

## **Einfluss von Augmented Reality auf den Menschen und den Lernerfolg in der Basisarbeit**

### **Influence of Augmented Reality on People and Learning Success in Basic Work**

Lutz ENGEL<sup>1</sup>, Mick GEISTHARDT<sup>1</sup>, Timo ECK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Produktions- und Dienstleistungssysteme (IPD), Jade Hochschule,  
Friedrich-Paffrath-Str. 101, D-26389 Wilhelmshaven*

<sup>2</sup> *Jade Hochschule, Friedrich-Paffrath-Str. 101, D-26389 Wilhelmshaven*

**Kurzfassung:** Der Arbeitskräftemangel und die Bereitschaft zum Wechseln der Arbeitsstelle im Bereich Basisarbeit verlangt nach neuen Anlernmethoden. Um diese Problemstellung zu adressieren, wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit die vierstufige Vorgehensweise des User-Centered Design (UCD) angewendet, um einen immersiven Anlernprozess einer Getriebemontage, als Repräsentant der industriellen Basisarbeit, zu entwickeln. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Augmented Reality (AR) in Kombination mit der Anlernmethode Training Within Industry (TWI) und einer Arbeitsablauf-Standardisierung den Verlauf der Lernkurve der lernenden Arbeitskraft maßgeblich beeinflusst. Durch den immersiven Anlernprozess, der zwar eine zusätzliche psychische und physische Belastung erzeugen kann, wird in der Getriebemontage ein/e Instruktor/in obsolet.

**Schlüsselwörter:** Basisarbeit, Training Within Industry, Augmented Reality, Lernerfolg, Lernkurve, Immersiver Anlernprozess

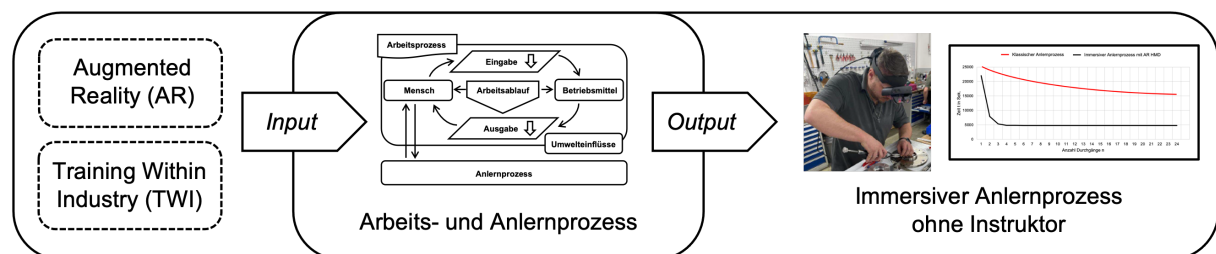
**Abstract:** Workforce scarcity and the propensity to change jobs in the sector of basic work necessitates new teach-in methods. To address this challenge, this paper adapts a four-step User-Centered Design (UCD) approach to develop an immersive teaching process of a gearbox assembly, which serves as a representative of basic work in an industrial setting. Findings indicate that employing Augmented Reality (AR) in combination with the Training Within Industry (TWI) teaching method and a workflow standardization significantly influences the learning curve progression of the learning individual. An instructor becomes obsolete due to the immersive learning process, while may additional mental and physical stress is created.

**Keywords:** basic Work, training within industry, augmented reality, learning success, learning curve, immersive learning

## 1. Einleitung

Der Arbeitskräftemangel im Bereich Basisarbeit verlangt nach neuen Ausbildungs- bzw. Anlernmethoden, speziell da die Beschäftigten bereit sind häufiger die Arbeitsstelle zu wechseln. Es ist allgemein bekannt, dass aufgrund des demographischen Wandels auch die zusätzlich benötigte Ausbilderkapazität fehlt. Der Anlernprozess muss durch die Nutzung neuer Möglichkeiten der Digitalisierung effizienter gestaltet werden.

Auf Basis dieser Problemstellung wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit untersucht, inwiefern durch einen immersiven Anlernprozess bei Basisarbeit die Lernkurve maßgeblich positiv beeinflusst werden kann. Zum Einsatz kommen Augmented Reality (AR), d.h. die Visualisierung von digitalisierten Inhalten auf realen Objekten, in Kombination mit der Anlernmethode Training Within Industry (TWI). Damit die Lerninhalte in digitalisierter Form, wie Bilder, Texte, Videos, Hologramme, Animationen und Interaktionen, dargestellt werden können, soll zunächst der Arbeitsablauf standardisiert werden. Das Ziel der Forschungsarbeit ist die Reduzierung der Anzahl von Lernzyklen zum Erreichen des Lernerfolges. Der Lernerfolg soll durch die Abnahme des Zeitbedarfs für die Ausführung einer Tätigkeit im Arbeitsablauf mit der Anzahl ihrer Ausführungen durch die benötigte Zeit und die Qualität der Arbeit evaluiert werden. Das Anlernen selbst soll ohne die Anwesenheit einer instruierenden Person erfolgen. Das Wissen der instruierenden Person soll nur für die Erstellung der digitalisierten Lerninhalte genutzt werden. Um zu erkennen, welchen Einfluss die Anwendung von Augmented Reality (AR) auf die Leistungsbereitschaft und Leistungsfähigkeit der anzulernenden Person hat, sollen psychische und physische Belastung bzw. Beanspruchung ermittelt werden (vgl. Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Entwicklung eines immersiven Anlernprozesses in der Basisarbeit

**Figure 1:** Developing an immersive learning process in basic work

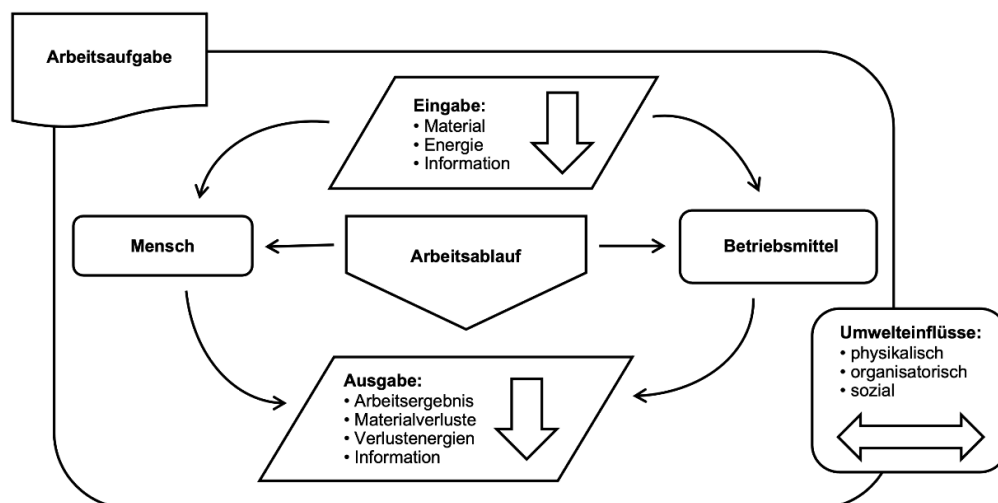
Diese Forschungsarbeit untersucht den immersiven Anlernprozess im Bereich Basisarbeit im produzierenden Gewerbe in Zusammenarbeit mit einem mittelständischen Unternehmen und dem IPD der Jade Hochschule. Die Arbeitsaufgabe im Arbeitssystem ist die Montage eines Getriebes. Die 129 Arbeitsschritte zur Montage des Getriebes werden ohne größere technologische Unterstützung durch einen angelernten Beschäftigten, ohne spezifische für den Arbeitsablauf benötigte Berufsausbildung, durchgeführt. Der vollständige Arbeitsablauf ohne Testlauf wird von einem angelernten und erfahrenen Beschäftigten in 81 Minuten ausgeführt.

## 2. Stand des Wissens

### 2.1 Basisarbeit, Training Within Industry, Lernkurven

Die Basisarbeit beschreibt ein heterogenes Spektrum an Erwerbsarbeit aus den folgenden Arbeitsbereichen: Einzelhandel, Gastgewerbe, Reinigung, personenbezogene Dienstleistungen, Logistik, aber auch zu erheblichen Teilen im produzierenden Gewerbe. Kennzeichnend für die Basisarbeit ist, dass sie keine formale Berufsqualifikation benötigt, da es sich um angelernte Tätigkeiten handelt. Dies ist unabhängig von der tatsächlichen Qualifikation der Basisarbeitenden. Neben dem oftmals unterdurchschnittlichen Verdienst ist Basisarbeit mit wenigen Ausnahmen nicht wissensintensiv. Auch wenn Automatisierung vor der Basisarbeit nicht haltmacht, können Beschleunigungseffekte zu einer Aufwertung von Teilen der Basisarbeit führen. Allerdings ist nicht zu erwarten, dass sich diese möglichen positiven Effekte von allein ergeben. Durch angepasste und flexible Instrumente einer integrierten Arbeitsmarkt- und Sozialpolitik scheint es aber möglich, die Basisarbeit im Sinne einer „Industrial Citizenship“ in den drei Dimensionen Qualifikation – Verdienst – Anerkennung aufzuwerten (Bovenschulte et al. 2021).

Die Basisarbeitenden durchlaufen üblicherweise keine Ausbildung, sondern einen Anlernprozess. Der Unterschied zwischen Ausbilden und Anlernen liegt in der Tiefe des Lernprozesses. Ausbilden bezieht sich auf einen umfassenden Lernprozess, der darauf abzielt, Wissen, Fertigkeiten und Kompetenzen in einem bestimmten Fachgebiet zu entwickeln. Die Ausbildung kann in Schulen, Hochschulen oder im Unternehmen, in Form einer betrieblichen Ausbildung, erfolgen. Anlernen bezieht sich in der Regel auf das Erlernen spezifischer Aufgaben oder Fertigkeiten, die für eine bestimmte Tätigkeit oder Position erforderlich sind. Es zielt auf die Vermittlung spezifischer Fertigkeiten ab und es ist keine umfassende Ausbildung in dem Fachgebiet notwendig. Anlernen findet häufig am Arbeitsplatz statt um eine Person in eine bestimmte Rolle in einem Arbeitssystem einzuführen. Das Arbeitssystem dient der Erfüllung einer Arbeitsaufgabe. Jedes Arbeitssystem, wie in Abbildung 2 dargestellt, lässt sich beschreiben durch die Arbeitsaufgabe, die Elemente des Arbeitssystems (Eingabe, Mensch, Betriebsmittel und Ausgabe) und die räumlich-zeitliche Beziehungen zwischen den Elementen (Arbeitsablauf) sowie durch die Umwelteinflüsse (DIN 33400 1983).



**Abbildung 2:** Genereller Aufbau eines Arbeitssystems (angelehnt an Schlick et al. 2018)

**Figure 2:** General structure of a work system (adapted from Schlick et al. 2018)

Die anzulernenden Personen in der Basisarbeit werden als Lernende oder lernende Personen benannt. Die Person, die den Anlernprozess führt, um Fertigkeiten zu vermitteln, wird als instruierende Person oder Instruktor/in bezeichnet.

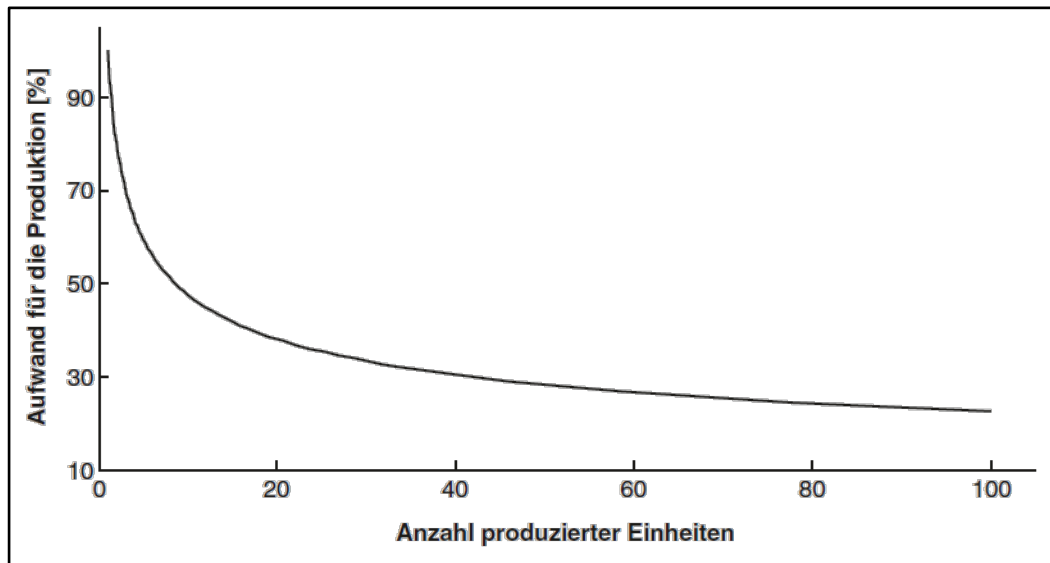
Der Instruktorialismus ist eine Lerntheorie, in der die/der Lernende instruiert wird, etwas zu tun (Broßmann & Mödinger 2011). Dem Lernenden wird Wissen vermittelt, welches dieser passiv aufnehmen soll, z.<sup>o</sup>B. durch Beobachten. Dieses vermittelte Wissen wird durch Übungen vertieft, beispielsweise wie bei Training Within Industry (TWI). Diese Lerntheorie folgt dem Modell des Behaviorismus, d.<sup>o</sup>h., dass Reiz-Reaktions-Modelle verstärkt werden. Auf einen bestimmten Reiz wird eine Reaktion antrainiert. TWI ist eine Ausbildungsmethode für Arbeitskräfte, die in den USA während des Zweiten Weltkriegs im Auftrag der US-Regierung entwickelt wurde. Der Grundgedanke dieser Methode bestand darin, ungelernte Arbeitskräfte im Bereich der Rüstungsindustrie so schnell und zuverlässig wie möglich auszubilden bzw. anzulernen. Zu dieser Zeit herrschte ein erheblicher Mangel an Fachkräften im Rüstungssektor, da viele der Arbeitskräfte zum Militärdienst eingezogen worden waren. Die Basiselemente des TWI sind schon seit über 60 Jahren bei dem japanischen Automobilhersteller Toyota etabliert und stellen bis heute die Basis des erfolgreichen Toyota-Schulungsprozesses dar (Röhr 2017).

Gegliedert wird die Methode nach vier verschiedenen Arbeitsbereichen, die sich aus Arbeitsunterweisung, Menschenbehandlung, Arbeitsbegleitung und Programm-entwicklung zusammensetzen (Hecht 1950). Diese einzelnen Bereiche sind jedoch nicht strikt unabhängig von den jeweiligen anderen Arbeitsbereichen.

Der Lernprozess im Bereich Arbeitsunterweisung durchläuft vier Stufen. Die erste Stufe umfasst das Heranführen an den Arbeitsprozess. Ziel ist, die/den Lernende/n für den vollständigen Arbeitsablauf zu sensibilisieren und zu begeistern. In der zweiten Stufe erfolgt die Demonstration des Arbeitsablaufs verbunden mit der gleichzeitigen Erläuterung seitens der/des Instruktor/s/in. Der Gesamtablauf wird hier in einzelne Teilabschnitte untergliedert, um eine möglichst effektive Erlernbarkeit zu realisieren. Dabei werden markante Kernpunkte und die Gründe für die Kernpunkte des jeweiligen Teilabschnittes speziell hervorgehoben. Dazu zählen beispielsweise Informationen darüber, was zur erfolgreichen Durchführung des jeweiligen Abschnitts von Bedeutung ist, wie sich der Arbeitsschritt vereinfachen lässt oder auf welche Aspekte zu achten sind, um Schäden zu vermeiden. Die Kernpunkte sollen hierbei von besonderer pädagogischer Relevanz zur Vertiefung des Arbeitsprozesses und somit zum leichteren Erlernen beitragen. In der dritten Stufe übernimmt die/der Lernende selbst die Durchführung des jeweiligen Arbeitsschrittes. Währenddessen werden Fehler korrigiert, Verständnisfragen bezüglich des Arbeitsablaufes, vor allem hinsichtlich der Kernpunkte gestellt sowie die eigenständige Durchführung des Prozesses überprüft. In der letzten Stufe wird nach Überprüfung und Reflexion die Unterweisung zum Abschluss gebracht (Hecht 1950).

Der Lernerfolg bzw. der zeitliche Verlauf der Leistungssteigerung im Lernprozess, z.<sup>o</sup>B. mittels TWI, kann mit Hilfe von Lernkurven mathematisch beschrieben werden. Diese zeigen üblicherweise die Abnahme des Zeitbedarfs für die Ausführung einer Tätigkeit im Arbeitsablauf mit der Anzahl ihrer Ausführungen. Mit anderen Worten, je öfter eine Person eine bestimmte Tätigkeit ausführt, desto schneller wird sie dabei und desto geringer ist der Zeitaufwand, den sie benötigt. Die Entwicklung einer ersten Lernkurve für den Einsatz im industriellen Umfeld wird Wright 1936 zugeordnet und ist in Abbildung 3 dargestellt. Wright beobachtete bei seinen Studien, dass die direkten Arbeitszeiten zur Erstellung eines Flugzeuges bei jeder Verdopplung der

Ausbringungsmenge auf einen konstanten Prozentsatz ihres ursprünglichen Wertes sanken (Wright 1936).



**Abbildung 3:** Lernkurve nach Wright für eine Abnahme der Produktionsaufwendungen von 80 % bei Verdopplung der Ausbringungsmenge (Schlick et al. 2018)

**Figure 3:** Learning curve according to Wright for a decrease in production expenditure of 80% when output doubles (Schlick et al. 2018)

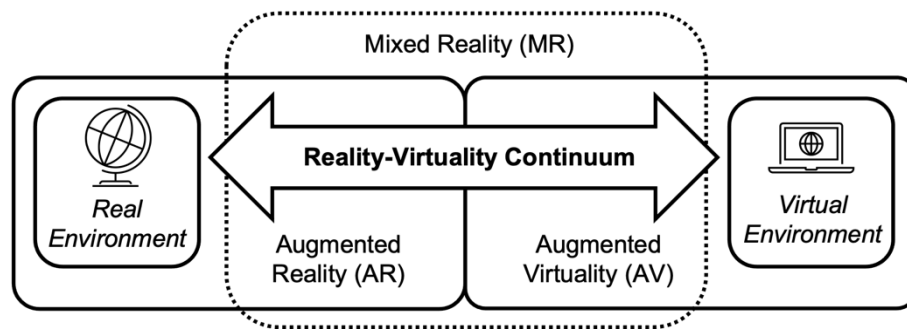
Die Lernkurve nach Wright und deren mathematische Formel in Form einer Potenzfunktion suggeriert einen unbegrenzten Lernfortschritt, deren Grenzwert für  $n \rightarrow \infty$  Null beträgt. Da es den unbegrenzten Lernfortschritt nicht gibt, entwickelte De Jong 1960 ebenfalls eine Potenzfunktion, führte jedoch eine sogenannte Unreduzierbarkeit ein, die durch den Grenzwert der Potenzfunktion bzw. ihrer Asymptote repräsentiert wird (Schlick et al. 2018). Der für die n-te Ausführung benötigte Zeitraum  $t_n$  hängt nach de Jong ab von einer Konstanten  $c$ , die für  $n \rightarrow \infty$  Grenzwert der Funktion ist, der Erstausführungsdauer oder anfängliche Zeit  $t_1$ , der Anzahl der durchgeführten Durchgänge oder Wiederholungen  $n$  und einer Änderungsrate  $k$ . Die korrespondierende Funktion ist:

$$t_n = c + (t_1 - c)n^{-k}$$

Es findet keine Berücksichtigung von Vorerfahrungen der/des Lernenden statt.

## 2.2 Augmented Reality

In der Literatur existieren vielfältige Definitionsansätze und Einordnungsmöglichkeiten zum Thema Augmented Reality (AR) aber auch zu artverwandten Themen wie Mixed Reality (MR) und Virtual Reality (VR). Zur Klassifizierung jener Technologien, welche die reale Umgebung durch virtuelle Elemente bereichern, definierten Milgram et al. 1995 das in Abbildung 4 dargestellte Reality-Virtuality Continuum (RVC).



**Abbildung 4:** Reality-Virtuality Continuum (RVC) zur Einordnung von Anwendungen zwischen realer Umgebung und virtueller Umgebung (angelehnt an Milgram et al. 1995)

**Figure 4:** Reality-Virtuality Continuum (RVC) to classify applications in between real environment and virtual environment (adapted from Milgram et al. 1995)

Das Reality-Virtuality Continuum bildet in einer vereinfachten Form die reale und die virtuelle Welt innerhalb der Außengrenzen ab. Entsprechend dieses Kontinuums liegt die reale Welt auf der linken und die virtuelle Welt auf der rechten Seite. Im intermediären Teil werden verschiedene Konzepte unter dem Begriff Mixed Reality subsumiert, heutzutage oft durch den Begriff Extended Reality (XR) ersetzt. Hierbei wird die reale Welt durch die Integration von virtuellen Objekten erweitert. Folglich zählen auch Augmented Reality und Augmented Virtuality zum Bereich der Mixed Reality. Der heute häufig anzutreffende Terminus Virtual Reality rangiert am äußersten rechten Ende des Spektrums. Dementsprechend basiert die Einordnung in eine AR- oder VR-Lösung auf der Fragestellung, ob die reale Realität um virtuelle Elemente erweitert wird oder reale Inhalte in die virtuelle Welt integriert werden (Milgram et al. 1995).

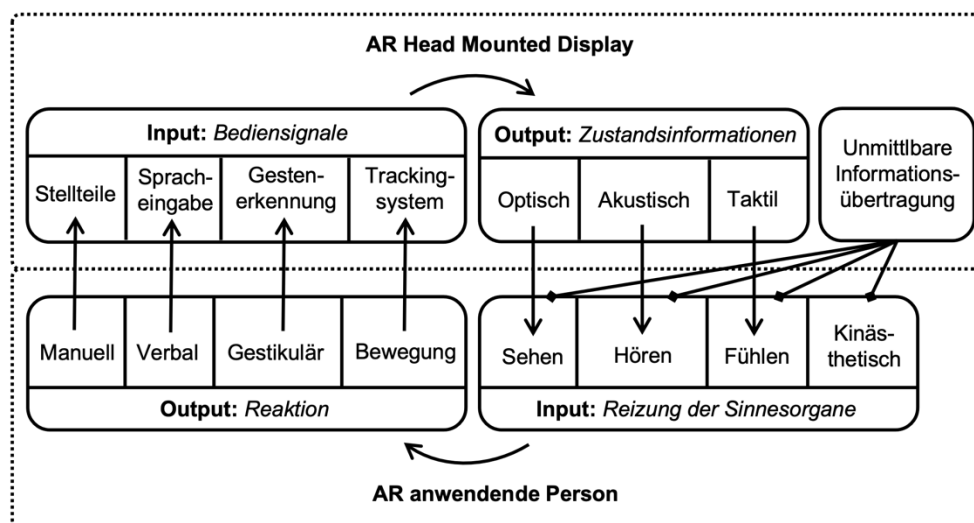
Konkret versteht man unter dem Konzept Augmented Reality die kontextbasierte Visualisierung von digitalisierten Inhalten auf realen Objekten. Dies erfolgt in Echtzeit durch ein geeignetes Anzeigegerät, beispielsweise eines Head Mounted Displays (HMD). Somit wird beim Einsatz von AR die tatsächliche Umgebung nach wie vor wahrgenommen. Sie wird jedoch optisch durch entsprechende digitalisierte Inhalte erweitert beziehungsweise ergänzt. Dabei agieren die abgebildeten Inhalte als virtuelle Objekte in Bezug zur Umgebung und stehen damit in Verbindung mit dieser (Azuma 1997). Durch HMDs hat der/die Anwender/-in die Hände frei und die Möglichkeit, digitalisierte Inhalte flexibel zu fokussieren, ohne dabei den Blickwinkel variieren zu müssen (Schönheits 2019).

Bei der Nutzung eines HMDs wie z. B. der Microsoft HoloLens 2 wird, aus technischer Sicht, das Licht eines Bildprojektors in ein transparentes Glas, den sogenannten transparenten Wellenleiter, geleitet. Der Wellenleiter wirft das Bild anschließend in das Auge des/der Nutzenden. Um die Grundfunktionen der Augmented Reality wie z. B. räumliches Tracking und 3D-Mapping der Umgebung zu ermöglichen ist das HMD unter anderem mit vier Kameras zur Erfassung der Kopfausrichtung und zwei Infrarotkameras zur Augenverfolgung ausgerüstet. Ferner verfügt das HMD über Sensoren zur Tiefenmessung und eine Inertialmesseinheit die mit Beschleunigungssensor, Gyroskop und Magnetometer bestückt ist (Cooley et al. 2022; Grimm et al. 2019).

So wird im Rahmen der vorliegenden Schnittstelle zwischen AR HMD und AR anwendende Person (Mensch-Maschine-Schnittstelle), wie in Abbildung 5 dargestellt, Zustandsinformationen in Form von digitalisierten Inhalten auf reale Objekte vom HMD zur AR anwendenden Person übertragen. Diese unmittelbare Informationsübertragung

erfolgt optisch, akustisch und auch prospektiv taktil und resultiert in Reizung der Sinnesorgane (sehen, hören, kinästhetisch und prospektiv fühlen). Die AR anwendende Person erkennt so die Situation, trifft Entscheidungen und reagiert manuell über Bedienelemente, verbal über Spracheingabe, gestikulär über Gestenerkennung oder mit Bewegungsmustern über Tracking Systeme. Die so erzeugte Informationsabgabe durch verschiedene Bediensignale wird vom HMD verarbeitet und erzeugt erneut Zustandsinformationen in Echtzeit und leitet diese weiter.

Belastung bzw. Beanspruchung entsteht beim Tragen eines AR HMD durch das Gewicht und durch den Druck des HMD auf den Kopf. Über die Gestensteuerung mit Handbewegungen entsteht ein zusätzlicher ergonomischer Belastungsfaktor, der sich natürlich individuell durch die Beanspruchung messen lässt. Da der Arbeitsprozess durch die Bedienung des AR HMD und die zusätzlichen digitalisierten Inhalte erweitert wird, kann eine psychische Arbeitsbelastung entstehen.



**Abbildung 5:** Austausch von Zustandsinformationen, Reizen, Reaktionen und Bediensignalen über Mensch-Maschine-Schnittstelle (angelehnt an Schlick et al. 2018)

**Figure 5:** Exchange of status information, stimuli, responses, and operational signals via Human-Machine-Interface (adapted from Schlick et al. 2018)

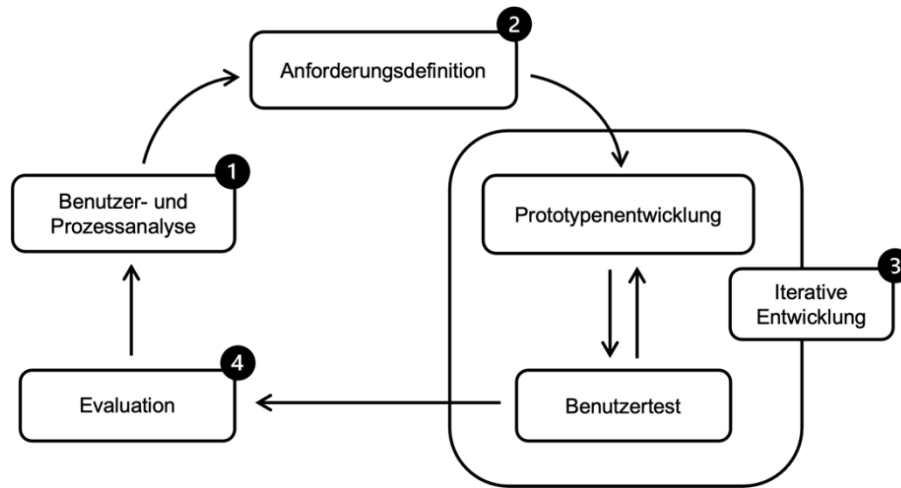
### 2.3 Verwandte Arbeiten

Der Einsatz von Augmented Reality (AR) im Kontext von industrienahen Basisarbeiten ist ein relevantes Thema für Wissenschaft und Praxis. In der Forschung wurde bereits der Einsatz von AR-Anleitungen bei komplexen Montagen und die individuelle Produktivität bei Montagearbeitenden untersucht. (Funk & Schmidt 2020; Rosenberger et al. 2020). Des Weiteren folgte die theoretische und empirische Untersuchung von AR-basierter Assistenz zum Anlernen an manuellen und robotergestützten Montageprozessen, sowie auch im Kontext von Industrie 4.0 (Hegenberg & Schmidt 2021; Büttner 2022).

### 3. Methodik

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird, die in Abbildung 6 dargestellte, angepasste Methodik des User-Centered Design (UCD) zur Entwicklung einer AR-

Anwendung für einen immersiven Anlernprozess in der Basisarbeit in vier Schritten adaptiert. Dieser ist etabliert als iterativer Gestaltungsprozess, bei dem sich in jeder Phase des Gestaltungsprozesses auf die Nutzenden (AR anwendenden Personen) und ihre Bedürfnisse konzentriert wird (Abrás et al. 2004).



**Abbildung 6:** Angepasste Methodik des User-Centered Design in vier Schritten als Leitfaden der Entwicklung einer AR-Anwendung (angelehnt an Abrás et al. 2004)

**Figure 6:** Customized User-Centered Design methodology in four steps to guide the development of an AR-application (adapted from Abrás et al. 2004)

Dabei erfolgt im ersten Schritt die Benutzer- und Prozessanalyse (1). Dies inkludiert die Betrachtung der prospektiven AR anwendenden Person, des Arbeitsprozesses und des Anlernprozesses. Basierend auf den Analysen ergibt sich im Schritt zwei die Anforderungsdefinition (2), wobei auf Basis der Anforderungen die notwendigen digitalisierten Inhalte und Funktionalitäten in Bezug auf AR anwendende Person, Arbeitsprozesse und Anlernprozess der AR-Anwendung definiert werden. Im dritten Schritt erfolgt bi-direktional die Prototypenentwicklung und die Durchführung von Benutzertests mit der AR anwendenden Person. Es wird beobachtet, welche Schwierigkeiten auftreten und es werden Daten gesammelt, um die Benutzererfahrung und den Lernerfolg im Arbeitsprozess zu bewerten. Der bi-direktionale Austausch zwischen Prototypenentwicklung und Benutzertests resultiert in einer iterativen Entwicklung (3).

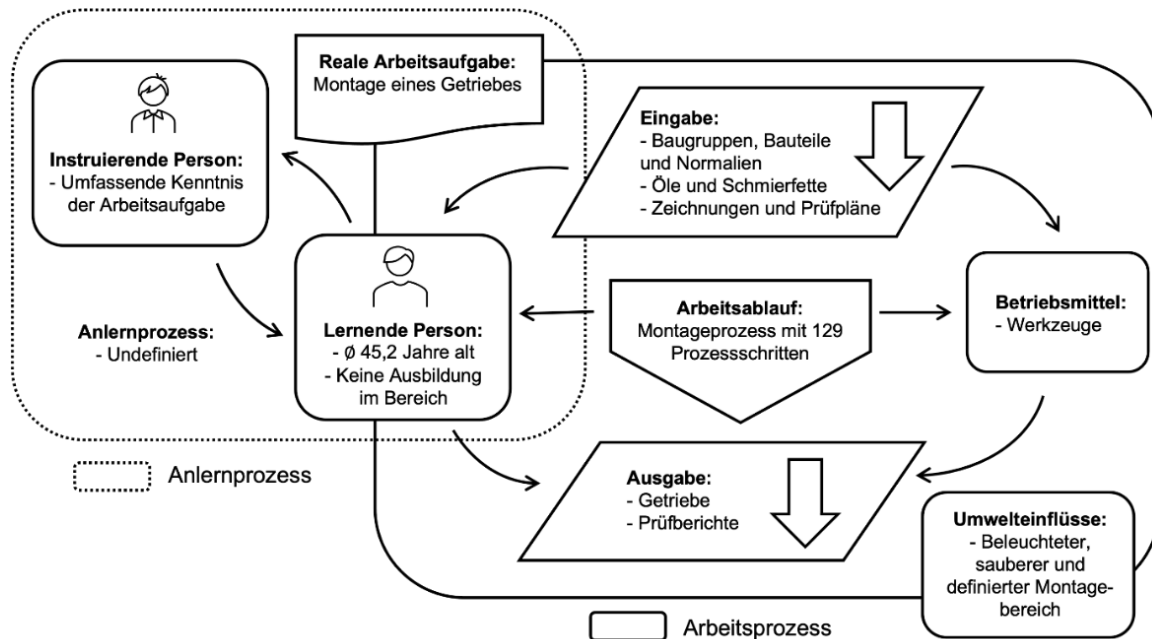
Basierend auf den Ergebnissen der Benutzertests resultiert zuletzt die Evaluation (4), so wird sichergestellt, dass die AR-Anwendung den Bedürfnissen der Benutzenden gerecht wird und effektiv eingesetzt werden kann. Im Rahmen der Evaluierung wird die Wirksamkeit und der Nutzen der AR-Anwendung durch den Vergleich der Lernergebnisse bzw. Lernerfolg in Bezug auf die Lernkurve nach De Jong bewertet und so letztendlich der Einfluss von Augmented Reality auf den Menschen und den Lernerfolg in der Basisarbeit analysiert. Die Qualität des im Arbeitsprozess erzeugten Produktes wird ebenfalls in die Evaluierung einbezogen.



## 4. Umsetzung und Ergebnisse

### 4.1 Benutzer- und Prozessanalyse

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit und der hier durchgeführten Analyse wird der Anlernprozess einer/s Lernenden durch einer/n Instruktor/in in einem Arbeitsprozess „Montage eines Getriebes“ betrachtet. Die/der Benutzer/in der neu zu entwickelnden Anlernmethode ist die/der Lernende, die/der sich im Rahmen des Anlernprozesses neue Fertigkeiten aneignet (Abbildung<sup>7</sup>).



**Abbildung 7:** Arbeitssystem der Getriebemontage inklusive des Anlernprozesses zwischen lernender Person und Instruierender Person

**Figure 7:** Work system of the gearbox assembly including the instruction process between the learning person and the instructing person

Die Arbeitsaufgabe im Arbeitsprozess ist die Montage eines Getriebes in einem mittelständischen produzierenden Unternehmen und soll von einem Beschäftigten ausgeführt werden. Pro Jahr werden ca. 100 Getriebe montiert, welche aus mehreren Baugruppen, Bauteilen und Normalien bestehen. Die Bauteile sind überwiegend aus Eisenmetallen bzw. Leichtmetallen und werden größtenteils in vorgelagerten Prozessschritten hergestellt. Die Herstellungsprozesse der Bauteile, wie auch der nachgelagerte Versandprozess sind nicht Bestandteil dieser Forschungsarbeit.

Die Montage des Getriebes ist Erwerbsarbeit und benötigt keine formale Berufsqualifikation und ist somit der Basisarbeit zuzuordnen. Der montierende Beschäftigte benötigt keine umfassende Ausbildung in der Montage, sollte jedoch spezifische Fertigkeiten haben, um das Getriebe montieren zu können. Das Durchschnittsalter der Beschäftigten im untersuchten Unternehmen ist 45,2 Jahre.

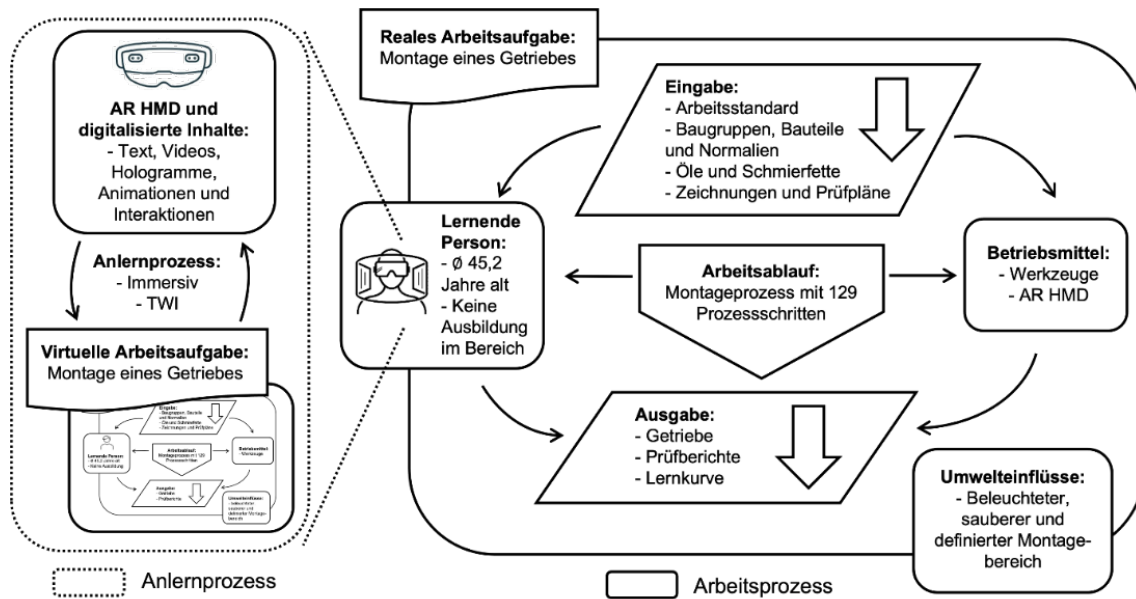
Der Arbeitsablauf des Montageprozesses des Getriebes besteht aus 129 Prozessschritten. Die Eingabe bzw. das Material im Arbeitssystem sind Baugruppen, wie z.<sup>o</sup>B. Entlüfter oder Ölkühler, und Bauteile, wie z.<sup>o</sup>B. Zahnräder oder Kugellager, aber auch Öle und Schmierfette. Als Betriebsmittel werden Werkzeuge, wie z.<sup>o</sup>B. Schraubendreher, Inbusschlüssel und Schraubenschlüssel verwendet. Den Abschluss

des Montageprozesses bildet ein Probelauf. Hier wird das Getriebe innerhalb von 60 Minuten anhand eines Prüfplans getestet und dabei neben der fehlerfreien Funktion, auch wichtige Messwerte, wie der Öldruck, die Temperatur und die Stromaufnahme während des Testlaufs zu verschiedenen Zeitpunkten erfasst und für den späteren Prüfbericht protokolliert. Die Ausgabe des Arbeitssystems bzw. das Arbeitsergebnis ist das montierte und getestete Getriebe. Die für die Durchführung der Montage eines Getriebes inklusive Probelauf benötigte Zeit  $t$  beträgt fünf Stunden (entspricht  $t = 18.000 \text{ sec/1 Durchführung}$ ). Die gesamte Montage des Getriebes inklusive des Probelaufs findet in einem gut beleuchteten und sauberen Raum statt, der lediglich für die Montage genutzt wird. Eingabe, Ausgabe und die Betriebsmittel befinden sich ebenfalls in diesem Raum.

Die spezifischen Fertigkeiten für die Durchführung der Montage bzw. den Arbeitsablauf werden am Arbeitsplatz angelernt. Der Anlernprozess erfolgt im Unternehmen klassisch durch Beobachten und Üben der lernenden Person. Der Anlernprozess wird durch eine/n erfahrene/n Instruktor/in bzw. Beschäftigten anhand von Zeichnungen durchgeführt. Die/der Instruktor/in steht während des Anlernprozesses Vollzeit dem/der Lernenden zur Seite. Zusätzlich wird der Anlernprozess von einer Führungsperson, die temporär den Anlernprozess beobachtet, begleitet.

#### *4.2 Anforderungsdefinition*

Die Anforderung in dieser Forschungsarbeit ist, dass die/der Lernende ohne eine/n Instruktor/in, siehe Abbildung 8, nur mit dem AR HMD ausgestattet im dargestellten Arbeitsprozess angelernt wird. Die/der Lernende soll zu Beginn des immersiven Anlernprozesses noch über keine prozessspezifischen Fertigkeiten verfügen. Alle für die Durchführung des Arbeitsprozesses benötigten Inhalte des Arbeitssystems, wie Eingabe, Ausgabe, Arbeitsablauf und benötigte Betriebsmittel sollen beim Anlernprozess berücksichtigt werden. Die digitalisierten Lerninhalte in Form von Texten, Videos, Hologrammen, Animationen und Interaktionen sollen der/dem Lernenden über das AR HMD auf den realen Arbeitsprozess projiziert werden. Die Anforderung ist dabei, dass die dargestellten und eingebetteten virtuellen Inhalte in den Hintergrund treten und nicht als störend empfunden werden sollen. Der/dem Lernenden soll durch Immersion das Gefühl der realen Welt vermittelt werden.



**Abbildung 8:** Arbeitsprozess „Montage eines Getriebes“ und immersiver Anlernprozess

**Figure 8:** Work system “Gearbox Assembly” and immersive learning process

Zur Erstellung der Texte, Videos, Hologramme, Animationen und Interaktionen soll der Arbeitsprozess vorher unter Lean Gesichtspunkten strukturiert und standardisiert werden. Die Arbeitsunterweisungen der einzelnen Schritte sollen eine detaillierte Beschreibung, die Kernpunkte und die Gründe für die Kernpunkte beinhalten. Zusätzlich sollen mögliche Fragen zur Überprüfung des Lernerfolges formuliert werden. Nachdem der Arbeitsprozess standardisiert ist, soll er ausgeführt werden und entsprechende Vorgabezeiten ermittelt werden. Diese werden ebenfalls in die Arbeitsunterweisung eingetragen.

Der Lernprozess soll gemäß TWI und der Arbeitsunterweisung in vier Stufen unterteilt werden. Die/der Lernende soll über das AR HMD durch den Lernprozess geführt werden und beide Hände frei haben, um den Arbeitsprozess auszuführen. In der dritten Stufe der Arbeitsunterweisung wird der Lernerfolg anhand von Fragen und den Antworten der/des Lernenden durch das Lernsystem selbstständig und iterativ überprüft. Erkennt das System, dass der Lernerfolg ausgeblieben ist, soll die/der Lernende Lernschritte aus dem Anlernprozess wiederholen. Der immersive Anlernprozess wird in mehreren Durchgängen durchgeführt bzw. wiederholt. Durch die Messung der Zeit für die Ausführung je Durchgang kann ein Vergleich mit der Lernkurve nach De Jong durchgeführt werden. Die Steigung der Funktion bzw. wie schnell die Kurve abflacht, kann zur Evaluierung genutzt werden.

### 4.3 Iterative Entwicklung

Neben der Vorbereitung der Einweisung der/des Lernenden in die AR HMD wird im ersten Abschnitt der iterativen Entwicklung die Standardisierung des Gesamtmontageprozesses umgesetzt. Hintergrund sind die aktuell fehlenden Arbeitsanweisungen und das Fehlen der entsprechenden Zeitaufzeichnungen.

Die Getriebemontage wird in 12 Teilprozesse aufgeteilt, gemäß der Reihenfolge der Montage von den Baugruppen, den Bauteilen und Normalien. Tabelle 1 zeigt die Teilprozesse, die Prozessschritte, Vorgabezeiten und Anzahl Anleitungsschritte.

**Tabelle 1:** Teilprozesse, Prozessschritte und Vorgabezeiten des Montageprozesses

**Table 1:** Subprocesses, process steps and target times of the assembly process.

Teilprozess des Montageprozesses [Nr.]	Prozessschritte innerhalb Teilprozess [Anz.]	Vorgabezeit Teilprozessmontage [Sek.]	Anleitungsschritte [Anz.]	Beschreibung
1	11	610	81	Montage von Lagerbuchsen
2	15	414	109	Montage von Flansch und Ölfilter
3	8	466	60	Modifikation der Ölpumpe
4	7	150	53	Montage von Entlüftung
5	7	236	53	Montage von Ölkühler
6	15	281	109	Montage von Getriebebohrung (A)
7	12	280	88	Montage von Getriebebohrung (B)
8	9	212	67	Montage von Getriebebohrung (C)
9	6	235	46	Montage von Schlauchleitungen
10	12	315	88	Montage von Getriebebohrung (D)
11	13	817	95	Testlauf
12	14	825	102	Endmontage
<b>Summe</b>	<b>129</b>	<b>4841</b>	<b>951</b>	

Im Rahmen der Realisierung der Standardisierung der Montage eines Getriebes wird für die identifizierten 12 Teilprozesse und 129 Prozessschritte ein einheitliches Format für die Arbeitsunterweisungen entwickelt. Die Prozessbeschreibungen dienen als Grundlage für die Ausarbeitungen des immersiven Anlernprozesses mit dem AR HMD. Die Arbeitsunterweisungen werden so gestaltet, dass diese die relevanten Informationen der TWI Methode beinhalten (Abbildung 9).

<b>Prozessschritt: 3</b>	
<b>Inhalt:</b> Als Nächstes wird die Verschlusschraube DIN910 M26x1,5 mit dem Usit-Ring U26,7x35x2,0 Viton mit dem Getriebegehäuse verschraubt.	
<b>Beschreibung:</b> Vor dem Einsetzen wird die Verschlusschraube erst entfettet und danach mit gelber Farbe markiert. Anschl. den Usit-Ring U26,7x35x2,0 auf die vorgesehene Position des Getriebegeh. platzieren und anschließend die Verschlusschraube DIN910 M26x1,5 mit der Hand in das Getriebegehäuse verschrauben.	
<b>Keypoints:</b> Die Verschlusschraube DIN910 M26x1,5 wird händisch verschraubt, damit an dieser Stelle im Späteren das Öl eingelassen werden kann.	
<b>Bilder:</b>	

**Abbildung 9:** Aufzeichnungsbogen zur Standardisierung der Montage eines Getriebes mit insgesamt sieben Komponenten

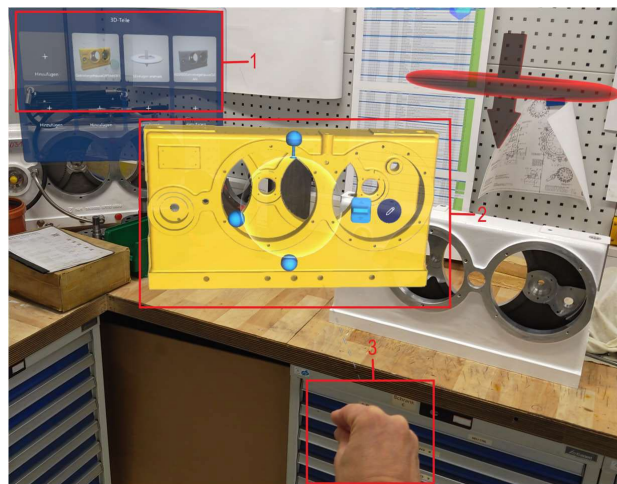
**Figure 9:** Recording sheet for standardization of the assembly of a gearbox with a total of seven components

Die Arbeitsunterweisungen beinhalten dabei Informationen über die Prozessschritte innerhalb der 12 Teilprozesse und die entsprechende Vorgabe für die Ausführungszeiten. Daran schließen sich die generellen inhaltlichen Anforderungen an die insgesamt 129 Prozessschritte an. Dies ermöglicht im Anlernprozess mit dem AR HMD eine sinnvolle Demonstration des Gesamtprozesses für die/den Lernende/n. Im Zentrum der Arbeitsunterweisungen wird die Vorgehensweise ausführlich beschrieben, wobei Kernpunkte und die Gründe für die Kernpunkte hinsichtlich der TWI Methode zu finden sind. Nachfolgend werden zum jeweiligen Kernpunkt eine Fragestellung sowie mehrere Antwortmöglichkeiten ausformuliert. Hierdurch wird die Überprüfung des Lernerfolges möglich. Abschließend wird im letzten Abschnitt der Vorlage ein Bild des Arbeitsprozesses platziert. Nachdem der Prozess standardisiert ist, findet die erste Durchführung des Montageprozesses statt um die Vorgabezeiten zu ermitteln und die Nutzerbedürfnisse abzufragen.

Basierend auf den Nutzerbedürfnissen und der Standardisierung zur Getriebemontage soll im zweiten Schritt der iterativen Entwicklung eine komplette Arbeitsunterweisung für das AR HMD mit der Microsoft HoloLens 2 entwickelt werden. Der immersive Anlernprozess mit dem AR HMD hat das Ziel, eine/n Lernende/n zu befähigen, selbstständig die Getriebemontage durchzuführen, ohne Unterstützung. Dies schließt auch das Auffinden sowie das Zusammenstellen sämtlicher für den Montageprozess erforderlichen Betriebsmittel, wie z. B. Werkzeuge, der montierenden Materialien und Einzelteile im Bereich der Montage ein.

Die Unterweisung soll sich an die TWI Methode und den vier Stufen anlehnen. Der genauen Beschreibung der Inhalte der vier Stufen kann nicht entsprochen werden, da die Rolle der/des Instructors/in indem zu entwickelnden Anlernprozess fehlt. Der grundsätzliche Ablauf der TWI Methode soll jedoch aufgegriffen werden und die Rolle der/des Instructors/in durch das AR HMD eingenommen werden.

Für die Erstellung des immersiven Anlernprozesses mit der AR HMD werden zunächst digitalisierte Inhalte geschaffen, wie Texte, Videos, 3D Hologramme, Animationen und Interaktionen. Mittels der Software Microsoft Paint 3D und der freien Software Blender werden die CAD-Daten des Getriebes, der Baugruppen, der Bauteile, der Normalien, der Betriebsmittel bearbeitet und wie in Abbildung 10 beispielhaft im Raum dargestellt oder als Animation oder Interaktion animiert.

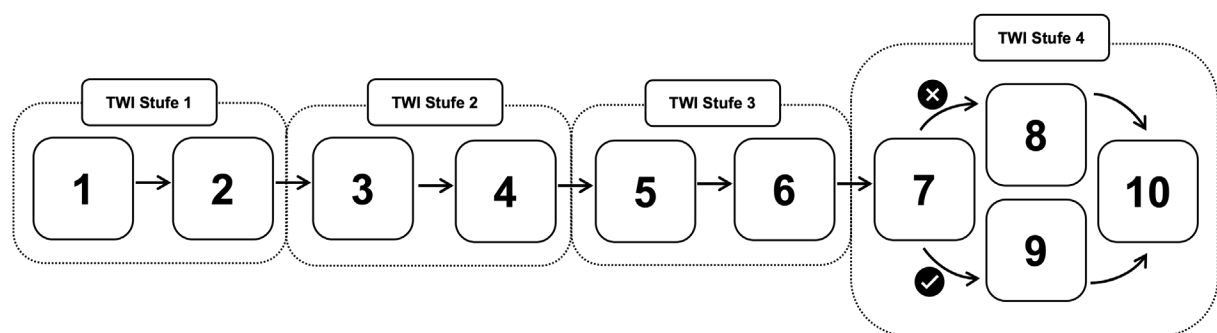


**Abbildung 10:** Beispiel für die Erstellung der Animation eines Montageschrittes mit der Software Blender

**Figure 10:** Example of animation development of an assembly step with the software Blender

Nach Erstellung der erforderlichen digitalisierten Inhalte erfolgt die Generierung des Anlernprozesses mit dem AR HMD mittels der Software Dynamics 365 Guides. Die Anweisung wird am Computer erzeugt und die digitalisierten Inhalte via Cloud abgespeichert. Die Kopplung der digitalisierten Inhalte an den Arbeitsbereich wird anschließend über die Positionierung von spezifischen QR-Codes und die Integration in die AR HMD bewerkstelligt.

Der nun mögliche Anlernprozess mit AR HMD wird mithilfe der Applikation in zehn Schritte aufgeteilt und durchgeführt. Die individuellen Anlernschritte werden im sogenannten Schritteditor der Software angelegt. Zusätzlich können innerhalb des Editors auch Fragestellungen mit maximal drei Antwortmöglichkeiten definiert werden. Die entsprechenden Antwortmöglichkeiten des Frageschritts sind mit einem nachfolgenden Schritt verknüpft, woraus eine oder mehrere Verzweigungen resultieren. Der immersive Anlernprozess für die Getriebemontage ist, wie in Abbildung 11 dargestellt, konzeptioniert.



**Abbildung 11:** Schematischer Aufbau der AR-Unterweisung in Dynamics 365 Guides

**Figure 11:** Schematic structure of AR-instruction in Dynamics 365 Guides

Im Rahmen eines Schrittes des Anlernprozesses erfolgt zunächst die Begrüßung und Einführung in die Arbeitsunterweisung (1). Folgend werden die benötigten Werkzeuge, Einzelteile und ihre Aufbewahrungsorte präsentiert (2). Dies repräsentiert die erste Stufe der TWI Methode. Die visuelle Darstellung aller Prozessschritte als Gesamtüberblick (3), die Erklärung der einzelnen Arbeitsschritte und die Unterteilung in Teilabschnitte (4) sind die Stufe zwei der TWI-Methode. Im fünften Schritt werden detaillierte Anweisungen und Handgriffe für die Durchführung gegeben (5). Es wird auch ein Kernpunkt mit Begründung und Hinweisen zur Vermeidung von Fehlern erläutert (6). Die vierte Stufe beginnt mit Schritt 7, wo die/der Lernende den Prozessschritt selbst durchführt. Es gibt eine Frage mit verschiedenen Antwortmöglichkeiten, um den Lernerfolg abzufragen. Bei korrekter Beantwortung erfolgt Anerkennung und Weiterführung (8, 10), bei falscher Antwort wird der Kernpunkt erneut präsentiert (9) und zum nächsten Schritt geleitet. Dieser Ablauf wiederholt sich für jeden Prozessschritt, bis alle Arbeitsgänge abgeschlossen sind. Am Ende des Montageabschnitts wird die vollständige Durchführung bestätigt und der Erfolg gewürdigt.

Nachdem der erste Prototyp des immersiven Anlernprozesses mit AR HMD entwickelt worden ist, erfolgt der Testlauf bzw. die Durchführung von Benutzertests mit der AR anwendenden Person. Die anzulernende Person aus dem Testlauf ist noch nicht in der Montage tätig gewesen und besitzt somit keine spezifischen Fertigkeiten bzgl. der Getriebemontage. Sie bekommt während dem Anlernprozess keinerlei Hilfestellung durch eine/n Instruktor/in (Abbildung 12). Lediglich zum Start der drei

Testläufe findet ein Anlernprozess in der Benutzung eines AR HMD, wie z. B. Augensteuerung, mittels einer/s Instructors/in statt. Damit die anzulernende Person während des Arbeitsprozesses beide Hände frei hat, erfolgt die Steuerung des Systems über Augensteuerung (Eye Tracking). Die anzulernende Person blickt auf eine Position im Bildschirm, das System erkennt die Position und ohne Gesten kann das System nun bedient werden bzw. Befehle ausführen. Das schrittweise Durchlaufen des immersiven Anlernprozesses bzw. der Wechsel zum nächsten Anlernschritt wird so möglich.



**Abbildung 12:** Durchführung des Montageprozesses mit Unterstützung durch HoloLens2

**Figure 12:** Implementation of the assembly process with support from HoloLens2

Es werden mehrere Testläufe bzw. Durchgänge durchgeführt. Am Ende eines jeden Durchgangs findet der Probelauf des Getriebes anhand des Prüfplans statt. Während des jeweiligen Durchgangs wird die benötigte Zeit  $t_n$  für jeden Teilprozess in Sekunden aufgenommen (Tabelle 2). Diese Zeit wird für die Optimierung des Anlern- und Arbeitsprozesses im Rahmen der iterativen Entwicklung genutzt. Es wird beobachtet, welche Schwierigkeiten auftreten und es werden Daten gesammelt, um die Benutzererfahrung, die Bedürfnisse und den Lernerfolg im Arbeitsprozess zu bewerten.



**Tabelle 2:** Zeit  $t$  für Durchgang  $n=1$  bis  $n=5$  bei den Teilprozessen des Montageprozesses

**Table 2:** Time  $t$  for  $n=1$  til  $n=5$  at all subprocesses of the gearbox assembly

Teilprozess des Montageprozesses [Nr.]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Summe
Prozessschritte [Anz.]	11	15	8	7	7	15	12	9	6	12	13	14	129
Vorgabezeit Teilprozessmontage [Sek.]	610	414	466	150	236	281	280	212	235	315	817	825	4841
Zeit $t_1$ für Durchgang $n=1$ [Sek.]	nicht aufgenommen												22000
Zeit $t_2$ für Durchgang $n=2$ [Sek.]	744	1106	631	275	280	515	413	361	380	581	1213	1426	7925
Zeit $t_3$ für Durchgang $n=2$ [Sek.]	588	497	412	183	234	295	300	257	265	413	933	958	5335
Zeit $t_4$ für Durchgang $n=4$ [Sek.]	530	445	409	160	190	264	286	231	230	345	866	891	4847
Zeit $t_5$ für Durchgang $n=5$ [Sek.]	530	445	409	160	190	264	286	231	230	345	866	891	4800

Das Ziel der iterativen Entwicklung des Systems ist es, nach wenigen Durchgängen des Anlernprozesses die Summe der Vorgabezeiten für alle Teilprozesse, welche 4841 Sekunden (80,6 Minuten) beträgt, zu erreichen. Nach vier Durchgängen wird die Vorgabezeit erreicht. Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Durchgänge beschrieben:

Die Zeit  $t_1$  für den Durchgang  $n=1$  ist die Erstausführungsdauer und ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Summe der Zeit  $t_1$  für alle Teilprozesse beträgt 22.000 Sekunden (366,67 Minuten). Diese Zeit wird hier nicht genauer analysiert, da dieser Durchgang lediglich zur Orientierung der/s Lernenden im Anlern- und Arbeitsprozess dient.

Die Zeit  $t_2$  für den Durchgang  $n=2$  ist in Zeile 5 der Tabelle 2 dargestellt. Die Summe der Zeit  $t_2$  für alle Teilprozesse beträgt 7.925 Sekunden (132,08 Minuten). Auffällig sind die Zeiten  $t_2$  für die Teilprozesse 2 und 11, die erheblich von den Vorgabezeiten der Teilprozesse abweichen. Hier wird festgestellt, dass in beiden Teilprozessen ein ähnlicher Montageprozess stattfindet, der mehr Fingerfertigkeit erfordert, als alle anderen Montageprozesse. Das einmalige Üben im Durchgang reicht nicht aus um diese Fertigkeiten zu erlernen. Als Verbesserung des immersiven Anlernprozesses sollte hier diese Fingerfertigkeit in einem separaten „Lernraum“ an einem Demonstrator bzw. Mustergetriebe unabhängig von dem Anlernprozess mehrmals geübt werden.

Die Zeit  $t_3$  für den Durchgang  $n=3$  ist in Zeile 6 der Tabelle 2 dargestellt. Die/der Lernende hat vor Beginn des dritten Durchgangs die spezifischen Fingerfertigkeiten aus dem Durchgang  $n=2$  mehrmals geübt. Die Summe der Zeit  $t_3$  für alle Teilprozesse beträgt 5335 Sekunden (88,92 Minuten). Eine signifikante Verbesserung ergibt sich in den Zeiten  $t_3$  für die Teilprozesse 2 und 11. Hiermit wird die Hypothese bestätigt, dass das Einüben spezifischer Fertigkeiten an einem Demonstrator den Lernerfolg erhöht. In den Teilprozessen eins, drei und fünf erreicht die/der Lernende schon die Vorgabezeiten. Im Teilprozess zehn ist der Unterschied zwischen der Zeit  $t_3$  und der Vorgabezeit am größten. Hier wird in der AR-Unterweisung eine zusätzliche Markierung angebracht und soll der/dem Lernenden beim nächsten Durchgang mehr Orientierung bei der Montage geben.

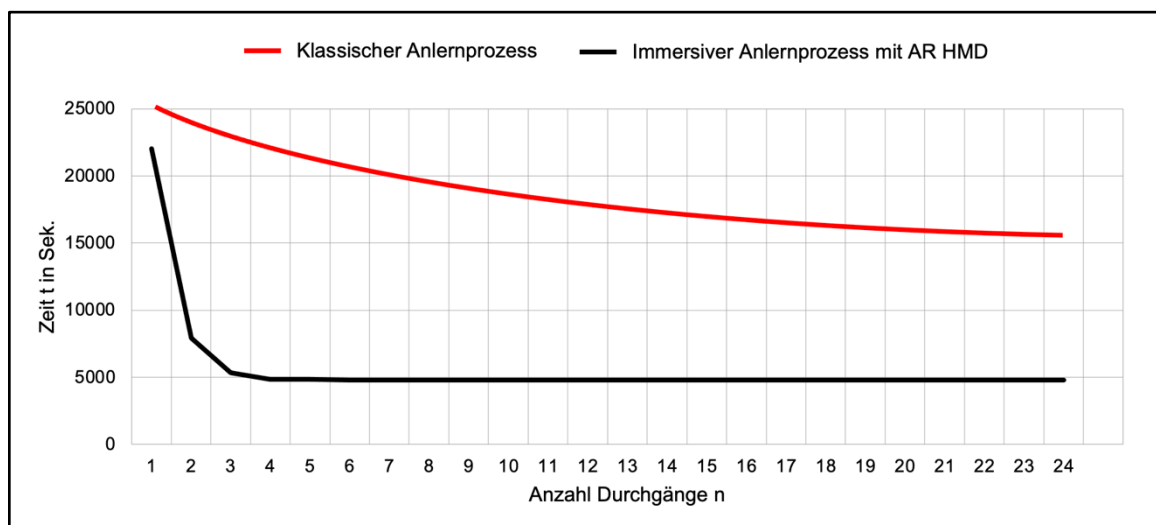


Die Zeit  $t_4$  für den Durchgang  $n=4$  ist in Zeile 7 der Tabelle 2 dargestellt. Die Summe der Zeit  $t_4$  für alle Teilprozesse beträgt 4847 Sekunden (80,78 Minuten). Die Zeit weicht lediglich um 6 Sekunden von der Vorgabezeit ab. Auch für den Durchgang  $n=5$  war die/der Lernende in der Lage, das Getriebe innerhalb der Vorgabezeit zu montieren.

#### 4.4 Evaluation

Zur Evaluation des immersiven Anlernprozesses wird die Lernkurve nach De Jong angewendet. Trägt man die Zeiten für die Durchgänge  $n=1$  bis  $n=5$  in ein x-y-Koordinatensystem ein, erhält man die Lernkurve des neuen Anlernprozesses. Der Grenzwert bzw. die Vorgabezeit ist dort  $c=4.800$  Sekunden und die Erstaussführungsdauer  $t_1=22.000$  Sekunden. Die Änderungsrate  $k$  liegt zwischen 3,4 und 3,6. Diese ist in Abbildung 13 dargestellt.

In roter Farbe dargestellt ist die Anlernkurve nach De Jong für den Anlernprozess in der klassischen Form mit Instruktor/in und ohne konkreten Arbeitsstandard als Hypothese basierend auf Erfahrungswerten aus dem Unternehmen. Der Grenzwert ist dort 15.000 Sekunden und die Erstaussführungsdauer 28.000 Sekunden. Die Änderungsrate liegt zwischen 0,4 und 0,6. Die Überprüfung der Hypothese ist zu diesem Zeitpunkt nicht mehr möglich, da der Arbeitsablauf schon geändert worden ist. In weiterer Forschungsarbeit muss die Lernkurve mit und ohne AR-Unterstützung auf der Basis der gleichen (bestehenden) Arbeitsstandardisierung durchgeführt werden.



**Abbildung 13:** Vergleich der Lernkurven beider Anlernprozesse mit Zeit  $t$  je Durchgang  $n$

**Figure 13:** Comparing learning curves of both learning processes with Time  $t$  per  $n$

Durch die Standardisierung der Arbeit kann die Vorgabezeit der Teilprozesse erheblich reduziert werden. In dieser Forschungsarbeit kann die Vorgabezeit für die Getriebemontage von 15.000 Sekunden auf 4.800 Sekunden reduziert werden. Die Vorgabezeit wird bereits nach  $n=4$  Durchgängen erreicht. In einem klassischen Anlernprozess mit Instruktor/in werden 20 bis 25 Durchgänge bis zum Erreichen der Vorgabezeit benötigt. Die/der Instruktor/in muss bei mindestens drei Durchgängen die komplette Anlernzeit beim Anlernprozess anwesend sein und auch bei den Durchgängen  $n>3$  kann auf ihre/seine Anwesenheit nicht vollständig verzichtet werden.

Im Rahmen des immersiven Anlernprozesses mit AR HMD wird die/der Instruktor/in nicht benötigt. Aufgrund der Ergebnisse des 60-minütigen Probelaufs des Getriebes wird erkannt, dass bei jedem Durchgang die Qualitätsziele erreicht werden und es somit keine Qualitätsverluste aufgrund des immersiven Anlernprozesse mit AR HMD gibt.

Durch eine Befragung der anzulernenden Person bzgl. der Beanspruchung durch das Gewicht des HMD und den Druck des HMD auf den Kopf wird erkannt, dass diese keine bewusst wahrgenommene Beanspruchung darstellen. Dies ergibt sich auch daher, dass der Anlernprozess nur wenige Tage dauert und somit die Zeit des Tragens des HMD beschränkt ist. Die zusätzliche ergonomische Belastung durch die Gestensteuerung fällt weg, da das System über Augensteuerung bedient wird. Eine negative psychische Arbeitsbelastung kann nicht festgestellt werden, da der Lernende den Anlernprozess mit AR HMD insgesamt als positiv, stressfrei und transparent bewertet.

## 5. Diskussion

Insgesamt resultiert aus dieser Forschungsarbeit ein Einblick in die neuen Möglichkeiten des immersiven Anlernens im Bereich der Basisarbeit. Dabei wird ersichtlich, dass der Einsatz eines AR HMD mit digitalisierten Inhalten im Kontext der TWI Methode den Anlernprozess hinsichtlich von drei Aspekten wesentlich verbessert. Erstens wird eine Vorgabezeitreduzierung aufgrund von Standardisierung erreicht. Zweitens wird die Vorgabezeit bereits nach vier Durchgängen aller Montagetätigkeiten erreicht und drittens ist die Anwesenheit einer/s Instructors/in im Anlernprozess nicht notwendig.

Erkennbar vorteilhaft bei der Nutzung der TWI Methode ist speziell dessen Einfachheit. Die/der Lernende hat wenig Eigenverantwortung, da der Anlernprozess vordefiniert und auch der Lernerfolg einfach evaluiert werden kann. Die Vermittlung von Wissen zu Fertigkeiten findet dabei immersiv über das AR HMD statt, welches die/den Instruktor/in ersetzt. Nachteilig ist, dass die/der Lernende als Individuum unberücksichtigt bleibt. Es wird kaum auf ihr/sein Vorwissen, ihre/seine Erfahrungen und Stärken eingegangen. Daraus folgt, dass auch die erlernten Fertigkeiten wenig individuell sind.

Hinsichtlich der vorliegenden Lernkurve gilt es zu beachten, dass die zu Grunde liegende Lernkurve nach De Jong immer eine vereinfachte Annäherung darstellt und nicht ganzheitlich alle Faktoren berücksichtigt, die die Leistung beeinflussen können. Die tatsächliche Lernkurve kann je nach Kontext, Aufgabe und individuellem Erfahrungslevel der Lernenden variieren. Andere Leistungen beeinflussende Faktoren wie beispielsweise technologische Fortschritte oder Veränderungen in der Arbeitsumgebung bleiben unberücksichtigt. Dennoch bietet die Lernkurve nach De Jong eine nützliche Perspektive, um den Einfluss von Erfahrung und Übung auf die Leistungsfähigkeit zu verstehen. Die Lernkurve wird für unterschiedliche Montageprozesse bzw. Formen der Basisarbeit variieren, aber das grundlegende Prinzip bleibt gleich: Mit Anzahl der Durchgänge  $n \rightarrow \infty$  nimmt die Zeit für die Durchführung der Montage ab, bis an die Vorgabezeit in Abhängigkeit von individuellen Leistungsgraden.

Auch wenn diese Ergebnisse insgesamt sich auf die Untersuchung der Basisarbeit im industriellen Kontext (Montage eines Getriebes) spezifizieren, lässt sich der vorgestellte Ansatz auf jede Art Erwerbsarbeit im Bereich Basisarbeit ausweiten und

generalisieren. So wäre es unabhängig der Erwerbsarbeit möglich benutzerorientiert vorzugehen und zunächst den Arbeitsprozess zu standardisieren, den Anlernprozess über digitalisierte Inhalte zu gestalten und letztendlich mit dem AR HMD einen immersiven Anlernprozess ohne Instruktor/in durchzuführen.

## **6. Schlussfolgerungen und Ausblick**

Diese Forschungsarbeit belegt, dass die Anwendung von AR im Anlernprozess sich als effektiv erwiesen hat. Augmented Reality im Zusammenspiel mit den angewendeten Methoden lässt sich nahezu in jeden Anwendungsbereich der Basisarbeit integrieren. Die Anlernzeit kann signifikant reduziert werden, so dass Lernende in wenigen Durchgängen die erforderlichen Fertigkeiten zur erfolgreichen Bewältigung der Aufgabe im betrachteten Arbeitsprozess ohne erkennbaren Qualitätsverlust erlernen. Entscheidender Faktor bei dieser Betrachtung ist die Tatsache, dass das Wissen um den Anlernprozess nicht nur effizient und nachhaltig transferiert wird, sondern auch auf die instruierende Person weitgehend während dem Anlernen verzichtet werden kann, was in Zeiten des Arbeitskräftemangels die Personalkapazitäten entlastet.

Es konnten weder physische noch psychische Belastung bzw. Beanspruchung auf die anzulernende Person mittels einer Befragung festgestellt werden, da z.<sup>°</sup>B. der Zeitraum des Tragens des Headsets auf die Anlerndauer beschränkt ist. Vielmehr wurde der immersive Anlernprozess insgesamt als positiv empfunden und somit die Leistungsbereitschaft sogar erhöht. In welcher Weise sich dies in den übrigen Gebieten der Basisarbeit, etwa im Dienstleistungssektor, in der Pflege oder in der Gastronomie darstellt, ist durch weitere Forschungen zu untersuchen.

Eine denkbare Erweiterung des entwickelten immersiven Anlernprozesses unter dem Aspekt der Individualisierung ist die Einbindung eines auf künstlicher Intelligenz (KI) basierenden Chatbots, der beispielsweise Fragen zu kontextuellen Themen beantwortet und somit die Funktion eines digitalen Instruktors einnimmt. Das AR HMD kann gesprochene Sprache verarbeiten. Richtet die/der Lernende verbal eine Frage an das HMD, wird daraufhin ein Chatbot aufgerufen, um eine Antwort gebeten und gibt nützliche Zusatzinformationen weiter. Es könnten sich z. B. Lernende während des Anlernprozesses fragen: „Welche Funktion hat ein Wälzlager oder was muss ich beim Einbau eines Wälzlagers berücksichtigen?“; „Muss ich Schutzhandschuhe beim Arbeiten mit Silikon tragen?“; „Was ist ein QR Code?“. Das HMD antwortet im Auftrag des Chatbots und gibt die Zustandsinformationen akustisch und/oder optisch aus.

Die Forschungsarbeiten im Bereich des immersiven Anlernens werden in Zukunft weiter intensiviert. Ziel ist insbesondere, den Erstellungs- und Gestaltungsaufwand von digitalen Lerninhalten für das AR HMD so zu reduzieren, dass die Zugänglichkeit für alle Basistätigkeiten erleichtert wird. Ferner ist die menschenbezogene Beanspruchung im Anlernprozess mit dem AR HMD aus ergonomischer Sicht vertieft zu untersuchen.

## **7. Literatur**

Abras C, Maloney-Krichmar D, Preece J (2004) User-centered design. Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications, 37(4), 445-456.

- Azuma T R (1997) A Survey of Augmented Reality. 6. Aufl. Hg. v. Teleoperators and Virtual Environments. Hughes Research Laboratories. Malibu (USA).
- Bovenschulte M, Peters R, Burmeister K (2021) Basisarbeit – Stützen der (Arbeits-) Gesellschaft. [https://www.denkfabrik-bmas.de/fileadmin/Downloads/Publikationen/Basisarbeit\\_Stuetzen\\_der\\_Arbeits\\_gesellschaft.pdf](https://www.denkfabrik-bmas.de/fileadmin/Downloads/Publikationen/Basisarbeit_Stuetzen_der_Arbeits_gesellschaft.pdf).
- Broßmann M, Mödinger W (2011) Praxisguide Wissensmanagement – Qualifizieren in Gegenwart und Zukunft. Planung, Umsetzung und Controlling im Unternehmen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S.64.
- Büttner S (2022) Projektionsbasierte Augmented-Reality-Assistenz in der Montage: Explorative Entwicklung und empirische Untersuchung von Anwendungsszenarien zur Entwicklung von Gestaltungsempfehlungen für zukünftige Systeme (Doctoral dissertation).
- Cooley S, Wen Q, Hanson B, Mathew J, Paniagua S (2022) Information zu HoloLens 2. Hg. v. Microsoft. <https://learn.microsoft.com/de-de/hololens/hololens2-hardware>.
- DIN 33400 (1983) Gestalten von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen – Begriffe und allgemeine Leitsätze. Normenausschuß Ergonomie (FNerg) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Funk J, Schmidt L (2020) Evaluation einer Augmented-Reality-Anleitung für eine komplexe Montageaufgabe. DELFI 2020–Die 18. Fachtagung Bildungstechnologien der Gesellschaft für Informatik e.V.
- Grimm P, Broll W, Herold R, Reiners D, Cruz-Neira C (2019) VR/AR-Ausgabegeräte. Virtual und Augmented Reality (VR/AR) Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität, 163-217.
- Hecht F (1950) TWI und Wirtschaft. In: Gewerkschaftliche Monatshefte 1950, 1950 (12/1950), S. 579–583.
- Hegenberg J, Schmidt L (2021) Augmented-Reality-basierte Assistenz für das Anlernen manueller und roboterunterstützter Montageprozesse.
- Microsoft Dynamics 365 Guides (2023), <https://dynamics.microsoft.com/de-de/mixed-reality/guides/>, abgerufen am 22.09.2023.
- Milgram P, Takemura H, Utsumi A, Kishino F (1995) Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In: Hari Das (Hg.): Telemanipulator and Telepresence Technologies. Photonics for Industrial Applications. Boston, MA, Monday 31 October 1994: SPIE (SPIE Proceedings), S. 282–292.
- Röhr K (2017) Operative Exzellenz in Retailbanken. Innovative und Industrieorientierte Konzepte für das Bankgeschäft. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Rosenberger M, Fellmann M, Lambusch F, Poppe M, Spitzer M (2020) Zur Messung des Einflusses von " Augmented Reality" auf die individuelle Produktivität bei Montagearbeiten. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 57, 451-464.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) Arbeitswissenschaft 4. Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schönheits M (2019) Augmented Reality Based Visul Force Feedback For Physical Human-Robot Interaction. Hg. v. ICRA 2019. German Aerospace Center. Montreal (Kanada).
- Wright TP (1936) Factors affecting the cost of airplanes. J Aeronaut Sci 1936; 3: 122-8.

**Danksagung:** Ein ganz besonderer Dank gilt der Firma Oldenburger Zahnradwerk und Maschinenbauanstalt Rust GmbH & Co. KG aus Wilhelmshaven, die diese Forschungsarbeit unterstützt hat.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Menschengerechte Arbeitsgestaltung – Basisarbeit und neue Arbeitsformen**

Herbstkonferenz der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Im Rahmen des 38. Internationalen A+A  
(Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) Kongresses 2023,  
Messe Düsseldorf

26. Oktober 2023

---

## **GfA-Press**

---

**Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. im Rahmen des A+A Kongresses am 26. Oktober 2023, Messe Düsseldorf unter Beteiligung von:**

**Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), Berlin**

**Bundesarbeitsgemeinschaft für Sicherheit und Gesundheit (Basi), Sankt Augustin**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2023

ISBN 978-3-936804-33-1

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Konferenzband

Als Manuskript zusammengestellt. Dieser Konferenzband ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

**Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

### **Geschäftsstelle der GfA**

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

[info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](mailto:info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de) · [www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](http://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de)

### **Screen design und Umsetzung**

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)