: *wt Werkstatttechnik online* 112 (03), S. 146–150. DOI: 10.37544/1436–4980–2021–3–44.

- Pokorni, Bastian; Ohlhausen, Peter; Palm, Daniel; Egeler, Markus; Haase, Yannik; Kuhn, Daniel et al. (2017): Arbeitsplatzgestaltung 4.0 – Einsatz von Virtual Reality. In: *Neues Hilfsmittel zur Planung von Arbeitsplätzen in der Montage der Zukunft mittels Virtual Reality* 112 (9), S. 593–597. DOI: 10.3139/104.111781.
- Polanyi, Michael (1985): Implizites Wissen. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 543).
- Pollak, Guido; Reinhold, Gerd; Heim, Helmut (Hg.) (1999): Pädagogik-Lexikon. München: R. Oldenbourg Verlag.
- Popp, Reinhold (Hg.) (2019): Die Arbeitswelt im Wandel! Der Mensch im Mittelpunkt? Perspektiven für Deutschland und Österreich. Waxmann Verlag. Münster, New York: Waxmann (Psychotherapiewissenschaft in Forschung, Profession und Kultur, Band 24).
- Prümper, Jochen (1997): Der Benutzungsfragebogen ISONORM 9241/10: Ergebnisse zur Reliabilität und Validität. In: Rüdiger Liskowsky, Boris M. Velichkovsky und W. Wünschmann (Hg.): *Software-Ergonomie '97. Usability Engineering: Integration von Mensch-Computer-Interaktion und Software-Entwicklung*. Stuttgart: Teubner (Berichte des German Chapter of the ACM, 49), S. 253–262.
- Quint, Fabian; Loch, Frieder; Weber, Harald; Venitz, Janis; Gröber, Matthias; Liedel, Jonas (2016): Evaluation of Smart Glasses for Documentation in Manufacturing. In: Benjamin Weyers und Anke Dittmar (Hg.): *Mensch und Computer 2016 – Workshopbeiträge*. Aachen, 4. - 7. September 2016: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Rasch, Björn; Friese, Malte; Hofmann, Wilhelm; Naumann, Ewald (2014a): Quantitative Methoden 1. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. 4. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rasch, Björn; Friese, Malte; Hofmann, Wilhelm; Naumann, Ewald (2014b): Quantitative Methoden 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. 4. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rasmussen, Jens (1986): Information processing and human-machine interaction. An approach to cognitive engineering. New York, N.Y.: North-Holland (North Holland series in system science and engineering, 12).
- REFA (1993): Lexikon der Betriebsorganisation. 1. Aufl. München: Hanser (Methodenlehre der Betriebsorganisation).
- REFA (2015): Industrial Engineering. Standardmethoden zur Produktivitätssteigerung und Prozessoptimierung. 2. Auflage. München: Hanser (REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung).

REFA (2021): REFA-Grundausbildung 4.0 - Begriffe und Formeln. 1. Auflage. München: Hanser (REFA-Kompendium Arbeitsorganisation, Band 3). Online verfügbar unter <https://www.hanser-elibrary.com/doi/epdf/10.3139/9783446471788>, zuletzt geprüft am 20.06.2025.

Reid, Gary B.; Nygren, Thomas E. (1988): The Subjective Workload Assessment Technique: A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload. In: Peter Hancock und Najmedin Meshkati (Hg.): *Human Mental Workload*, Bd. 52: Elsevier Science Publishing (Advances in Psychology), S. 185–218.

Reinhart, Gunther; Bengler, Klaus; Dollinger, Christiane; Intra, Carsten; Lock, Christopher; Popova-Dlugosch, Severina et al. (2017): Der Mensch in der Produktion von Morgen: Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. In: Gunther Reinhart (Hg.): *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. München: Carl Hanser, S. 51–88.

Reiter, Hans J. (2019): Werkerführung bei der Schraubmontage in der industriellen Produktion. Herausforderungen der modernen Schraubmontage im I 4.0 Zeitalter. In: *Digitale Schraubtechnik* - 8. VDI/VDE-Fachtagung. 1. Aufl. Düsseldorf: VDI Verlag (VDI-Berichte, 2347), S. 29–36.

Riedel, Johannes (1940): Methodische Grundlagen der Berufserziehung. Abgeschlossen im Mai 1938, erschienen 1940. Berlin-Zehlendorf: Lehrmittelzentrale (Die deutsche Berufserziehung).

Riedel, Johannes (1962): Arbeiten und Lernen. Braunschweig: Westermann (Arbeit und Bildung).

Riedel, Johannes (1967): Einführung in die Arbeitspädagogik. Braunschweig: Georg Westermann Verlag (Westermann-Taschenbuch).

Rohmert, Walter (1983): Formen menschlicher Arbeit. In: W. Rohmert und J. Rutenfranz (Hg.): *Praktische Arbeitsphysiologie*. 3. Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, S. 5–29.

Rohmert, Walter; Rutenfranz, Josef; Ulich, Eberhard (1974): Das Anlernen sensumotorischer Fertigkeiten. Frankfurt am Main: Europäische Verlagsanstalt (Wirtschaftliche und soziale Aspekte des technischen Wandels in der Bundesrepublik Deutschland, Siebenter Band).

Romppel, Matthias; Herrmann-Lingen, Christoph; Wachter, Rolf; Edelmann, Frank; Düngen, Hans-Dirk; Pieske, Burkert; Grande, Gesine (2013): A short form of the General Self-Efficacy Scale (GSE-6): Development, psychometric properties and validity in an intercultural non-clinical sample and a sample of patients at risk for heart failure. In: *GMS Psycho-Social-Medicine* 10. DOI: 10.3205/psm000091.

Roscoe, Alan H.; Britannia Airways (1992): Workload in the glass cockpit. In: *Flight Safety Digest*, S. 1–20.

Rösler, Frank; Tack, Werner H.; Heuer, Herbert (Hg.); Stegmaier, Ralf; Sonntag, Karlheinz (2007): Arbeitsorientiertes Lernen. Zur Psychologie der Integration von Lernen und Arbeit. 1. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer (Standards Psychologie).

Rubinštejn, Sergej L. (1984): Grundlagen der allgemeinen Psychologie. 10. Aufl. Berlin: Volk und Wissen.

Rubio, Susana; Díaz, Eva; Martín, Jesús; Puente, José M. (2004): Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. In: *Applied Psychology* 53 (1), S. 61–86. DOI: 10.1111/j.1464-0597.2004.00161.x.

Rummel, Bernhard (2016): System Usability Scale – jetzt auch auf Deutsch. SAP Community. Online verfügbar unter <https://community.sap.com/t5/additional-blogs-by-sap/system-usability-scale-jetzt-auch-auf-deutsch/ba-p/13487686>, zuletzt aktualisiert am 01.02.2016, zuletzt geprüft am 25.12.2024.

Sander, Uwe; Gross, Friederike von; Hugger, Kai-Uwe (Hg.) (2008): Handbuch Medienpädagogik. 1. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Schanze, Helmut (Hg.) (2002): Metzler-Lexikon Medientheorie, Medienwissenschaft. Ansätze - Personen - Grundbegriffe. Unter Mitarbeit von Susanne Pütz. Stuttgart, Weimar: J.B. Metzler.

Schelten, Andreas (1983): Motorisches Lernen in der Berufsausbildung. Frankfurt am Main u.a.: Lang (Beiträge zur Arbeits-, Berufs- und Wirtschaftspädagogik).

Schelten, Andreas (1995): Grundlagen der Arbeitspädagogik. 3., neubearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Steiner.

Schelten, Andreas (2002): Über den Nutzen der Handlungsregulationstheorie für die Berufs- und Arbeitspädagogik. In: *Pädagogische Rundschau* (56), S. 621–630.

Schelten, Andreas (2005): Grundlagen der Arbeitspädagogik. 4., vollst. neu bearb. Aufl. Stuttgart: Steiner (Pädagogik).

Schelten, Andreas (2009a): Begriffe und Konzepte der berufspädagogischen Fachsprache. Eine Auswahl. 2., veränd. und überarb. Aufl. Stuttgart: Steiner (Pädagogik).

Schelten, Andreas (2009b): Berufsmotorisches Lernen in der Berufsausbildung. In: Bernhard Bonz (Hg.): *Didaktik und Methodik der Berufsbildung*. Baltmannsweiler: Schneider Verl. Hohen- gehren (Berufsbildung konkret, Bd. 10), S. 135–151.

Schelten, Andreas (2010): Einführung in die Berufspädagogik. 4., überarb. und aktualisierte Aufl. Stuttgart: Steiner (Pädagogik).

Schlick, Christopher; Bruder, Ralph; Luczak, Holger (2018): Arbeitswissenschaft. Berlin, Heidelberg: Springer.

Schließmann, Alexander (2017): iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory. In: Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel (Hg.): *Handbuch Industrie 4.0; Bd. 4: Allgemeine Grundlagen*. 2. Auflage. Berlin: Springer Vieweg, S. 171–200.

Schmauder, Martin; Spanner-Ulmer, Birgit (2022): Ergonomie. Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

Schreiber, Werner; Zimmermann, Peter (Hg.) (2011): Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld. Das AVILUS-Projekt - Technologien und Anwendungen. Berlin, Heidelberg: Springer.

Schwarzer, Ralf; Jerusalem, Matthias (Hg.) (1999): Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen. Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs *Selbstwirksame Schulen*. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.psyc.de/skalendoku.pdf>, zuletzt geprüft am 20.06.2025.

Seymour, William Douglas (1966): Industrial skills. London: Pitman.

Seymour, William Douglas (1968): Skills analysis training. A handbook for managers, supervisors and instructors. London: Pitman.

Skinner, B. F. (1938): The behavior of organisms. An experimental analysis. New York: Appleton (The Century psychology series).

Spath, Dieter (Hg.) (2013): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Studie. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

Sprenger, H.; Klafki W. (1971): Lernen. Lehren. Das Problem. In: Hans-Hermann Groothoff und Martin Stallmann (Hg.): *Neues pädagogisches Lexikon*. 5., vollst. neu bearb. Auflage des Pädagogischen Lexikons, 14. - 20. Tsd. Stuttgart, Berlin: Kreuz Verlag.

Springer, Roland; Meyer, Frank (2006): Flexible Standardisierung von Arbeitsprozessen. Erfahrungen aus der betrieblichen Praxis. In: Clement, Ute; Lacher, Michael (Hg.): *Produktionssysteme und Kompetenzerwerb. Zu den Veränderungen moderner Arbeitsorganisation und ihren Auswirkungen auf die berufliche Bildung*. Stuttgart: Franz Steiner, S. 43–54.

Stajkovic, Alex; Luthans, Fred (1998): Self-Efficacy And Work-Related Performance: A Meta-Analysis. In: *Psychological Bulletin* 124, S. 240–261. DOI: 10.1037/0033-2909.124.2.240.

Stein, Petra (2019): Forschungsdesigns für die quantitative Sozialforschung. In: Nina Baur und Jörg Blasius (Hg.): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 125–142.

Steindorf, Gerhard (1985): Grundbegriffe des Lehrens und Lernens. 2., durchges. Aufl. Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt.

Steindorf, Gerhard (1995): Grundbegriffe des Lehrens und Lernens. 4. Aufl. Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt.

Stockinger, Christopher (2021): Werkerführungssysteme im Arbeitssystem Montage. Analyse des Einflusses der Gestaltung von Werkerführungssystemen auf Montageleistung und Nutzen-Beurteilung. Dissertation. Technische Universität Darmstadt. Online verfügbar unter

https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/18571/1/Dissertation_Christopher_Stockinger.pdf, zuletzt geprüft am 20.06.2025.

Strasser, Helmut (1993): Ergonomie-Arbeitsplatz. Anthropometrische und biomechanische Grundlagen. Kapitel 2.4.1. In: T. Hettinger und G. Wobbe (Hg.): *Kompendium der Arbeitswissenschaft. Optimierungsmöglichkeiten zur Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation*. Ludwigshafen (Rhein): Kiel Verlag.

Stratmann, Karlwilhelm (Hg.) (1975): Berufspädagogik. Ansätze zu ihrer Grundlegung u. Differenzierung. Köln: Kiepenheuer und Witsch (Neue wissenschaftliche Bibliothek, 82 : Pädagogik).

Sweller, John; Ayres, Paul; Kalyuga, Salva (2011): Cognitive Load Theory. New York [u.a.]: Springer (Explorations in the learning sciences, instructional systems and performance technologies).

Sweller, John; van Merriënboer, Jeroen (2005): Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. In: *Educational psychology review* (17.2), S. 147–177. DOI: 10.1007/s10648-005-3951-0.

Taylor, Frederick Winslow (Hg.) (1977): Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung. Nachdr. der autoris. Ausg. von 1913, Oldenbourg, München. Weinheim: Beltz (Berufliche Bildung und Berufsbildungspolitik, 3).

Tomaszewski, Tadeusz (1978): Tätigkeit und Bewusstsein. Beiträge zur Einführung in die polnische Tätigkeitspsychologie. Weinheim, Basel: Beltz (Beltz-Monographien: Psychologie).

Tomaszewski, Tadeusz (Hg.) (1981): Zur Psychologie der Tätigkeit. Positionen u. Ergebnisse poln. Psychologen. Unter Mitarbeit von Traudl Vorwerg-Alberg. Berlin: Deutscher Verlag d. Wiss.

Trochim, Sabine (2002): Situiertes Lernen in Augmented-Reality-basierten Trainingssystemen am Beispiel der Echokardiographie. Dissertation. Universität Bielefeld.

Tümler, J.; Mecke, R. (2006): Mobile Augmented Reality für die Workerassistenz. Fraunhofer IFF. Virtual Prototyping. In: *Forschung vernetzen - Innovationen beschleunigen, wissenschaftliches Kolloquium*, S. 40–50.

Tümler, Johannes (2009): Untersuchungen zu nutzerbezogenen und technischen Aspekten beim Langzeiteinsatz mobiler Augmented Reality Systeme in industriellen Anwendungen. Dissertation. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Ulich, Eberhard (2005): Arbeitspsychologie. 6., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart, Zürich: vdf Hochsch-Verlag an der ETH Zürich und Schäffer-Poeschel Verlag.

Ulich, Eberhard (2011): Arbeitspsychologie. 7., neu überarb. und erw. Aufl. Zürich, Stuttgart: vdf Hochsch-Verlag an der ETH Zürich und Schäffer-Poeschel Verlag.

VDI (2016): VDI 5600 Blatt 1. Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems–MES): VDI-Verlag Düsseldorf.

Venitz, Janis; Bauer, Thomas; Görthofer, Andreas; Gidion, Gerd (2021): Arbeitsplatznahe Lernen mit Augmented Reality. In: Karsten Berns, Klaus Dressler, Ralf Kalmar, Nicole Stephan, Roman Teutsch und Martin Thul (Hg.): *Commercial Vehicle Technology 2020/2021. Proceedings of the 6th Commercial Vehicle Technology Symposium*: Springer Vieweg (Proceedings), S. 499–511.

Vernim, Susanne; Wehrle, Peter; Reinhart, Gunther (2016): Entwicklungstendenzen für die Produktionsarbeit von morgen. Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München 111 (9), S. 569–572. DOI: 10.3139/104.111589.

Volpert, Walter (1983): An den Grenzen des Modells der hierarchisch-sequentiellen Handlungsorganisation. Berlin: Freie Univ. Berlin Inst. für Psychologie Abt. Sozial- u. Organisationspsychologie (Berliner Hefte zur Arbeits- und Sozialpsychologie, 3).

Volpert, Walter (2003): Wie wir handeln - was wir können. Ein Disput als Einführung in die Handlungspsychologie. 3., vollst. überarb. Aufl. Sottrum: Artefact-Verl. Weber (Buchreihe Positionen, Bd. 1).

Warnecke, H. J.; Kohl, W. (1979): Höherqualifizierung in neuen Arbeitsstrukturen. In: *Z. Arb. Wiss.* (33(2)), S. 69–75.

Watson, J. B. (1919): Psychology from the standpoint of a behaviorist. Philadelphia: Lippincott.

Webel, Sabine (2011): Multimodal Training of Maintenance and Assembly Skills based on Augmented Reality. Dissertation. Technische Universität Darmstadt.

Webel, Sabine; Bockholt, Ulrich; Keil, Jens (2011): Design Criteria for AR-Based Training of Maintenance and Assembly Tasks. In: Randall Shumaker (Hg.): *Virtual and Mixed Reality - New Trends. International Conference, Virtual and Mixed Reality 2011. HCI International 2011*. Orlando, FL. Berlin, Heidelberg: Springer (Proceedings, Part I), S. 123–132.

Weber, Franziska (2019): Entwicklung, Modifizierung und Evaluierung geeigneter Messinstrumente zur Erhebung der Usability digitaler Medien und weiterer Einflussgrößen im Kontext von Qualifizierungsprozessen in der manuellen Montage. Masterthesis. KIT – Karlsruher Institut für Technologie. Institut für Berufspädagogik und Allgemeine Pädagogik.

Weber, Harald; Quint, Fabian; Kreutel, Jörn; Gröber, Matthias; Loch, Frieder; Venitz, Janis et al. (2016): Evaluation eines Kollaborationssystems in der industriellen Praxis. In: Benjamin Weyers und Anke Dittmar (Hg.): *Mensch und Computer 2016 – Workshopband*. Aachen, 4. - 7. September 2016: Gesellschaft für Informatik e.V.

Willnecker, Ulrich: Gestaltung und Planung leistungsorientierter Fließmontagen. Zugl.: München, Techn., Univ., Diss., 2000. München: Herbert Utz Verlag (Forschungsberichte iwb, Bd. 146).

- Windelband, Lars (2014): Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0“. In: *Journal of Technical Education (JOTED)* 2 (2), S. 138–160.
- Windelband, Lars (2023): Artificial Intelligence and Assistance Systems for Technical Vocational Education and Training – Opportunities and Risks. In: Alexandra Shajek und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): *New Digital Work. Digital Sovereignty at the Workplace*. Cham: Springer International Publishing, S. 195–213.
- Windelband, Lars; Dworschak, Bernd (2018): Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0. Anwendungsszenarien Instandhaltung und Leichtbaurobotik. In: Hartmut Hirsch-Kreinsen, Peter Ittermann und Jonathan Falkenberg (Hg.): *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Baden-Baden: Nomos (Edition Sigma), S. 63–79.
- Winkelhake, Uwe (2021): Die digitale Transformation der Automobilindustrie. Treiber - Roadmap - Praxis. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Winterhoff-Spurk, Peter (2004): Medienpsychologie. Eine Einführung. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer.
- Wischmann, Steffen; Hartmann, Ernst Andreas (2018): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Be- trachtung. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Witzgall, Elmar: Höherqualifizierung in der Industriearbeit. Unveröffentlichte Dissertation. Universität Bamberg. Fakultät Pädagogik-Philosophie-Psychologie.
- Womack, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel (1992): Die zweite Revolution in der Autoindustrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology. 7. Aufl. Frankfurt/M.: Campus-Verl.
- Wouters, Pieter; Tabbers, Huib K.; Paas, Fred (2007): Interactivity in Video-based Models. In: *Educational psychology review* 19 (3), S. 327–342. DOI: 10.1007/s10648-007-9045-4.
- Zobel, Benedikt; Werning, Sebastian; Berkemeier, Lisa; Thomas, Oliver (2018): Augmented- und Virtual-Reality-Technologien zur Digitalisierung der Aus- und Weiterbildung – Überblick, Klassifikation und Vergleich. In: Oliver Thomas, Dirk Metzger und Helmut Niegemann (Hg.): *Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung: Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 20–34.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AGR	Abgasrückführung
AMS	Achievement Motive Scale (Explizites Leistungsmotiv)
AR	Augmented Reality
ASB	Arbeitsschrittblatt
AVA	Adaptive Visual Aid
AVI	Audio Video Interleave
BBiG	Berufsbildungsgesetz
BMBF	Bildungsministerium für Bildung und Forschung
Bsp.	Beispiel oder Beispiele
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CLT	Cognitive Load Theorie
EG	Experimentalgruppe
et al.	et alii, et alea, et alia (Deutsch: und andere)
etc	et cetera
GSE	General-Self-Efficacy (Allgemeine Selbstwirksamkeit)
HMD	Head-Mounted-Display
HMI	Human-Machine-Interface
I 4.0	Industrie 4.0
i.d.R.	in der Regel
i.O.	in Ordnung
IdD	Internet-der-Dinge
inkl.	inklusive
insb.	insbesondere
IoT	Internet-of-Things
ISD	Instructional System Design
IT	Informationstechnik
Kap.	Kapitel
KG	Kontrollgruppe
KI	Künstliche Intelligenz
Mdn	Median
ML	Maschine Learning
MR	Mixed Reality
MTM	Methods-Time Measurement
MTO	Mensch, Technik und Organisation
MW	Mittelwert
n.i.O.	nicht in Ordnung
REFA	Verband für Arbeitsstudien u. Betriebsorganisation e.V

SAB	Standardarbeitsblatt
SD	Standardabweichung
SUS	System Usability Scale
SvZ	Systeme vorbestimmter Zeiten
TLX	Task Load Index
TWI	Train Within Industry
v.a.	vor allem
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
vgl.	vergleiche
VR	Virtual Reality
z.B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1.1-1: Gegenstände der Untersuchung und der Datenanalyse (vereinfachte Darstellung)	4
Abbildung 2.1.1-1: Aufbau der Arbeit	6
Abbildung 2.1.1-1: Theorie-Praxis-Verhältnis der Aspektwissenschaften	12
Abbildung 2.1.1-2: Vernetzung betrieblicher Lern- und Wissensarten.....	18
Abbildung 2.1.1-3: Verbindung von Wissenschaft und Praxis der Berufserziehung.....	19
Abbildung 2.1.1-4: Orientierung an der betrieblichen Arbeitspädagogik.....	23
Abbildung 2.1.1-5: Bezugswissenschaften und Inhaltsbereiche der Arbeitspädagogik.....	24
Abbildung 2.1.1-6: System der Arbeitspädagogik	25
Abbildung 2.1.1-7: Arbeitspädagogische und arbeitsorganisatorische Einflüsse	26
Abbildung 2.1.2-1: Grundstruktur einer vollständigen Handlung.....	30
Abbildung 2.1.2-2: Hierarchischer Aufbau von Tätigkeiten	33
Abbildung 2.1.2-3: Makrostruktur der Tätigkeit - Auslöser für Tätigkeiten und Handlungen	34
Abbildung 2.1.2-4: Ringstruktur der Tätigkeit.....	35
Abbildung 2.1.2-5: Modell zur menschlichen Informationsverarbeitung	37
Abbildung 2.1.2-6: Beispiel zur hierarchisch-sequenzielle Struktur von Arbeitshandlungen	40
Abbildung 2.1.2-7: Ebenen der Handlungsregulation	41
Abbildung 2.1.3-1: Phasen des berufsmotorischen Lernens.....	47
Abbildung 2.1.3-2: Zuordnung der Lernzielstufen	49
Abbildung 2.1.4-1: Struktur einer Unterweisung	51
Abbildung 2.1.4-2: Standardprogramm der Arbeitsunterweisung	52
Abbildung 2.1.4-3: Zergliederung eines Arbeitsablaufs	54
Abbildung 2.1.4-4: Arten der Lernkontrolle	57
Abbildung 2.1.4-5: Multimedia-Komponenten	60
Abbildung 2.1.4-6: Kognitive Theorie des multimedialen Lernens (CTML).....	62
Abbildung 2.1.4-7: Vier-Stufen-Methode	66
Abbildung 2.1.4-8: Inhalte der Tätigkeitsanalyse zur Unterweisungsvorbereitung	68
Abbildung 2.1.4-9: Psychoregulative Bereiche	71
Abbildung 2.1.4-10: Einflussfaktoren des Trainingstransfers	75
Abbildung 2.2.1-1: Funktionen der Montage	77
Abbildung 2.2.1-2: Einflussfaktoren der industriellen Montage	80
Abbildung 2.2.1-3: Qualifikationsmatrix	82
Abbildung 2.2.1-4: Einflussgrößen einer Arbeitsperson	83
Abbildung 2.2.1-5: Einflussgrößen der Arbeitsaufgabe	84
Abbildung 2.2.1-6: Auszug eines Lernalbums am Beispiel <i>Vorreinigung einer Arbeitsstation</i>	84
Abbildung 2.2.1-7: Befragungsergebnis - Genutzte Arten der Arbeitsanweisung (N=92)	85
Abbildung 2.2.2-1: Wechselbeziehungen zwischen Mensch, Technik und Organisation (MTO)	87

Abbildung 2.2.2-2: Auswirkungen des Arbeitssystem auf die Arbeitsperson	88
Abbildung 2.2.2-3: Die Digitalisierung als Treiber und Ermöglichungsfaktor	89
Abbildung 2.2.2-4: Ansatz zur Klassifizierung von Assistenzsystemen	91
Abbildung 2.2.2-5: Übersicht der Klassifizierungsmerkmale	92
Abbildung 2.2.2-6: User Experience und Usability.....	93
Abbildung 2.2.2-7: Montageinformationen via Beamer und Monitor	93
Abbildung 2.2.2-8: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum.....	94
Abbildung 2.2.2-9: AR-Klassifizierung und Ausprägungen.....	95
Abbildung 2.2.2-10: Beispiel für eine AR-basierte Montageanleitung	96
Abbildung 2.2.2-11: Auszug der Anforderungsermittlung eines AR-gestützten Einsatzszenarios	97
Abbildung 2.2.2-12: Medienbezogene Einordnung von AR und VR	97
Abbildung 2.2.2-13: Übersicht der Akzeleratoren	100
Abbildung 2.2.2-14: AVA-Informations-Kontinuum.....	101
Abbildung 2.2.2-15: Anwendungsbeispiel des AVA-Konzeptes	101
Abbildung 2.2.2-16: Architektur einer AR-basierten Schulungsplattform	102
Abbildung 3.1.1-1: Komponenten eines Arbeitssystems.....	104
Abbildung 3.1.1-2: Schematische Darstellung eines Montagearbeitsplatzes.....	105
Abbildung 3.1.1-3: Horizontale und vertikale Bereiche des Blick- bzw. Gesichtsfeldes	106
Abbildung 3.1.1-4: Zonen der Greiffläche.....	106
Abbildung 3.1.1-5: Fügevorgänge	109
Abbildung 3.1.1-6: Prinzip einer Linien-Montage	110
Abbildung 3.2.2-1: Werkbank inkl. Komponenten	118
Abbildung 3.2.2-2: Darstellung der Arbeitsmittel.....	119
Abbildung 3.2.2-3: Montagearbeitsplatz für Umfänge der AGR-Modul-Montage	121
Abbildung 3.2.3-1: Tiefenkamera und Touch-Monitor	122
Abbildung 3.2.3-2: User-Interface - Aufbau und Elemente	123
Abbildung 3.2.3-3: Integration von Standard- und arbeitsplatzspezifischen Komponenten	123
Abbildung 3.2.3-4: Semi-transparente Instruktions-Überlagerung (Instruction Overlay)	125
Abbildung 3.2.3-5: Interaktionsbereich eines Arbeitsschrittes	126
Abbildung 3.2.3-6: Definition der Validierungsbereiche	126
Abbildung 3.2.3-7: Validierungsergebnisse (Samples).....	127
Abbildung 3.2.3-8: Phasenadaptive Informationsdarstellung	129
Abbildung 3.2.3-9: Probandin während der Nutzung der AR-basierten Anwendung (2. Phase)	129
Abbildung 3.2.4-1: Anordnung der Inhalte des Kontrollmediums	130
Abbildung 3.2.4-2: Darstellung einzelner Arbeitsschritte über das Kontrollmedium.....	132
Abbildung 3.2.4-3: Integration des Kontrollmediums	133
Abbildung 3.2.5-1: Anordnung der Inhalte des LEK-Mediums.....	133
Abbildung 3.2.5-2: Implementierung des LEK-Mediums	134

Abbildung 4.2.1-1: Darstellung des Untersuchungsdesigns.....	140
Abbildung 4.2.2-1: Versuchsaufbau - Zwei identische Arbeitssysteme	141
Abbildung 4.2.3-1: Auszüge der Instruktionsfilme I	142
Abbildung 4.2.3-2: Auszüge der Instruktionsfilme II	143
Abbildung 4.2.3-3: Auszüge der Test- und Demonstrationsphase.....	144
Abbildung 4.3.1-1: Instrumente zur Erfassung des expliziten Leistungsmotivs	146
Abbildung 4.3.1-2: Instrumente zur Erfassung der allgemeinen Selbstwirksamkeit	147
Abbildung 4.3.1-3: Instrumente zur Erfassung der Affektlage / des Erlebens	148
Abbildung 4.3.1-4: Instrumente zur Erfassung der Usability	149
Abbildung 4.3.1-5: Instrumente zur Erfassung des Workloads.....	150
Abbildung 4.3.3-1: Schematische Darstellung der Montagevorrichtung.....	154
Abbildung 4.4.3-1: Abbildungen zur Evaluation der AR-Elemente	164
Abbildung 4.5.2-1: Gegenstände der Untersuchung und der Datenanalyse (erweiterte Darstellung)....	171
Abbildung 4.5.2-2: Modell zur Untersuchung der Wirksamkeit	172
Abbildung 4.5.3-1: Interpretation der SUS-Werte	177
Abbildung 5.1.1-1: Boxplot zur Variable <i>Alter</i>	179
Abbildung 5.1.1-2: Balkendiagramm - Höchster Abschluss nach Gruppen.....	181
Abbildung 5.1.2-1: Histogramme zu den aufgabespezifischen Vorkenntnissen	182
Abbildung 5.1.2-2: Boxplot zu medienspezifischen Vorkenntnissen	184
Abbildung 5.1.2-3: Histogramm zur Variable <i>Montagetest Ergebnis</i>	187
Abbildung 5.1.2-4: Boxplot zur Variable <i>Montagetest Ergebnis</i>	188
Abbildung 5.1.3-1: Boxplot zur Ausprägung des expliziten Leistungsmotivs (AMS-R).....	190
Abbildung 5.1.3-2: Boxplot zur allgemeinen Selbstwirksamkeit (GSE-6)	192
Abbildung 5.2.1-1: Histogramm zur Variable <i>NASAgesamt</i>	193
Abbildung 5.2.1-2: Boxplot zur Variable <i>NASAgesamt</i> (gruppenspezifisch)	194
Abbildung 5.2.2-1: Histogramme zur Variable <i>SUSWert</i>	195
Abbildung 5.2.2-2: Boxplot zur Variable <i>SUSWert</i> (gruppenspezifisch).....	197
Abbildung 5.2.3-1: Boxplot zur Beurteilung der AR-Elemente.....	198
Abbildung 5.3.1-1: Boxplot zu den Observationszeiten (I1-I3) in Sekunden.....	200
Abbildung 5.3.1-2: Linien-Diagramm zu den Observationszeiten (I1-I3) in Sekunden	202
Abbildung 5.3.1-3: Boxplot zur Nutzung der Handlungsinstruktion	205
Abbildung 5.3.2-1: Boxplot zu den Ausführungszeiten (I1-I3) in Sekunden.....	208
Abbildung 5.3.2-2: Linien-Diagramm zu den Ausführungszeiten (I1-I3) in Sekunden	209
Abbildung 5.3.2-3: Boxplot zu den Montagefehlern (I1-I3)	214
Abbildung 5.3.2-4: Linien-Diagramm zu den Montagefehlern (I1-I3)	215
Abbildung 5.3.2-5: Balkendiagramm zu den Trainingsabbrüchen	218
Abbildung 5.4.1-1: Histogramme zur Selbsteinschätzung (<i>eigenständiger Nachvollzug</i>).....	220
Abbildung 5.4.1-2: Histogramme zur Selbsteinschätzung (<i>geleiteter Nachvollzug</i>)	222

Abbildung 5.4.2-1: Boxplot zu den Ausführungszeiten (LEK) in Sekunden	225
Abbildung 5.4.3-1: Boxplot zu den Montagefehlern (LEK)	227
Abbildung 5.4.3-2: Boxplot zu den Reihenfolgefehlern (LEK)	230
Abbildung 5.4.4-1: Histogramme zur Nutzung des Hilfsmittels (LEK).....	232

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1.1-1: Betriebliche Lern- und Wissensarten (ohne Zuordnung)	17
Tabelle 2.1.1-2: Disziplinen der Berufspädagogik	20
Tabelle 2.1.2-1: Klassifizierungsansatz für Arbeitstätigkeiten	31
Tabelle 2.1.4-1: Konzept und Ablauf der analytischen Arbeitsunterweisung.....	69
Tabelle 3.2.2-1: Definierte Arbeitsschritte der AGR-Modul Montage	120
Tabelle 3.2.3-1: Übersicht der Funktionen und der virtuellen Elemente.....	124
Tabelle 3.2.3-2: Phasenadaptive Informationsdarstellung	128
Tabelle 3.2.4-1: Funktionen und Elemente des Kontrollmediums.....	131
Tabelle 3.2.5-1: Funktionen und Elemente des LEK-Mediums	134
Tabelle 4.2.3-1: Arbeitsschritte der Test- und Demonstrationsphase	143
Tabelle 4.3.2-1: Dauer der AR-basierten Instruktionen	154
Tabelle 4.4.1-1: Auszug aus dem Beobachtungsbogen (Experimentalgruppe)	157
Tabelle 4.4.1-2: Auszug aus dem Beobachtungsbogen (Kontrollgruppe)	158
Tabelle 4.4.2-1: Auszug aus dem Beobachtungsbogen der LEK.....	159
Tabelle 4.4.2-2: Auszug aus Fragebogen II, Abschnitt 2.....	160
Tabelle 4.4.3-1: Auszug aus Fragebogen II, Abschnitt 1.....	161
Tabelle 4.4.3-2: Auszug aus Fragebogen II, Abschnitt 3.....	163
Tabelle 4.4.3-3: Auszug aus Fragebogen II, Abschnitt 4.....	164
Tabelle 4.4.4-1: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 1.....	165
Tabelle 4.4.4-2: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 2.....	166
Tabelle 4.4.4-3: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 3 (a bis c)	167
Tabelle 4.4.4-4: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 3 (d bis h)	167
Tabelle 4.4.4-5: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 4 (a bis j)	168
Tabelle 4.4.4-6: Auszug aus Fragebogen I, Abschnitt 4 (k bis p)	169
Tabelle 4.5.3-1: Mittelwerte (Standardabweichungen) der AMS Kurz- und Langform	176
Tabelle 5.1.1-1: Merkmal <i>Geschlecht</i> - Experimental- und Kontrollgruppe.....	179
Tabelle 5.1.1-2: Merkmal <i>Alter</i> – Experimental- und Kontrollgruppe.....	179
Tabelle 5.1.1-3: Häufigkeiten zum Merkmal <i>höchster Abschluss</i>	180
Tabelle 5.1.1-4: Kreuztabelle Berufsgruppe - Geschlecht.....	181
Tabelle 5.1.1-5: Kreuztabelle Berufsgruppe - Gruppenzuordnung (AR/ASB).....	182
Tabelle 5.1.2-1: Teststatistiken zu aufgabenspezifischen Vorkenntnissen	183
Tabelle 5.1.2-2: Teststatistiken zu medienspezifischen Vorkenntnissen (Items 1-3)	185
Tabelle 5.1.2-3: Teststatistiken zu medienspezifischen Vorkenntnissen (Items 4-5)	186
Tabelle 5.1.2-4: Item-Skala-Statistik zu aufgabenbezogenen Kenntnissen.....	186
Tabelle 5.1.2-5: Item-Skala-Statistik zu medienbezogenen Kenntnissen.....	187
Tabelle 5.1.2-6: Teststatistiken zur Variable <i>Montagetest Ergebnis</i>	188

Tabelle 5.1.3-1: Mittelwert, SD, Median und Spannweite zu AMS-R	189
Tabelle 5.1.3-2: Teststatistiken zum expliziten Leistungsmotiv (AMS-R)	191
Tabelle 5.1.3-3: Geschlechterspezifische Auswertung ASM-R.....	191
Tabelle 5.1.3-4: Teststatistiken zur allgemeinen Selbstwirksamkeit (GSE-6)	193
Tabelle 5.2.2-1: Gruppenspezifische Auswertung der Usability	196
Tabelle 5.2.2-2: Teststatistiken zur Usability (SUS).....	196
Tabelle 5.2.3-1: Bezeichnung der AR-basierten Elemente	197
Tabelle 5.2.3-2: Auswertung der AR-Elemente.....	198
Tabelle 5.3.1-1: Teststatistiken zur Observationszeit (I1-I3)	201
Tabelle 5.3.1-2: Auswertung zur Nutzung der Handlungsinstruktion.....	205
Tabelle 5.3.1-3: Korrelationen zwischen der Observationszeit und konsumierter Instruktionen	206
Tabelle 5.3.2-1: Teststatistiken zur Ausführungszeit (I1-I3)	209
Tabelle 5.3.2-2: Ausführungszeit [s] bezogen auf die Variable <i>Geschlecht</i> (Gruppe AR).....	211
Tabelle 5.3.2-3: Teststatistiken zu den Montagefehlern (I1-I3).....	215
Tabelle 5.4.1-1: Teststatistiken zur Selbsteinschätzung (eigenständiger Nachvollzug).....	221
Tabelle 5.4.1-2: Teststatistiken zur Selbsteinschätzung (geleiteter Nachvollzug)	222
Tabelle 5.4.2-1: Anzahl vollständiger Ausführungen (LEK)	224
Tabelle 5.4.2-2: Teststatistiken zur Ausführungszeit (LEK)	225
Tabelle 5.4.3-1: Teststatistiken zu den Montagefehlern (LEK)	228
Tabelle 5.4.3-2: Teststatistiken zu den Reihenfolgefehlern (LEK).....	230
Tabelle 5.4.4-1: Teststatistiken zur Nutzung des Hilfsmittels (LEK)	233