

# **Augmented Learning Systems Engineering**

## **Konzeption und Implementierung eines Augmented-Reality-basierten Systems zur Bereitstellung situationsbedingter Bildungsinhalte**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Wirtschaftswissenschaften  
des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften  
der Universität Osnabrück

vorgelegt von

Tobias Dreesbach  
M. Sc. Wirtschaftsingenieurwesen

Osnabrück, September 2023

Dekan: Prof. Dr. Frank Teuteberg

Referenten: Prof. Dr. Oliver Thomas  
Prof. Dr. Frank Teuteberg

Tag der Disputation: 22.09.2023

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis.....	4
<b>Teil A – Dachbeitrag.....</b>	<b>5</b>
1 Ausgangslage.....	6
2 Motivation und Zielsetzung.....	7
3 Einordnung .....	9
4 Methodik .....	11
4.1 Forschungsfragen und Erkenntnisinteresse .....	11
4.2 Methodenspektrum .....	12
4.3 Forschungsplan.....	13
5 Ergebnisse .....	15
5.1 Überblick.....	15
5.2 Zentrale Ergebnisse der Beiträge.....	17
5.3 Theoretische Implikationen.....	24
5.4 Praktische Implikationen.....	25
5.5 Limitationen.....	27
6 Zusammenfassung .....	28
7 Literatur .....	29
<b>Teil B – Einzelbeiträge .....</b>	<b>34</b>
Beitrag 1: Freight Fleet Glasses – Augmented-Reality-Einsatz zur Unterstützung eines automatisierten und vernetzten Flottenmanagements.....	35
Beitrag 2: AdEPT – Eine digitale Lern- und Lehr-Plattform in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung mit Augmented Reality .....	36
Beitrag 3: Linking Augmented Reality with Peer Tutoring in Vocational Learning Environments: A Multi-Agent-based Approach.....	37
Beitrag 4: VR-Splines – Entwicklung eines Virtual-Reality-Prototyps für den Mathematikunterricht.....	38
Beitrag 5: Impact and Limitations of AR-Based Guidance for Assembly Workers .....	39
Beitrag 6: Metaverse als Business Chance – Perspektiven aus der Wirtschaftsinformatik.....	40

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1.</b>	Forschungsplan der Dissertation .....	14
<b>Abb. 2.</b>	Einordnung der Forschungsziele und -aufträge der eingebrachten Beiträge.....	17
<b>Abb. 3.</b>	Einordnung der eingebrachten Beiträge in die Phasen des gestaltungsorientierten Erkenntnisprozesses .....	17
<b>Abb. 4.</b>	Mögliche Unterstützung durch AR-basierte Anwendungen im Reparatur- und Instandhaltungsmanagement eines automatisierten und vernetzten Flottenmanagements .....	18
<b>Abb. 5.</b>	Schematische Darstellung der Komponenten eines AR-basierten Systems zur Bereitstellung von Bildungsinhalten .....	19
<b>Abb. 6.</b>	Multi-Agenten-basierter Tutoren-Zuweisungsprozess in dem entwickelten Prototyp .....	20
<b>Abb. 7.</b>	Virtuelle Lernumgebung zur Vermittlung von Wissen über Splines im Mathematikunterricht.....	21
<b>Abb. 8.</b>	Ausschnitt einer AR-basierten Montageanleitung.....	22
<b>Abb. 9.</b>	Kollaboration von Lernenden in einer Multiuser-Umgebung.....	24

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1.</b>	Übersicht über die publizierten Beiträge.....	15
<b>Tab. 2.</b>	Factsheet Beitrag 1 .....	35
<b>Tab. 3.</b>	Factsheet Beitrag 2 .....	36
<b>Tab. 4.</b>	Factsheet Beitrag 3 .....	37
<b>Tab. 5.</b>	Factsheet Beitrag 4 .....	38
<b>Tab. 6.</b>	Factsheet Beitrag 5 .....	39
<b>Tab. 7.</b>	Factsheet Beitrag 6 .....	40

## **Teil A – Dachbeitrag**

## 1 Ausgangslage

Der demografische Wandel in der Gesellschaft führt für viele Unternehmen aktuell zu Problemen. Er bedeutet eine Verknappung des Arbeitskräfteangebots, woraus vermehrt die Einstellung gering qualifizierten Personals und der damit verbundene Abfluss von Prozesswissen resultiert (Wilke 2020). Erschwert wird die Lage am Arbeitsmarkt zusätzliche durch die digitale Transformation<sup>1</sup>, die hohe Kompetenzanforderungen an Beschäftigte stellt (Kreimeier et al. 2014). In der Gesellschaft und in Unternehmen wird das Hauptwort digitale Transformation aus unterschiedlichen Perspektiven diskutiert und durch Begriffe wie Künstliche Intelligenz oder Industrie 4.0 geprägt (Schallmo 2016). Durch die digitale Transformation werden in Unternehmen zukünftig wesentliche Veränderungen der Arbeitsweise von Beschäftigten erwartet, wie Beschäftigte arbeiten und welche Aufgaben sie übernehmen (Brougham, Haar 2018). Denn durch das Digitalisieren von Prozessen und die steigende Anzahl digitaler Daten wird zunehmend Prozesswissen und Wissen über die Funktionsweise von Maschinen und Anlagen gefordert (Prifti et al. 2017; Cooper 2018).

Unternehmen sowie Bildungseinrichtungen müssen frühzeitig auf diese Veränderungen reagieren und Beschäftigte dabei unterstützen, zukunftsweisende Technologiekompetenzen aufzubauen (Oswald, Krcmar 2018). Ein zusätzliches Training in Bezug auf digitale Prozesse wird zukünftig eine notwendige Voraussetzung, um die Kompetenzen der Beschäftigten an die digitale Transformation anzupassen (Veile et al. 2020) und die Beschäftigungsfähigkeit, Anpassungsfähigkeit und Qualitäten der Beschäftigten zu sichern (Veres et al. 2021). Entsprechend müssen sich Beschäftigte auf ein lebenslanges Lernen einstellen, da sich die Anforderungen an berufliche Fähigkeiten, je nach dem Digitalisierungsgrad ihres Unternehmens, dynamisch ändern können (Hoteit et al. 2020). Motivieren Unternehmen ihre Beschäftigten folglich zu einem selbstständigen Lernen und unterstützen sie bei der kontinuierlichen Verbesserung, steigern die Unternehmen nicht nur ihre operative Leistung, sondern auch ihre Anpassungsfähigkeit an die digitale Transformation (Ro et al. 2021; Tortorella et al. 2021). Weniger als die Hälfte der Beschäftigten fühlt sich jedoch durch Fortbildungsangebote auf die Anforderungen neuer digitaler Technik vorbereitet (Kirchner 2019). Auch Berufsschulen sind wegen ihrer Nähe zum Beschäftigungssystem von der digitalen Transformation unmittelbar betroffen (Kultusministerkonferenz 2017). Denn der Einsatz digitaler Medien im Unterricht unterstützt dabei, Lernende auf zukünftige berufliche Handlungsfelder und geforderte Kompetenzprofile vorzubereiten (Gerholz, Dormann 2017). Lehrkräfte und Auszubildende müssen daher die didaktischen Chancen digitaler Medien für den Lehr- und Lernprozess erkennen, die digitalen Medien beherrschen und zielgerichtet einsetzen (Kultusministerkonferenz 2017).

Ein Beispiel für eine digitale Unterstützung für Beschäftigte sind Augmented-Reality-gestützte Assistenzsysteme. Augmented Reality (AR), zu Deutsch „erweiterte Realität“, beschreibt die in Echtzeit stattfindende, visuelle Einblendung bzw. Überblendung von Objekten oder Inhalten in die reale Umgebung (Vogel et al. 2020). AR-Endgeräte erfahren

---

<sup>1</sup> In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „digitale Transformation“ im Kontext der Digitalisierung und Industrie 4.0 verstanden, vergleichbar mit den Ausführungen von Appelfeller und Feldmann (2018). Der Begriff „Industrie 4.0“ beschreibt in dem Zusammenhang unterschiedliche – hauptsächlich IT-getriebene – Änderungen von Fertigungssystemen, die sich alle auf die Entwicklung von intelligenten Produkten und Prozessen beziehen (Brettel et al. 2014; Lasi et al. 2014).

durch neue technologische Entwicklungen und eine wachsende Verfügbarkeit innerhalb der letzten Jahre vermehrt Aufmerksamkeit in Unternehmen. Durch die seit einigen Jahren auf dem Markt verfügbaren Endgeräte eröffnen sich in Unternehmen immer weitere Potenziale, um die dreidimensionale Visualisierungen für die Vermittlung von Wissen zu nutzen (Thomas et al. 2018). Durch die Visualisierung unterschiedlicher Sachverhalte können AR-Endgeräte Lerninhalte im Rahmen der technischen Aus- und Fortbildung<sup>2</sup> kontextbezogen vermitteln und Beschäftigte unterstützen, mit dem geforderten beruflichen Kompetenzniveau Schritt zu halten. Um der Herausforderung der zunehmenden Komplexität von Prozessen zu begegnen (Kreimeier et al. 2014), können beispielsweise Lernaufgaben, Zusatzinformationen für den aktuell ablaufenden Prozess oder sogar nicht sichtbare Abläufe im Maschineninnenleben visualisiert werden.

Vor allem im praxisorientierten Training von Prozessen und Anwendungen können AR-Endgeräte den Wissenstransfer unterstützen und Beschäftigte für komplexe Aufgaben qualifizieren (Adelmann 2020; Buehler, Kohne 2020). Der Vorteil gegenüber einer rein theoretischen Ausbildung ist, dass Bildungsinhalte vor Ort an physischen Arbeitsobjekten zur Verfügung gestellt werden (Adelmann 2020). AR-Endgeräte vermitteln domänenspezifisches Wissen und Erfahrungswerte dementsprechend interaktiv (Richter et al. 2017; Zhou et al. 2019) und haben dadurch einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg (Garzón et al. 2020). Im Vergleich zu Lerntools auf Handheld-Geräten, die Erläuterungstexte, Bilder und Videos zu Arbeitsschritten bereitstellen (Löhner et al. 2019), blenden AR-Brillen virtuelle Inhalte punktuell in das Sichtfeld der Nutzenden ein und verorten die virtuellen Darstellungen in der physischen Umgebung. In praxisnahen Lerneinheiten im Bereich der Industrie wurde AR in der Vergangenheit bisher jedoch vergleichsweise wenig erforscht (Mohammadhossein et al. 2022).

Durch den experimentellen und explorativen Charakter von AR-Anwendungen (Buehler, Kohne 2020), sind die visualisierten Bildungsinhalte insbesondere der konstruktivistischen Lerntheorie zuzuordnen, die Lernen als aktiven, selbstgesteuerten, und situativen Prozess beschreibt (Shuell 1986). Neben der reinen kognitiven Wissensvermittlung wird durch den Kontextbezug eine affektive Verbindung mit positiven Lernerfahrungen geschaffen. Das Wissen wird direkt in die Praxis umgesetzt, wodurch die Entstehung von tragem Wissen<sup>3</sup> vermieden wird und sich die Beschäftigten explizites Wissen bestmöglich aneignen (Buehler, Kohne 2020). Ein selbstbestimmtes Lerntempo bei der Ausführung der Lernaufgaben mit AR-Endgeräten ermöglicht außerdem einen Lernprozess für unterschiedliche Lerntypen (Adelmann 2020).

## 2 Motivation und Zielsetzung

Im Bereich der technischen Aus- und Fortbildung nimmt der Einsatz von AR-Endgeräten seit Jahren kontinuierlich zu (Garzón et al. 2019; Sorko, Brunnhofer 2019; Runde 2020; Sirakaya, Alsancak Sirakaya 2020). Die Entwicklung von AR-Anwendungen ist jedoch oft ein langwieriger und teurer Prozess. Eine geringe Verfügbarkeit von internem Entwicklungspersonal sowie externen IT-Unternehmen mit Fachwissen zu AR erschwert die Ent-

---

<sup>2</sup> Im Bereich der technischen Aus- und Fortbildung stellt die Forschungsarbeit durch ihren Schwerpunkt auf die digitale Transformation die Vermittlung von Prozesswissen zu technischen (Fertigungs-)Systemen in den Vordergrund der Betrachtung.

<sup>3</sup> Träges Wissen bezieht sich auf den Theorie-Praxis-Transfer, wenn Lerninhalte ohne einen erkennbaren Anwendungsbezug vermittelt werden, sodass eine Differenz zwischen Wissen und Handeln entsteht (Renkl 1994).

wicklung von Anwendungen für die unternehmensinterne Ausbildung (Hobert, Schumann 2017). Weiterhin gibt es für die Einführung von AR-Anwendungen Herausforderungen in den drei Bereichen Organisation, Ergonomie und Technik (Rejeb et al. 2021). Während organisatorische Herausforderungen unter anderem die begrenzte Erfahrung und Technologieakzeptanz von Beschäftigten sind, beziehen sich ergonomische Herausforderungen beispielsweise auf sichere Arbeitsbedingungen (Rejeb et al. 2021). Für die Integration von AR in die technische Aus- und Fortbildung sollten daher zu Gunsten eines geringen Anfangsinvestments Anwendungsfälle mit geringem Integrationsaufwand und großem Nutzen für das Unternehmen identifiziert werden (Heinbach et al. 2023). Immaterielle Vorteile, wie eine Verbesserung der Ausbildungsqualität in Unternehmen durch AR, müssen angesichts der zunehmenden Bedeutung der digitalen Transformation in den Entscheidungsprozess von Unternehmen einbezogen werden (Oesterreich, Teuteberg 2018).

Als ein Ansatz, um den organisatorischen, ergonomischen und technischen Herausforderungen sowie dem Mangel an Fachwissen entgegenzuwirken, wurden in Wissenschaft und Praxis bereits Authoring-Tools (deutsch: Autorenwerkzeuge) entwickelt, die es Prozessverantwortlichen im Bereich der technischen Aus- und Fortbildung ohne Programmierkenntnisse ermöglichen, domänenspezifische AR-Inhalte zu erstellen (Vogel, Thomas 2020; Berg et al. 2022). Die Generierung und didaktische Aufbereitung der AR-Inhalte erfolgen durch die Authoring-Tools anhand einer verständlichen und überwiegend graphischen Modellierung (Berg et al. 2022). Mit Authoring-Tools werden vorgefertigte AR-Inhalte, wie beispielsweise dreidimensionale Pfeile, Modelle, Bauteildaten, Texte oder Bilder, innerhalb eines vordefinierten Funktionsumfangs in ihrer Form, ihrem Design und den zu vermittelnden Inhalten angepasst (Dreesbach et al. 2021).

Zukünftig sollten AR-Lerninhalte außerdem an die Beschäftigten und an die individuellen Arbeitsaufgaben angepasst werden können und verstärkt Personalisierungsmechanismen enthalten (Marienko et al. 2020). An Arbeitsplätzen, an denen Prozesswissen und der Umgang mit Maschinen und Anlagen vermittelt werden soll, unterstützen Echtzeitinformationen das Verständnis für die Prozesse und Abläufe (Kollatsch et al. 2014; Chekryzhov et al. 2018; Kostolani et al. 2019; Zietsch et al. 2019). Eine Personalisierung der Inhalte sowie der Status von z.B. Produktionsprozessen werden in bestehenden Systemen bisher nicht ausreichend berücksichtigt (Bacca et al. 2019). Entsprechend werden AR-Bildungsinhalte nicht situationsbedingt an die Gegebenheiten am Arbeitsplatz angepasst (Veile et al. 2020). Diese Forschungsarbeit adressiert daher fehlendes Gestaltungswissen für AR-basierte Systeme zur Bereitstellung situationsbedingter Bildungsinhalte in der technischen Aus- und Fortbildung, um AR-Bildungsinhalte an die Gegebenheiten am Arbeitsplatz anzupassen. Zunächst werden Anwendungspotenziale identifiziert, um ein IT-Artefakt in der Anwendungsdomäne der technischen Aus- und Fortbildung zu konzeptionieren. In diesem Zusammenhang beinhaltet die Forschungsarbeit die Herleitung von IT-Artefakten. Die Artefakte repräsentieren bereits Gestaltungswissen oder können durch Evaluationen für die Herleitung und Bewertung von Gestaltungswissen genutzt werden. Eine prototypische Implementierung im Sinne des Gestaltungsansatzes ergänzt die Wissensbasis um die Evaluation und Verwendung eines IT-Artefakts im praktischen Einsatz.

In die Arbeit fließen unter anderem auch Erkenntnisse aus dem dreijährigen, BMBF-geförderten Forschungsprojekt *AdePT* ein. In dem Projekt wurde ein AR-basiertes System entwickelt, mit dem Auszubildende und Lehrkräfte bestehende Lerneinheiten in AR gestützte Prozesse überführen können. Das System enthält ein Authoring-Tool sowie eine Anwendung für eine AR-Brille, um den Lernenden die erstellten Lerneinheiten zur eigenständigen Bearbeitung bereitzustellen. Das System wurde anhand von vier Anwendungsfällen in zwei berufsbildenden Schulen und zwei Unternehmen entwickelt und getestet.



### 3 Einordnung

Die vorliegende Dissertation befindet sich in der Forschungsdisziplin der Wirtschaftsinformatik (WI). Die WI zeichnet sich durch den Bezug zu der Betriebswirtschaftslehre und der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) als fächerübergreifende Disziplin aus (Becker et al. 2004; Thomas 2006). Bedingt durch ihren zentralen Untersuchungsgegenstand von Informationssystemen in Wirtschaft und Gesellschaft (WKWI, GI FB WI 2011), enthält die WI Methoden und Werkzeuge, um soziotechnische Systeme<sup>4</sup> gestaltungsorientiert zu konstruieren (Österle et al. 2010). Um Erkenntnisse in Bezug auf die zentralen Untersuchungsgegenstände zu gewinnen, sind innerhalb der Wirtschaftsinformatik die zwei zentralen Forschungsparadigmen des gestaltungsorientierten Forschungsansatzes (Österle et al. 2010) und des behavioristischen Forschungsansatzes entstanden. Der gestaltungsorientierte Forschungsansatz bezieht sich auf die Gestaltung wirtschaftlicher Prozesse und Systeme unter Berücksichtigung der Anforderungen der Nutzenden und verwendet ingenieurwissenschaftliche Methoden und Modelle (Gregor, Jones 2007). Der Ansatz hat einen praxisrelevanten Fokus (Cole et al. 2005), weswegen die Validierung entwickelter Konzepte unter Einbezug prototypischer Artefakte erfolgt (Thomas 2006). Es geht bei der gestaltungsorientierten Forschung jedoch nicht um situierte Probleme, sondern darum, generalisierbare und übertragbare Erkenntnisse durch die Konstruktion und Evaluation von Lösungskomponenten in Form von verschiedenen Artefakten zu gewinnen (Gregor, Jones 2007). Der gestaltungsorientierte Forschungsansatz hat insbesondere die deutschsprachige Wirtschaftsinformatik geprägt und wird im internationalen Raum unter der Bezeichnung „Design Science Research“ adressiert (Hevner et al. 2004).

Im Gegensatz dazu untersucht der behavioristische Forschungsansatz Ursache-Zusammenhänge (Gericke, Robert 2009). Der behavioristische Ansatz greift dazu auf Methoden und Modelle der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften zurück und untersucht, wie sich das Verhalten und die Auswirkungen von Informationssystemen auf Organisationen und zwischenmenschliche Phänomene erklären und vorhersagen lassen (Becker, Pfeiffer 2006). Beide Forschungsansätze ergänzen sich im Sinne des forschungsmethodischen Pluralismus. Denn der gestaltungsorientierte Ansatz ermöglicht die Entwicklung von Problemlösungen für die durch den behavioristischen Ansatz untersuchten Phänomene. Umgekehrt sind auch gestaltungsorientierte Artefakte nachhaltiger, wenn sie auf behavioristischen Erkenntnissen basieren (March, Smith 1995; Becker, Pfeiffer 2006). Das von March und Smith (1995) entwickelte Forschungsframework beschreibt die Zusammenhänge zwischen den beiden Forschungsansätzen und unterscheidet dazu zwischen Forschungsergebnissen und Forschungsaktivitäten. Die Forschungsergebnisse lassen sich in die Artefakttypen Konstrukte, Modelle, Methoden und Instanzen einteilen (March, Smith 1995; Hevner et al. 2004) und können in unterschiedlichen Formen entstehen, wie beispielsweise in Grundsätzen, Leitfäden, Rahmenwerken, Normen, frei zugänglicher Software oder Geschäftsmodellen (Österle et al. 2010). Die vier in dem Framework aufgeführten Forschungsaktivitäten (March, Smith 1995) sind Build (dt.: Konstruktion), Evaluate (dt.: Evaluation), Theorize (dt.: Theoriebildung) und Justify (dt.: Begründung). Während die ersten beiden Aktivitäten Build und Evaluate dem gestaltungsorientierten Forschungsansatz zuzuordnen sind, gehören die Aktivitäten Theorize und Justify zum behavioristischen Forschungsansatz.

---

<sup>4</sup> Die Struktur von Informationssystemen charakterisiert sich durch das Zusammenwirken der drei Kategorien Mensch, Aufgabe und Technik, wodurch die soziotechnische Systemeigenschaft zum Ausdruck kommt (Österle et al. 2010; Heinrich et al. 2011).

Die zentralen Untersuchungsobjekte dieser Dissertation liegen in der Konzeption und Implementierung von AR-basierten Informationssystemen mit der fachlichen Eingrenzung auf die Domäne von Bildungsprozessen und unterliegen dadurch dem gestaltungsorientierten Forschungsansatz nach Österle et al. (2010) und Hevner et al. (2004). Die Forschungsbeiträge der Dissertation fallen dementsprechend ausschließlich in die ersten beiden Phasen nach March und Smith (1995), der Build-Phase zur Erstellung von Artefakten sowie der Evaluate-Phase für deren Evaluation. Mittels anerkannter Prinzipien bei der Erkenntnisgewinnung ergibt sich in der gestaltungsorientierten Forschung eine wissenschaftliche Rigorosität (Österle et al. 2010), wie auch in dieser Dissertation. Die Prinzipien besagen, dass das Vorgehen im Erkenntnisprozess abstraktionsfähig, nachvollziehbar, valide und nutzenstiftend sein, sowie einen innovativen Beitrag zur Wissensbasis aufweisen muss (Österle et al. 2011). Der Erkenntnisprozess bei der Gestaltung von Informationssystemen verläuft dazu in einem iterativen Prozess, bestehend aus den vier grundlegenden Phasen Analyse, Entwurf, Evaluation und Diffusion der Ergebnisse (Österle et al. 2010). Das Vorgehen dieser Forschungsarbeit lässt sich in diese vier Gestaltungsphasen einordnen. Durch die Implementierung einer prototypischen und problembasierten Lösung innerhalb der Forschungsarbeit, wird nach March und Smith (1995) insbesondere der Artefakt-Typ der Instanz adressiert. Informationssysteme fallen als problembezogene Umsetzung von Konstrukten, Modellen und/oder Methoden unter diesen Instanzenbegriff (March, Smith 1995; Vahidov 2006).

Aus erkenntnistheoretischer Sicht (Iivari 2007) wird in der Forschungsarbeit durch das instanziierte IT-Artefakt mit dessen Funktionalitäten und den im Gestaltungsprozess erhobenen Gestaltungsprinzipien primär präskriptives Wissen erzeugt. Das präskriptive Wissen beinhaltet Handlungsanweisungen und Empfehlungen zur Gestaltung und Implementierung verwandter IT-Artefakte. Um die in der Forschungsarbeit erzielten Handlungsanweisungen und Gestaltungsentscheidungen zu bestätigen, empfehlen Sonnenberg und vom Brocke (2012) die wiederkehrende Abfolge der Implementierung und Evaluation des Artefakts („Build-Evaluate Pattern“). Anhand der durchgeführten Evaluationen wird dann deskriptives Wissen durch Theorien, Hypothesen und Fakten aus den Observationen erzeugt (Iivari 2007). Um der Anwendungsorientierung des entwickelten Artefakts bei der Bereitstellung von Bildungsinhalten gerecht zu werden, werden für die Umsetzung der Untersuchungen analog zu Thomas (2006) der partizipative Ansatz, welcher potenzielle Nutzende eines Forschungsartefakts berücksichtigt und einbindet, sowie der prototypische Ansatz, welcher eine prototypische Implementierung der zu erstellenden Artefakte und Systeme vorsieht, herangezogen. Durch die Partizipation von Lernenden in deren gewohnten Bildungsumgebungen, können Verbesserungen am Artefakt frühzeitig identifiziert und umgesetzt werden. Konzeptuelle Überlegungen werden entsprechend mittels der konkreten AR-Anwendung im Bereich der beruflichen Aus- und Fortbildung durch Evaluationen überprüft, die eine prototypische Implementierung erfordern. Der Forschungsgegenstand umfasst somit auch Schnittstellen mit der Berufsbildungsforschung im Kontext des dualen Systems der Berufsausbildung<sup>5</sup>. Um die Auswirkungen auf die Umwelt und auf die Nutzenden des Artefakts bei der Konzeption und Implementierung zu berücksichtigen (Sonnenberg, vom Brocke 2012), werden für die Kriterien des Lernerfolgs und der Angemessenheit herangezogen.

---

<sup>5</sup> Das duale Ausbildungssystem in Deutschland zeichnet sich durch eine Dualität der Lernorte aus, bei der die Ausbildung teils an beruflichen Schulen und teils in Betrieben stattfindet (Gerholz 2022).

## 4 Methodik

### 4.1 Forschungsfragen und Erkenntnisinteresse

Bei der Formulierung von Forschungsfragen zur Erweiterung des bisherigen Forschungsstands wird zwischen drei Arten des Erkenntnisinteresses unterschieden (Eberhard 1999):

- Das *phänomenale Erkenntnisinteresse* befasst sich mit den Wesenseigenschaften und Merkmalsausprägungen faktischer Gegebenheiten und beantwortet folglich die Frage „Was ist los?“ bzw. „Was geschieht?“.
- Das *kausale Erkenntnisinteresse* bezieht sich auf die Wirkungsbeziehungen und Ursachen eines Phänomens mit der Frage „Warum geschieht es?“.
- Das *aktionale Erkenntnisinteresse* widmet sich der Untersuchung von Handlungsmöglichkeiten, um identifizierte Phänomene aktiv zu beeinflussen. Damit beantwortet es die Frage „Was ist zu tun?“.

Bedingt durch die Komplexität des Forschungsumfelds und der Varianz von Einflussfaktoren bei der Implementierung von Informationssystemen als soziotechnische Systeme, können phänomenale und kausale Fragestellungen häufig nicht vollständig bearbeitet werden (Thomas 2006). Durch den gestaltungsorientierten Fokus dieser Forschungsarbeit, AR-basierte Systeme zur Bereitstellung von Bildungsinhalten zu untersuchen, wird in der vorliegenden Dissertation vorrangig das aktionale Erkenntnisinteresse verfolgt. Der in der Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung beschriebene Forschungsprozess basiert auf der zentralen Leitfrage:

*FF: Wie können Augmented-Reality-basierte Systeme gestaltet werden, um Bildungsinhalte situationsbedingt bereitzustellen?*

Zur Strukturierung der Leitfrage werden drei Teilforschungsfragen (FF1 bis FF3) aufgestellt. Für die Erarbeitung der Teilergebnisse, dessen Zusammenführung abschließend das übergeordnete Erkenntnisinteresse sicherstellt (Eberhard 1999), wird zusätzlich zum aktionalen auch das phänomenale Erkenntnisinteresse herangezogen. In Bezug auf die Bedarfe und Anforderungen an das zu entwickelnde AR-basierte System sind die Eigenschaften und Ausprägungen der Domäne relevant.

*FF1: Welche Anforderungen müssen Augmented-Reality-basierte Systeme zur Bereitstellung von Bildungsinhalten erfüllen?*

FF1 dient somit dazu, die vorherrschenden Rahmenbedingungen in der Bildungsdomäne in Verbindung mit AR-basierten Systemen zu identifizieren. Aus den phänomenalen Erkenntnisgewinnen innerhalb der Domäne werden Gestaltungsansätze im Sinne des aktionalen Erkenntnisinteresses entwickelt. In Folge der Integration eines AR-basierten IT-Artefakts in die Bildungsdomäne richtet sich der Fokus der zweiten Forschungsfrage darauf bewährte didaktische Methoden zu identifizieren und nutzenstiftend in das zu entwickelnde AR-basierte System zu überführen.

*FF2: Wie können didaktische Methoden in digital-geprägte Bildungsumgebungen überführt werden?*

Die dritte Forschungsfrage widmet sich abschließend den Anforderungen des Forschungsgegenstands hinsichtlich der situationsbedingten Bereitstellung von Bildungsin-

halten und deckt entlang des aktionalen Erkenntnisinteresses Handlungsmöglichkeiten auf. Dabei richtet sich der Fokus vor allem auf eine praxisnahe Betrachtung von Anwendungsfällen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Einsatzzwecke in der beruflichen Aus- und Fortbildung.

*FF3: Wie kann eine situationsbedingte Bereitstellung von Bildungsinhalten für AR-basierte Systeme gestaltet werden?*

Im folgenden Abschnitt wird das Methodenspektrum vorgestellt, auf das für die Beantwortung der drei aufgestellten Forschungsfragen zurückgegriffen wurde.

## 4.2 Methodenspektrum

Um die aufgezeigten Forschungsfragen zu beantworten, wurden in dieser Dissertation sowohl quantitative als auch qualitative Methoden gewählt. Quantitative Forschungsmethoden sind von Vorteil, wenn unterschiedliche Perspektiven wie z.B. soziale, wirtschaftliche und politische Facetten untersucht werden (Recker 2013). Qualitative Methoden unterstützen hingegen die Exploration von komplexen Phänomenen (Myers, Avison 2002). Vereinzelt wurden in der Dissertation beide Methoden im Sinne des Mixed-Method Paradigmas<sup>6</sup> für ein möglichst breites und tiefes Verständnis kombiniert (Recker 2013; Venkatesh et al. 2013). Die in der Wirtschaftsinformatik zur Erkenntnisgewinnung eingesetzten Forschungsmethoden lassen sich durch ihren Formalisierungsgrad unterscheiden (Wilde, Hess 2006; Recker 2013) und werden nachfolgend charakterisiert. Eine ausführliche Begründung zur Auswahl, Kombination und Durchführung der Forschungsmethoden ist in den einzelnen Forschungsbeiträgen enthalten.

- *Argumentativ-deduktive Analyse:* Die argumentativ-deduktive Analyse ist eine gestaltungsorientierte Forschungsmethode und findet ihren Ursprung und ihre Verwendung in der Wirtschaftsinformatik (Wilde, Hess 2007). Anhand eines qualitativen Vorgehens folgt sie dem Grundverständnis der logischen Ableitung von Problemlösungen durch sprachliche oder formale Argumentation (Wilde, Hess 2006). Basierend auf vorhandenem Wissen wurde die argumentativ-deduktive Analyse beispielsweise für die Herleitung und Implementierung von Designmerkmalen eines Multi-Agenten-basierten Peer-Tutoring-Ansatzes in beruflichen Bildungsprozessen verwendet.
- *Literaturrecherche:* Um relevante Literatur zu einem Forschungsvorhaben zu erfassen und zu analysieren, bietet die systematische Literaturrecherche ein strukturiertes Vorgehen (Fettke 2006). Literaturrecherchen dienen bei unterschiedlichen Beiträgen dieser Forschungsarbeit sowohl zur Untersuchung der existierenden Wissensbasis als auch dazu, Forschungslücken entsprechend dem Vorgehen nach (Webster, Watson 2002) aufzudecken und Anforderungen an IT-Artefakte abzuleiten.
- *Modellierung:* Prozessmodellierungssprachen zur Dokumentation von Prozessen ermöglichen eine nachvollziehbare grafische Beschreibung. Sie enthalten eine formale Syntax sowie eine leicht erfassbare Symbolik. Innerhalb einer Domäne können Adaptationen in die Modellierungssprachen eingebettet werden (Vogel, Thomas 2019). Die Prozesse selbst werden zunächst durch Beobachtungen (engl.: Shadowing) erfasst. Dadurch werden Erkenntnisse über die Abläufe ersichtlich ohne in die Tätigkeiten ein-

---

<sup>6</sup> Das Mixed-Method-Paradigma ist neben quantitativer und qualitativer Forschung eines der drei großen Forschungsparadigmen und kombiniert verschiedene qualitative und quantitative Forschungsmethoden zur Verbesserung der Ergebnisqualität (Johnson et al. 2007).

zugreifen (McDonald 2005). Durch Untersuchen der Erhobenen Ist-Prozesse können anschließend indirekt Anforderungen erhoben werden, um diese in verbesserte Soll-Prozesse zu überführen. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden vier Unterrichtseinheiten in der betrieblichen Aus- und Fortbildung dokumentiert, indem die zugrunde liegenden Lehrprozesse beobachtet und modelliert wurden.

- *Fokusgruppen*: Fokusgruppen sind eine Forschungsmethode, bei der Daten durch eine moderierte Gruppeninteraktion zu einem festgelegten Thema gesammelt werden (Morgan 1996). Durch Fokusgruppen lassen sich Forschungsvorhaben und deren Zwischenergebnisse validieren (Sonnenberg, vom Brocke 2012). Eine kleine Gruppengröße lässt dabei ein hohes Maß an Beteiligung zu, während eine große Gruppe ein breiteres Spektrum an Antworten ermöglicht (Morgan 1996). Innerhalb dieser Forschungsarbeit werden Fokusgruppen beispielweise zur Validierung eines AR-basierten Konzepts für Einblendungen in datenbasierten Arbeitsprozessen in der Logistikbranche genutzt.
- *Prototyping*: Prototypen stellen eine implementierte Instanziierung von Konzepten und Systemen dar. Sie weisen zwar noch nicht alle Eigenschaften des Zielsystems auf, können jedoch bereits genutzt werden, um ausgewählte Systemeigenschaften zu erproben (Thomas 2006). Die Ergebnisse der Evaluation fließen in die weitere Entwicklung ein (Becker et al. 2004). Evaluationskriterien von prototypisch implementierten Instanzen sind gemäß Sonnenberg and vom Brocke (2012) die Machbarkeit, Angemessenheit, Effizienz und Effektivität des Artefakts sowie die Auswirkungen auf die Umwelt und auf die Nutzer des Artefakts.
- *Demonstration*: Die Demonstration ist eine der Phasen des Design-Science-Research und dient dazu aufzuzeigen, dass ein instanziiertes Artefakt zur Problemlösung beiträgt (Peffer et al. 2007). Im Kontext des betrachteten Einsatzszenarios lassen sich durch Demonstrationen die Anwendbarkeit, Verständlichkeit, Vollständigkeit und Konsistenz von Artefakten herleiten (Sonnenberg, vom Brocke 2012).
- *Fallstudien*: Im Gegensatz zu Experimenten unter Laborbedingungen, zielen Fallstudien (engl. Case Study Research) darauf ab, Sachverhalte innerhalb ihres realweltlichen Kontextes zu untersuchen (Wilde, Hess 2007; Recker 2013). Fallstudien sind der qualitativen Forschung zuzuordnen und wurden im Rahmen dieser Forschungsarbeit zur Identifizierung und Evaluation von Lehrprozessen eingesetzt.

### 4.3 Forschungsplan

Die in Abschnitt 4.1 aufgezeigten Forschungsfragen ergeben sich aus der Leitfrage der Dissertation und werden anhand des Forschungsplans, dargestellt in Abb. 1, in Teilfragen untergliedert. Die aufgestellten Teilfragen dienen der Strukturierung der Dissertation und helfen dabei, die verschiedenen Dimensionen der Leitfrage zu präzisieren (Schöneck, Voß 2013). Das in Abschnitt 4.2 dargestellte Methodenspektrum beschreibt hingegen das gewählte Instrumentarium in den Forschungsbeiträgen zur Beantwortung der Forschungsfragen und wird zur Strukturierung der Dissertation ebenfalls im Forschungsplan eingeordnet. Der Forschungsplan legt somit dar, wie die Forschungsfragen miteinander verknüpft sind und wie die Teilergebnisse sukzessive dazu beitragen, die Leitfrage zu beantworten.



**Abb. 1.** Forschungsplan der Dissertation

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Überblick

Die Forschungsarbeit, in die sich die vorliegende kumulative Dissertation einfügt, enthält die elf in Tab. 1 aufgeführten Einzelbeiträge. Die Beiträge wurden auf internationalen Konferenzen sowie in angesehenen und renommierten Fachzeitschriften veröffentlicht. Die sechs ausgewählten wissenschaftlichen Beiträge (B1-B6) werden in das Promotionsverfahren eingebracht und zeigen die wesentlichen Erkenntnisse und Forschungsleistungen. Alle weiteren Beiträge (B7-B11), von denen sich zwei im Veröffentlichungsprozess befinden (B10-B11), können der Beantwortung der aufgestellten Forschungsfragen unterstützend zugeordnet werden.

**Tab. 1.** Übersicht über die publizierten Beiträge

#	Publikationsorgan	Medium	Ranking <sup>7</sup>		Bibliographische Informationen	FF
			WK WI	VHB JQ3		
B1	HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik	Journal	B	D	Heinbach, C.; <b>Dreesbach, T.</b> ; Thomas, O. (2023): <i>Freight Fleet Glasses – Augmented Reality Einsatz zur Unterstützung eines automatisierten und vernetzten Flottenmanagements</i> . In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. Nr. 60, S. 89-109.	1
B2	Handbuch E-Learning	Buchband	-	-	<b>Dreesbach, T.</b> ; Vogel, J.; Berg, M.; Gösling, H.; Walter, T.; Thomas, O.; Knopf, J. (2020): <i>AdEPT - Eine digitale Lern- und Lehr-Plattform in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung mit Augmented Reality</i> . In: Wilbers, K. (Hrsg.) Handbuch e-Learning. Wolters Kluwer, Köln, Nr. 86. Erg.-Lfg. August 2020, Abschnitt 5.36, S. 1-14.	1
B3	European Conference on Information Systems (ECIS 2021)	Tagung	A	B	Gösling, H.; <b>Dreesbach, T.</b> ; Vogel, J.; Kochon, E. (2021): <i>Linking Augmented Reality with Peer Tutoring in Vocational Learning Environments: A Multi-Agent-based Approach</i> . In: Proceedings of the 29th European Conference on Information Systems (ECIS 2021), Marrakech, Morocco, AISel. <i>Research-in-Progress-Papers</i> .	1, 2
B4	17. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2022)	Tagung	A	C	Krutikov, S.; Kochon, E.; <b>Dreesbach, T.</b> ; Jungfleisch, A.; Thomas, O.; Knopf, J. (2022): <i>VR-Splines – Entwicklung eines Virtual-Reality-Prototyps für den Mathematikunterricht</i> . Wirtschaftsinformatik 2022 Proceedings, Nürnberg, Germany, 36. ( <b>Best Prototype Award</b> )	2
B5	IEEE Computer	Journal	B	C	<b>Dreesbach, T.</b> ; Dethloff, A.; Beinke, J. H.; van Dülmen, F.; Thomas, O.: <i>Impact and Limitations of AR-Based Guidance for Assembly Workers</i> . In: IEEE Computer. (zur Veröffentlichung angenommen)	3
B6	Wirtschaftsinformatik & Management	Nicht-referenziertes Journal	-	-	<b>Dreesbach, T.</b> ; Krutikov, S.; Vogel, J.; Thomas, O. (2023): <i>Metaverse als Business Chance – Perspektiven aus der Wirtschaftsinformatik</i> . In: Wirtschaftsinformatik & Management, 2023. (in Veröffentlichung)	3
B7	16. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2021)	Tagung	A	C	<b>Dreesbach, T.</b> ; Berg, M.; Gösling, H.; Walter, T.; Thomas, O.; Knopf, J. (2022): <i>A Methodology to enhance Learning Processes with Augmented Reality Glasses</i> . Wirtschaftsinformatik 2021 Proceedings, Nürnberg, Germany, 15. <i>Research-in-Progress-Papers</i> .	1
B8	HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik	Journal	B	D	Gösling, H.; <b>Dreesbach, T.</b> ; Schulte to Brinke, J.; Thomas, O. (2021): <i>Smart Cooperative Distance Learning: Ein multiagentenbasierter Ansatz zur Unterstützung des kooperativen Lernens im Distanzunterricht</i> . In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. Nr. 58, S. 870-883.	2
B9	20. Fachtagung Bildungstechnologien (LNI 322)	Tagung	-	C	Berg, M.; <b>Dreesbach, T.</b> ; Bonaventura, K.; Knopf, J.; Thomas, O. (2022): <i>Modellierung von Lernprozessen für Augmented-Reality-Brillen in der technischen Aus- und Weiterbildung</i> . In: Fachtagung Bildungstechnologien. Bonn, Germany, S. 235-236. <i>Posterbeiträge</i> .	1

<sup>7</sup> Die Rankings der jeweiligen Beiträge wurden auf Basis der WI-Orientierungsliste der WKWI (WI-Journalliste 2008, Stand 2008-03-03, v39; WI-Liste der Konferenzen, Proceedings und Lecture Notes 2008, Stand 2008-03-03, v27) und des VHB-Jourqual 3 – Teilrating WI ermittelt.

#	Publikationsorgan	Medium	Ranking <sup>7</sup>		Bibliographische Informationen	FF
			WK WI	VHB JQ3		
B10	18. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2023)	Tagung	A	C	<b>Dreesbach, T.</b> ; Schulte to Brinke, J.; Gösling, H.; Berg, M.; Kasselmann, M.; Thomas, O.; Knopf, J. (2023): AR-based Learning in Vocational Training – Evaluation of Learning Outcomes comparing Augmented Reality and Teacher-instructed Learning Units. Wirtschaftsinformatik 2023 Proceedings, Paderborn, Germany. (in Begutachtung)	1
B11	18. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2023)	Tagung	A	C	Al Mehdawi, M.; <b>Dreesbach, T.</b> ; Gösling, H.; Brinkmann, M.; Thomas, O. (2023): Interaction of Augmented Reality Glasses and Machine Learning in Vocational Training – Development of a prototype to enrich handwritten Circuit Diagrams. Wirtschaftsinformatik 2023 Proceedings, Paderborn, Germany. (in Begutachtung)	3

Das Festlegen von Forschungszielen gehört gemäß (Becker et al. 2004) zu den Vorarbeiten einer Forschung. Die Zielsetzung in Bezug auf die Entwicklung von Informationssystemen lässt sich dabei in das Erkenntnis- und das Gestaltungsziel untergliedern (Becker et al. 2004). Während Erkenntnisziele sich auf gegebene Sachverhalte und fundierte Prognosen über deren Veränderungen beziehen (gemäß des phänomenalen Erkenntnisinteresses), betreffen Gestaltungsziele die Schaffung neuer Sachverhalte (gemäß des aktionalen Erkenntnisinteresses). Auch die Forschungsziele dieser Dissertation lassen sich in das Erkenntnis- und Gestaltungsziel untergliedern, wie im Folgenden beschrieben. Weiterhin erfolgt in dieser Dissertation auch die von Becker et al. (2004) vorgeschlagene inhaltliche Differenzierung der zu betrachtenden Sachverhalte in den methodischen und den inhaltlich-funktionalen Auftrag, um die Inhalte aus den Beiträgen zu gruppieren. Während der methodische Auftrag das Verständnis und die Entwicklung von Methoden und Techniken zur Gestaltung von Informationssystemen erfüllt, bezieht sich der inhaltlich-funktionale Auftrag auf das Verständnis und die Entwicklung von Informationssystemen für konkrete Anwendungsfälle (Becker et al. 2004).

Die vorgestellten Beiträge wurden primär im Rahmen des Forschungsprojekts *AdEPT* erarbeitet. Die sechs für das Promotionsvorhaben eingebrachten Beiträge umfassen die Konzeptionierung und Implementierung von AR-basierten Systemen unter Berücksichtigung der Integration geeigneter didaktischer Methoden (B3, B4), wie der konstruktivistischen Lerntheorie<sup>8</sup>. Dabei wird ein Bezug zu den Unternehmensbereichen Logistik (B1) und Produktion (B5) hergestellt. Abb. 2 stellt die Einordnung der eingebrachten Beiträge dar. Das primäre Erkenntnisinteresse eines Beitrages ist in Abb. 2 dunkelgrün dargestellt. Sofern ein sekundäres Erkenntnisinteresse in den Beiträgen vorhanden ist, ist dieses schattiert dargestellt. Insbesondere wird in den Beiträgen der Artefakt-Typ der Instanz (March, Smith 1995) adressiert, wodurch der gestaltungsorientierte Ansatz der Forschungsarbeit unterstrichen wird.

<sup>8</sup> Die konstruktivistische Lerntheorie beschreibt Lernen als einen aktiven, selbstgesteuerten, situativen und sozialen Prozess (Shuell 1986), der durch digitale Medien gefördert werden kann. Bei der Integration von digitalen Medien in die Lehre muss der didaktische Mehrwert und damit der Nutzen der Medien jedoch deutlich werden (Romrell et al. 2014). In virtuellen Welten ist besonders die Förderung der sozialen Interaktion zwischen Lernenden zu berücksichtigen (Roussos et al. 1999).



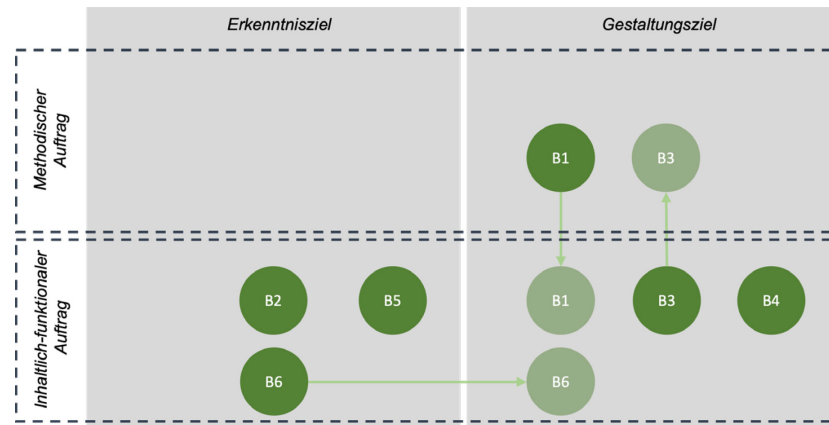


Abb. 2. Einordnung der Forschungsziele und -aufträge der eingebrachten Beiträge gemäß Becker et al. (2004)

Durch die Konzeption und Implementierung einer prototypischen und problembasierten Lösung zur Bereitstellung situationsbedingter Bildungsinhalte, lässt sich der Erkenntnisprozess in die vier Gestaltungsphasen nach Österle et al. (2010) einordnen: Analyse, Entwurf, Evaluation und Diffusion der Ergebnisse. Wie in Abb. 3 dargestellt, können die einzelnen Beiträge mehrere Phasen im Erkenntnisprozess umfassen. Zu beachten ist, dass die Gesamtheit der eingebrachten Beiträge alle vier Phasen des gestaltungsorientierten Erkenntnisprozesses abdecken. Der vierten Diffusionsphase wird diese Forschungsarbeit unter anderem durch die wissenschaftliche Publikation aller Beiträge gerecht.

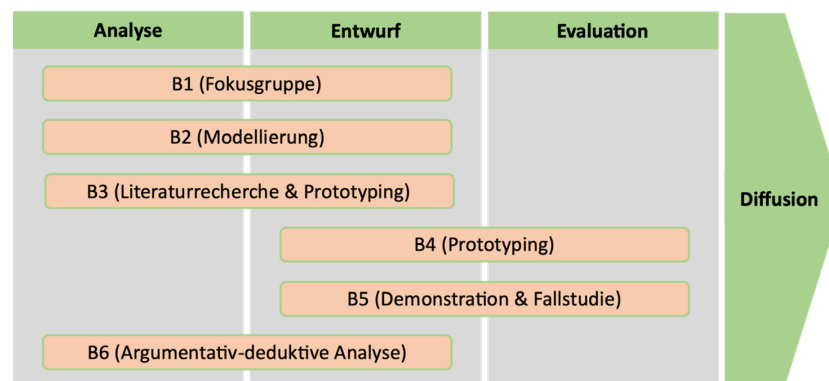


Abb. 3. Einordnung der eingebrachten Beiträge in die Phasen des gestaltungsorientierten Erkenntnisprozesses gemäß Österle et al. (2010)

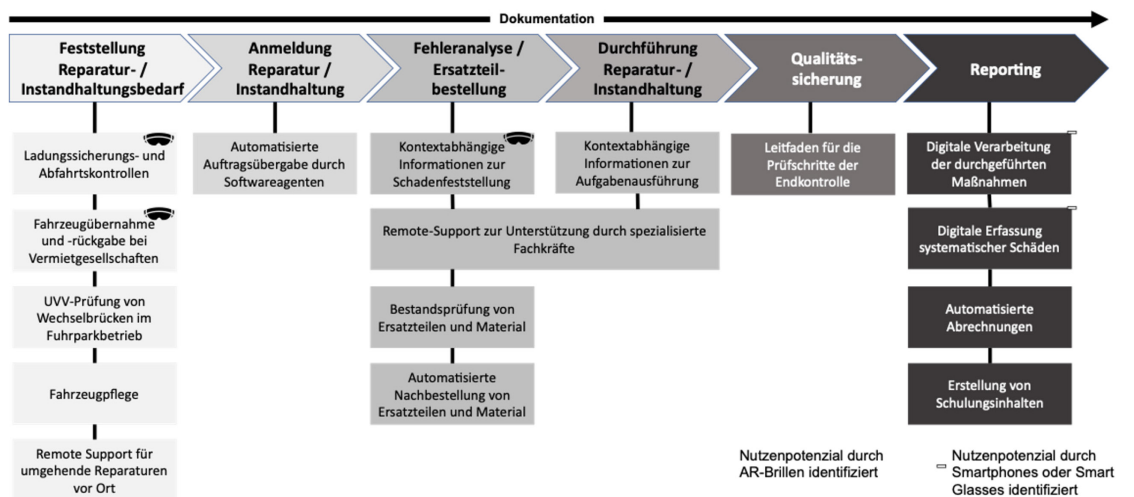
## 5.2 Zentrale Ergebnisse der Beiträge

### 5.2.1 Identifizierung von Potenzialen für den Einsatz von AR in datengetriebenen Arbeitsaufgaben innerhalb eines dynamischen Betriebsumfelds

Arbeitsprozesse in Unternehmen fordern durch die Digitalisierung und eine steigende Komplexität immer wieder neue Kompetenzen von Beschäftigten. Durch die visuelle Informationsbereitstellung von AR-Brillen direkt im Sichtfeld der Nutzenden, können AR-Brillen bei der Ausführung komplexer und wissensintensiver Prozesse unterstützen. Die Anforderungen an AR-basierte Anwendungen und Systeme zur Unterstützung von Mitarbeitenden in Unternehmen sind jedoch umfangreich und können zwischen den unterschiedlichen Domänen variieren. Am Beispiel des gewerblichen Güterkraftverkehrs zeigt

Beitrag 1 durch das Aufstellen des Konzepts Freight Fleet Glasses mögliche Anwendungsfälle für AR-basierte Anwendungen in den Prozessphasen der Wertschöpfungskette im Reparatur- und Instandhaltungsmanagement eines automatisierten und vernetzten Flottenmanagements auf. Das Konzept soll eine Synchronisierung von Güter- und Informationsflüssen und neue nutzenstiftende digitale Leistungsangebote hervorbringen. Die konkrete Identifikation der Potenziale erfolgte auf Grundlage einer Fokusgruppe mit 10 Experten aus den einschlägigen Fachgebieten, die ausreichend Erfahrungen mit AR-Anwendungen haben sowie Kenntnisse im Umgang mit technologischen Mobilitätslösungen, wie beispielsweise Telematik.

Als Ergebnis wurden 16 Anwendungsfälle problembasiert ermittelt und definiert (vgl. Abb. 4), für die der Nutzen sowie die bestehenden Herausforderungen diskutiert wurden. Bei der Integration der Anwendungsfälle sind organisatorische, technische und ergonomische Herausforderungen zu berücksichtigen. Ausschlaggebend für das Nutzenpotenzial von AR-Brillen im Vergleich zu Smartphone-basierten Anwendungen waren sowohl die freihändige Informationsbereitstellung im Sichtfeld als auch die immersive Anreicherung der realen Arbeitsumgebung mit dreidimensionalen, virtuellen Elementen.



**Abb. 4.** Mögliche Unterstützung durch AR-basierte Anwendungen im Reparatur- und Instandhaltungsmanagement eines automatisierten und vernetzten Flottenmanagements (Heinbach et al. 2023)

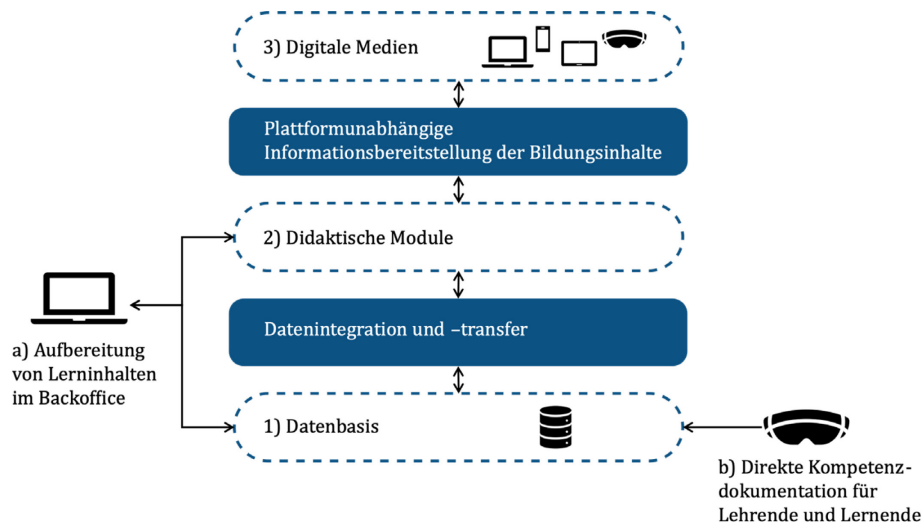
Anhand eines ausführlichen Beispiels wurde im Rahmen eines Zusatzmaterials des Beitrags der Anwendungsfall der Ladungssicherungs- und Lkw-Abfahrtskontrolle vorgestellt. Die AR-Brille hebt die zu prüfenden Fahrzeugkomponenten hervor und unterstützt dabei, die Prüfpunkte abzuarbeiten und zu bestätigen. Für unerfahrenes Personal wird der Prüfprozess gesondert erklärt. Ebenso werden Lösungswege für erkannte Defekte, wie Anleitungen und ein Remote-Support, bereitgestellt.

## 5.2.2 Anforderungserhebung für ein AR-basiertes System zur Bereitstellung von Bildungsinhalten

Gegenstand des zweiten Beitrags war, dass zukunftsfähige und nachhaltige Bildungskonzepte benötigt werden, um den Umgang mit neuen Technologien in der Aus- und Fortbildung zu stärken. Denn der adäquate Aufbau von Berufskompetenzen bei Auszubildenden umfasst insbesondere die Entwicklung von Systemwissen und Prozessdenken. Die betriebliche Aus- und Fortbildung muss die von Unternehmen geforderten Handlungskom-

petenzen vermitteln und Maßnahmen treffen, damit Wissen sowohl erworben als auch weitergegeben werden kann. In Beitrag 1 werden in diesem Zusammenhang vier relevante Prozesse an zwei berufsbildenden Schulen und in zwei betrieblichen Ausbildungswerkstätten identifiziert und die zu Grunde liegenden Unterrichtseinheiten mittels der Prozessmodellierungssprache Business Process Model and Notation (BPMN) modelliert. Mittels der modellierten Prozesse werden schließlich deduktiv Gestaltungsanforderungen an ein AR-basiertes System zur Bereitstellung von Bildungsinhalten abgeleitet. Die Gestaltungsanforderungen, die sich aus dem Beitrag ergeben, sind: eine einfache Dokumentationsmöglichkeit bestehender Lehreinheiten für Lehrkräfte ohne Implementierungskennnisse, eine Plattformarchitektur, sodass Lehrende fortlaufend neue AR-basierte Lernmodule erstellen und Auszubildenden zur Verfügung stellen können, eine Aufbereitungskomponente, um die dokumentierten Prozesse um didaktische Methoden zu erweitern, sowie eine Prozessführung auf den AR-basierten Endgeräten zur eigenständigen Ausführung der aufbereiteten Prozesse.

Die Komponenten eines derartigen Systems umfassen daher sowohl Komponenten zur Dokumentation und Aufbereitung von Lerneinheiten für Lehrende als auch eine Komponente zur Bereitstellung der AR-basierten Bildungsinhalte für Lernende (vgl. Abb. 5).



**Abb. 5.** Schematische Darstellung der Komponenten eines AR-basierten Systems zur Bereitstellung von Bildungsinhalten (Dreesbach et al. 2020)

### 5.2.3 Entwicklung und Demonstration einer kollaborativen Lernmöglichkeit für die Nutzung von AR-Brillen in beruflichen Bildungsumgebungen

Das gemeinsame Arbeiten ist ein grundlegender Bestandteil der Aus- und Fortbildung, um Zusammenarbeit, Teamfähigkeit und soziale Interaktion zwischen Lernenden zu fördern. Die Verwendung von AR-Brillen kann jedoch dazu führen, dass Lernende während des Lernprozesses isoliert werden und der didaktische Mehrwert der Zusammenarbeit zwischen den Lernenden im Vergleich zu einem Training ohne AR-Brillen weniger ausgeprägt ausfällt. Um der potenziellen Isolierung bei der Verwendung von AR-Brillen in der beruflichen Aus- und Fortbildung entgegenzuwirken, wurde in Beitrag 3 eine Form des kollaborativen Lernens für AR-Brillen untersucht. Durch die Anwendung des Design-Science-Forschungsansatzes nach Peffers et al. (2007) werden Gestaltungsmerkmale für einen Multi-Agenten-basierten Ansatz zur Bildung von Tutor-Tutoren-Paaren abgeleitet und ein

Prototyp implementiert. Peer-Tutoring ist ein kooperativer Lernansatz mit zwei Personen unterschiedlichen Lernniveaus. Eine Tutorin auf einem höheren Lernniveau erklärt einem Tutee auf einem niedrigeren Lernniveau den Lerninhalt. Dadurch verbessern beide ihr Lernniveau und fördern ihre sozialen Fähigkeiten.

Auf der Grundlage einer systematischen Literaturrecherche über IT-Artefakte zur Umsetzung von computer-gestütztem Peer-Tutoring sowie vier erhobenen Prozessen an zwei Berufsschulen, in einer Produktionsumgebung und in einer Ausbildungswerkstatt, wurden 15 Gestaltungsmerkmale identifiziert. Die Gestaltungsmerkmale stellen präskriptives Wissen dar und beschreiben ein Multi-Agenten-basiertes AR-Peer-Tutoring-System. Der zugrunde liegende Tutorinnen-Zuweisungsprozess (vgl. Abb. 6) wird in dem Beitrag durch zwei Petri-Netze jeweils für den Tutor und die Tutorin dargestellt, die die Bewertungs- und Ausführungsroutinen der Softwareagenten beschreiben. Das Ergebnis des Beitrags stellt einen neuartigen Ansatz auf dem Gebiet des computer-gestützten kollaborativen Lernens dar und wird durch einen implementierten Prototyp für eine AR-Brille demonstriert.

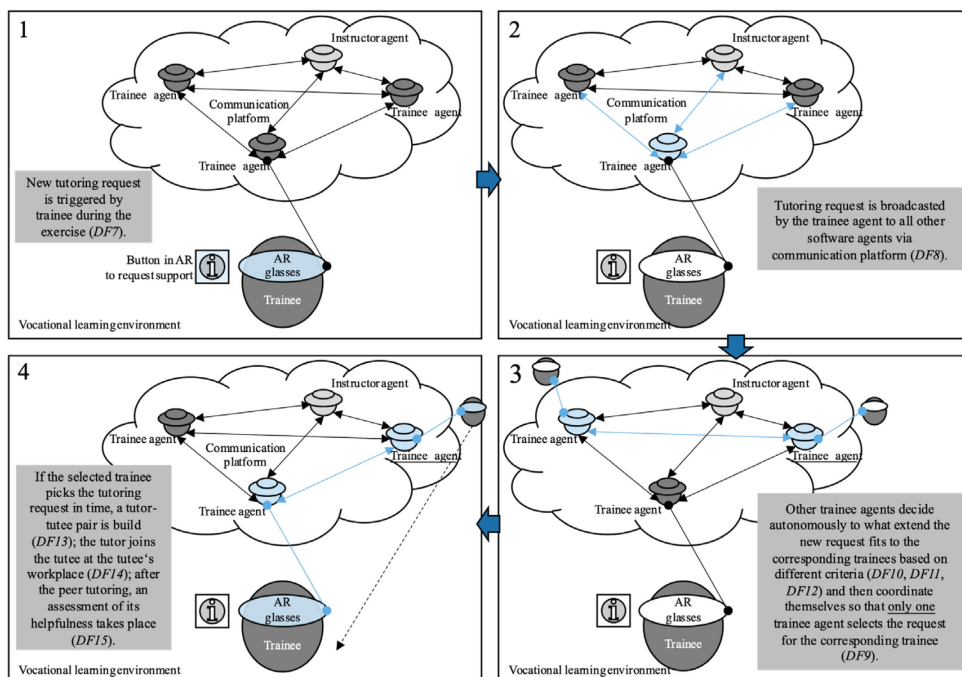
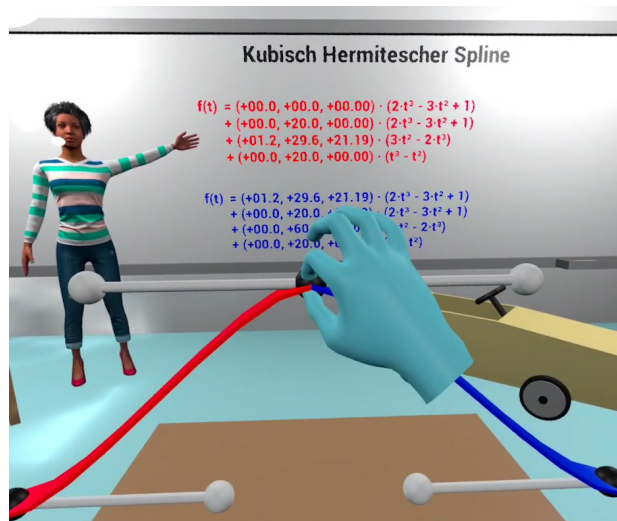


Abb. 6. Multi-Agenten-basierter Tutoren-Zuweisungsprozess in dem entwickelten Prototyp (Gösling et al. 2021)

#### 5.2.4 Herausforderungen der Digitalisierung von Bildungsinhalten am Beispiel einer Virtual-Reality-Lernanwendung zur Vermittlung von mathematischem Wissen

Digitale Medien haben sich bereits in unterschiedlichster Weise sowohl im schulischen Unterricht als auch in der Aus- und Fortbildung von Unternehmen etabliert. Aufbauend auf den Ergebnissen von FF1 befasst sich Beitrag 4 mit der Fragestellung, welche Lerntheorien sich zur Entwicklung einer digital-geprägten Lernumgebung eignen und wie theoretische Unterrichtsinhalte in die digitale Welt überführt werden können. Dazu werden Gestaltungsaspekte einer virtuellen Lernumgebung sowie unterschiedliche didaktische Konzepte, die in einer virtuellen Lernumgebung Anwendung finden können, untersucht. Der Beitrag diskutiert am Beispiel einer Virtual-Reality-Lernanwendung (vgl. Abb.

7), inwiefern die Digitalisierung von Bildungsinhalten aus dem Mathematikunterricht umgesetzt werden kann.



**Abb. 7.** Virtuelle Lernumgebung zur Vermittlung von Wissen über Splines im Mathematikunterricht (Krutikov et al. 2022)

Als Beispiel für einen abstrakten Bildungsinhalt dient in dem Beitrag das mathematische Konstrukt Spline bzw. stückweise definierte Polynome. Deduktiv wird das Design der Lernumgebung hergeleitet. Das Design deckt den spezifischen Lernkontext ab und wählt den Lerninhalt passend zur konstruktiven Lerntheorie. Für die Entwicklung wird hervorgehoben, dass bei der Vermittlung von Lerninhalten nicht die Technologie selbst die Lernergebnisse bestimmt (beispielsweise VR oder AR), sondern die Umsetzung der Anwendung relevant ist. Sowohl für VR als auch für AR geschieht die Vermittlung am besten, indem Lernende sich das Wissen in einem aktiven Konstruktionsprozess aneignen. Idealerweise werden in dem Design auch domänenübergreifende Fertigkeiten wie Schlüsselqualifikationen, soziale Kompetenzen oder Problemlösefähigkeiten berücksichtigt. Es ist nicht notwendig, den Prototyp möglichst realistisch zu gestalten sondern die individuellen Lernziele an den spezifischen Kontext anzupassen.

Das Ergebnis zeigt, wie abstrakte Lerninhalte, in diesem Beispiel das mathematische Konstrukt von Splines, durch eine virtuelle Umgebung verständlich und in motivierender Weise in einen Handlungsablauf eingebettet werden können. In dem Prototyp stehen differenzierte Lernhilfen, wie eine interaktive mathematische Graphdarstellung, ein virtueller Lernpartner, auditive und audiovisuelle Signale und zusätzliche Erklärungen zur Verfügung. Bezogen auf die technische Aus- und Fortbildung bedeutet dies, dass abstrakte Prozesse von beispielsweise Maschinen ebenfalls in ein virtuelles Lernszenario eingebettet werden könnten. Neben digitalen Lernpartnerinnen und Lernpartnern könnten die technischen Prozesse für die AR-Endgeräte visuell aufbereitet werden. Um eine Interaktion zu erzeugen, sollten die Lernenden die Möglichkeiten bekommen die Prozessabläufe virtuell zu beeinflussen und die Konsequenzen ihres Handelns nachzuvollziehen.

### 5.2.5 Analyse einer Fallstudie zur Bereitstellung AR-basierter Montageanweisungen

Beitrag 5 adressiert die Fragestellung, wie die selbstständige Bearbeitung betrieblicher Aufgaben durch AR-basierte Prozesse unterstützt werden kann. Dazu wird in Beitrag 5 eine multimethodische Fallstudie in einem deutschen Fertigungsunternehmen durchge-



führt und die persönliche Einarbeitung für den in Beitrag 2 modellierten Montageprozess durch eine AR-basierte Anleitung mit 23 Schritten ersetzt. Mit Hilfe einer Fokusgruppe aus einem AR-Entwickler, einem didaktischen Experten, einem Prozessingenieur und einem Vorarbeiter des Unternehmens wurden zunächst AR-Anreicherungen identifiziert, die den Einarbeitungsprozess vollständig beschreiben (vgl. Abb. 8).



**Abb. 8.** Ausschnitt einer AR-basierten Montageanleitung (in Anlehnung an Dreesbach et al. 2023)

Die Bereitstellung des AR-basierten Montageprozesses dient nachrangig als Demonstration eines AR-basierten Systems zur Bereitstellung von Bildungsinhalten und somit dem aktionalen Erkenntnisinteresse. Die Fallstudie beantwortet noch einmal ausführlicher die Fragestellung, die in Beitrag 2 durch eine Anforderungserhebung und Prozessmodellierung betrachtet wurde. Das System wurde nach den in Beitrag 2 erhobenen Anforderungen prototypisch implementiert und umfasst ein Web-basiertes Authoring-Tool für Lehrende zum intuitiven Erstellen von AR-basierten Lerneinheiten sowie eine ergänzende AR-Anwendung für die AR-Brille Microsoft HoloLens 2, um die erstellten AR-Einheiten für Lernende bereitzustellen. Für die Modellierung von Lernprozessen stehen 20 generisch gestaltete AR-Elemente zur Verfügung. Neun der Elemente beinhalten einen beschreibenden Charakter (Infotafel, Textfeld, Checkliste, Bild, Audio, Video, Avatar, Zeitnehmer, 3D-Symbole) und elf der Elemente beinhalten einen Aufgabencharakter (Lückentext, Bildauswahl, Nummernabfrage, Raumerkundung, räumliches und reguläres Single Choice, Multiple Choice, Fotodokumentation, Zuordnungsaufgabe, Reihenfolge-sortierung, Selbstreflexion). Die Elemente können mit eigenen Inhalten versehen und an die dokumentierten Schritte angehängen werden.

Die in Beitrag 5 anschließend durchgeführte Fallstudie mit einem Umfang von 19 Auszubildenden dient ebenfalls dem aktionalen Erkenntnisgewinn. In der Fallstudie wurden die Fehler der Auszubildenden während der Prozessausführung dokumentiert und geprüft, ob die Auszubildenden den Prozess ohne zusätzliche Hilfe abschließen konnten. Deskriptives Wissen wurde in Beitrag 5 insbesondere dadurch erzeugt, dass die vier Fehlerarten (1) Installationsfehler, (2) nicht beachtete Anweisung, (3) mangelnde Kenntnisse und (4) erfolgloser Versuch abgeleitet werden konnten. Die Fehlertypen (1), (2) und (4) lassen sich nur bedingt durch vordefinierte Lerninhalte berücksichtigen. Da ein Viertel der Auszubildenden die AR-basierte Montageanweisung nicht vollständig abschließen konnten, zeigen die Ergebnisse, dass Montageprozesse in der Praxis durch eine große Anzahl an

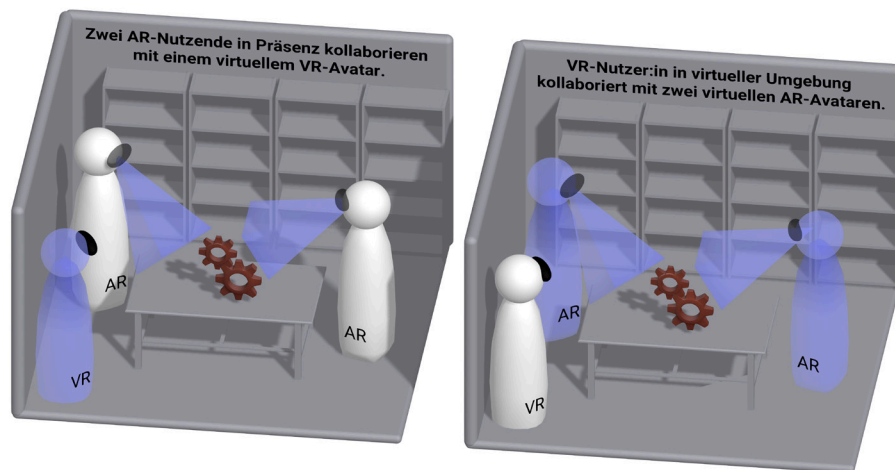
Informationen und möglicher Ausführungsvarianten komplexer sind als Laborstudien mit Modellbaukästen. Folglich zeigt das Ergebnis den Forschungsbedarf für die Erkennung fehlerhaft durchgeführter Montageschritte und entsprechend situationsbedingte Prozessanpassungen in den AR-basierten Inhalten auf.

### **5.2.6 Exploration von Handlungsempfehlungen und Anwendungsmöglichkeiten für AR-basierte Systeme, um auf situationsbedingte Veränderungen zu reagieren**

Anknüpfend an Beitrag 5 untersucht Beitrag 6 auf Basis von drei Kernthesen Anwendungsmöglichkeiten für AR- und VR-Anwendungen sowie Handlungsempfehlungen für eine systemübergreifende Informationsbereitstellung in Bezug auf das Metaverse. Das Metaverse vereint die physische und digitale Welt. Zwar haben aktuelle Trends bei der Entstehung des Metaverse derzeit noch einen geringen Reifegrad, jedoch ermöglicht es eine persistente Informationsbereitstellung zeitgleich in der physischen, erweiterten und virtuellen Realität. In dem Beitrag werden Gestaltungsmöglichkeiten für AR-basierte Systeme aufgezeigt, um mit den digitalen Lerneinheiten auf situationsbedingte Veränderungen in der physischen Umgebung zu reagieren. In Beitrag 1 wurde bereits beschrieben, dass der zeitgleiche Datenübergang zwischen der physischen Umgebung und digitalen Systemen eine Voraussetzung zur Reaktion auf situationsbedingte Veränderungen in der physischen Umgebung darstellt. Folglich stellt das Metaverse eine Lösung dar, die zu der Beantwortung der Leitfrage dieser Forschungsarbeit herangezogen werden kann.

Eine wesentliche der drei Kernthesen des Beitrags ist, dass eine Interoperabilität und standardisierte Schnittstellen angestrebt werden müssen, um den Informationsaustausch zwischen der physischen, erweiterten und virtuellen Realität zu ermöglichen. Durch die Interoperabilität von Daten in vernetzten Systemen wird ein einheitliches Datenformat geschaffen. Relevante Informationen können über standardisierte Schnittstellen ohne Konvertierungsaufwand bereitgestellt und für Trainingseinheiten genutzt werden. Dadurch können Maschinenzustände sowie Programm- und Prozessinformationen von Anlagen und Maschinen im Rahmen der betrieblichen Aus- und Fortbildung an AR-basierte Systeme weitergegeben und Lerneinheiten passend zu den aktuell ablaufenden Produktionsprozessen bereitgestellt werden.

Um zu ermöglichen, dass mehrere Lernende an derselben Aufgabe zusammenarbeiten, gibt der Beitrag die Handlungsempfehlung die AR-Objekte einer Lernaufgabe über eine AR-Cloud breitzustellen. Eine AR-Cloud schafft eine digitale Ebene, die über die physische Realität gelegt und mit persistenten AR-Inhalten anwendungs- und geräteübergreifend angereichert wird. Integriert in eine Multi-User-Umgebung ermöglicht sie zudem, dass mehrere Lernende an derselben Aufgabe zusammenarbeiten können und fördert dadurch die soziale Interaktion zwischen Lernenden bei der Verwendung von AR-basierten Systemen (vgl. Abb. 9).



**Abb. 9.** Kollaboration von Lernenden in einer Multiuser-Umgebung (Dreesbach et al. 2023b)

Weiterhin wird in dem Beitrag argumentiert, dass zur Überwindung von AR-Insellösungen der Einsatz von Authoring-Tools, wie auch in Beitrag 5 eingesetzt, für akzeptierte und skalierbare Anwendungen entscheidend ist. Authoring-Tools unterstützen innerhalb eines vordefinierten Funktionsumfangs dabei AR-basierte Lerneinheiten ohne Software- und Programmierungskennntnisse zu designen und bereitzustellen.

### 5.3 Theoretische Implikationen

Durch die Anwendung gestaltungsorientierter Forschung sind in dieser Forschungsarbeit unterschiedliche Artefakte entstanden, deren Entwicklung die Wissensbasis erweitert haben (Gregor, Hevner 2013). Die Artefakte zeigen, dass die situationsbedingte Bereitstellung von AR-basierten Bildungsinhalten unterschiedliche Herausforderungen mit sich bringt. Durch die Beantwortung der Leitfrage dieser Forschungsarbeit konnten diesbezüglich unterschiedliche theoretische Implikationen identifiziert werden.

Zunächst wurde der Bedarf für AR-basierte Anwendungen in datengetriebenen Arbeitsaufgaben innerhalb eines dynamischen Betriebsumfelds problembasiert ermittelt und ein Konzept im Reparatur- und Instandhaltungsmanagement aufgezeigt, das die Einsatzpotenziale von AR-Anwendungen verdeutlicht (B1). Die weiteren Anforderungen an das konzipierte und implementierte System (FF1) resultieren maßgeblich aus vier modellierten Prozessen an zwei berufsbildenden Schulen und in zwei betrieblichen Ausbildungswerkstätten (B2). Dies zeigt, dass sich der Entwicklungsprozess stets an den Anforderungen der jeweiligen Anwendungskontexte orientiert hat. Die entsprechend praxisnahen Erkenntnisse zeigen unterschiedliche AR-Elemente sowie kollaborative Ansätze für Lernende, welche in die Gestaltung weiterer Systeme einfließen können, um die Vermittlung von Handlungskompetenzen und technischem Wissen zu unterstützen.

Die Integration didaktischer Methoden in AR-basierte Lerneinheiten wurde in der Wirtschaftsinformatik bisher nachrangig untersucht und stellte eine der wesentlichen Herausforderungen dar (FF2). Da AR lediglich eine Technologie darstellt, die für die Vermittlung von Lerninhalten passend zum jeweiligen Lehrkontext eingesetzt werden muss, wurden im Forschungsfeld des computergestützten kollaborativen Lernens 15 Designmerkmale definiert, die kollaborative Lernpartnerschaften für AR-Anwendungen ermöglichen (B3). Weiterhin zeigen die Ergebnisse wie abstrakte Lerninhalte sowohl in rein virtuellen Ler-



umgebungen als auch in AR-basierten Lerneinheiten im Kontext der konstruktiven Lerntheorie umgesetzt werden können (B4). Die Ergebnisse liefern somit neues Gestaltungswissen, das für die Entwicklung weiterer AR- und VR-Anwendungen auf andere Bildungsdomänen übertragen werden kann. Die abschließende Demonstration des Systems sowie die Untersuchung von Bedarfen für die situationsbedingt Bereitstellung von Bildungsinhalten (FF3) bieten einen Ausgangspunkt für weitere Forschungsarbeiten.

Überwiegend tragen die Ergebnisse zum präskriptiven Wissen bei, das Handlungsanweisungen und Empfehlungen zur Gestaltung und Implementierung verwandter IT-Artefakte beinhaltet. Im Rahmen der Evaluationen der Artefakte konnte auch zum deskriptiven Wissen beigetragen werden, indem die Auswirkungen der Artefakte analysiert wurden. Die Evaluation der Artefakte stellt einen Rückfluss in die Wissensbasis dar und kann durch Forschende der einschlägigen Disziplinen verwendet werden. Der konsequente Einsatz wissenschaftlicher Methoden, unter anderem Literaturrecherchen, Fokusgruppen, Prozessmodellierung und Prototyping, führte unter Verwendung neuester AR-Hardware zu einer Lösung der eingangs beschriebenen Problemstellungen durch die gestaltungsorientierte Konstruktion eines soziotechnischen Systems (vgl. Österle et al. 2010). Die Beiträge aus dieser Forschungsarbeit leisten daher insgesamt einen wertvollen Beitrag zur Disziplin der Wirtschaftsinformatik und tragen dazu bei Lerneinheiten der Aus- und Fortbildung von berufsbildenden Schulen und Unternehmen durch die Bereitstellung AR-basierter Bildungsinhalte zu digitalisieren.

Neben den sechs in dieser Forschungsarbeit eingebrachten Beiträgen, wird die Forschungsfrage aus dieser Dissertation auch durch die weiteren entstandenen, relevanten Publikationen B7 bis B11 aufgegriffen. Der Beitrag 11 wurde nicht in die Dissertation eingebracht, trägt jedoch insbesondere zur Anwendbarkeit der situationsbezogenen Bereitstellung von Bildungsinhalten bei. Durch den Einsatz einer Objekterkennung wird die physische Umgebung von dem in dem Beitrag entwickelten AR-Prototyp erfasst und zeigt den Lernenden situationsbezogene Lerninhalte an. Die in dem Design-Science-Research durchgeführte Instanziierung und Evaluation stellen die Möglichkeit der Integration einer Objekterkennung in AR-basierte Systeme dar und beschreiben gleichzeitig die Limitationen hinsichtlich einer automatisierten Interpretation der Lernergebnisse. Die weiteren Beiträge beschreiben unter anderem die Vorgehensweise, um Lerneinheiten aus der Aus- und Fortbildung von berufsbildenden Schulen und Unternehmen in AR-basierte Lerneinheiten zu überführen (B7) sowie das Web-basierte Authoring-Tool für AR-basierten Lerneinheiten (B9). Ebenfalls wurde für den in dieser Forschungsarbeit entwickelten Prototyp im Rahmen einer Fallstudie ein positiver Lernerfolg von Auszubildenden für eine Unterrichtseinheit in einer berufsbildenden Schule nachgewiesen (B10).

#### **5.4 Praktische Implikationen**

Als anwendungsnahe Disziplin beschäftigt sich die Wirtschaftsinformatik damit theoretische Erkenntnisse nicht nur zu erheben, sondern diese auch in praktischer Form anzuwenden (Cole et al. 2005). Um einen Praxistransfer der wissenschaftlichen Ergebnisse zu ermöglichen, müssen sowohl die Rigorosität als auch die Relevanz der wissenschaftlichen Fragestellung berücksichtigt werden (Österle et al. 2010). Diese Aspekte wurden während der Anforderungserhebung (Beitrag 1 und 2) in Berufsschulen und Unternehmen durch Fokusgruppen und Prozessmodellierungen in die vorliegende Dissertation mit einbezogen. Durch den kontinuierlichen Austausch mit Lehrkräften und Auszubildenden, wurde während der Entwicklung der IT-Artefakte durchgehend ein Praxisbezug der Untersu-

chungen sichergestellt und eine Evaluation der Ergebnisse im Kontext von praxisnahen Anwendungsfällen ermöglicht.

Die Zielsetzung der Dissertation wird durch den Abgleich des wissenschaftlich entwickelten und praktisch demonstrierten Systems deutlich (vgl. Beitrag 5). Der entlang den identifizierten Anforderungen abschließend konzipierte und implementierte Prototyp (Beitrag 5), stellt den Transfer in die praktische Nutzung sicher, da er als Ansatz für den Einsatz AR-basierter Bildungsinhalte in weiteren Lerneinheiten dient. Der Prototyp wurde im Rahmen des Forschungsprojekts *AdEPT* in zwei Berufsbildenden Schulen und zwei Unternehmen getestet. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial, den Umgang mit Werkzeugen und Maschinen sowie die Einarbeitung in Montageprozesse durch AR-Bildungsinhalte zu digitalisieren. Durch den Einsatz des AR-basierten Systems wird sowohl das Technologiewissen als auch die Akzeptanz von AR bei den Schülerinnen und Schülern bzw. den Auszubildenden gefördert. In zahlreichen Workshops und Unterrichtseinheiten wurde deutlich, dass Lehrende zukünftig davon profitieren können, ihre Unterrichtseinheiten um selbst erstellte, AR-basierte Bildungsinhalte zu erweitern. Dadurch wird nicht nur die Unterrichtsgestaltung flexibler, sondern Lehrkräfte werden entlastet und können einzelne Lernende individueller fördern. In den Fallstudien zeigte sich außerdem, dass Auszubildende die Einführung AR-basierter Anleitung für zukünftige Arbeiten unterstützen und dass sie das Erlernen des Umgangs mit der AR-Brille nach eigener Aussage auf zukünftige Arbeitssituationen vorbereitet. Für weniger selbstständige Lernende sollte in Zukunft jedoch die Modellierung von Prozessen für unterschiedliche Lernniveaus untersucht werden und weitere motivierende Ansätze, wie Gamification, in der Modellierung von Lerneinheiten berücksichtigt werden.

Die praktischen Auswirkungen der Ergebnisse beziehen sich vor allem auf Lehrende und Auszubildende. Durch das in dieser Forschungsarbeit entwickelte System zur Bereitstellung AR-basierter Bildungsinhalte können diese ihre Lerneinheiten zunehmend mit AR-Technologie ergänzen. Auf diese Weise erhalten sie mehr Flexibilität bei der Gestaltung des Unterrichts. Einzelne Lernende können die AR-basierte Lerneinheit in ihrem eigenen Tempo bearbeiten. Lehrkräfte und Auszubildende werden entlastet und können die Lernenden gezielter und individueller fördern. Damit AR-basierte Bildungsinhalte in Schulen und insbesondere auch in Unternehmen zukünftig gezielt um erprobte, didaktische Methoden angereichert werden können, sind mit den in Beitrag 3 und 4 (FF2) konzeptionell und prototypisch untersuchten didaktischen Methoden praxisnahe Erkenntnisse entstanden. Bei der Demonstration des AR-basierten Systems wurde darüber hinaus festgestellt, dass die 20 generisch gestalteten AR-Elemente des Authoring-Tools mit beschreibendem oder mit Aufgabencharakter die gesamte Lerneinheit abdecken konnten. Die AR-Elemente dienten der Instruktion der Lernenden, der Erkundung der Lernumgebung sowie der Abfrage von Wissen. Für weitere Lerneinheiten können die Elemente zukünftig mit eigenen Inhalten versehen und an die dokumentierten Schritte angehängt werden. In Bezug auf Montageprozesse kann aufgrund von Installationsfehlern, nicht beachteten Anweisungen oder erfolglosen Montageversuchen jedoch selbst die Vollständigkeit der AR-basierten Informationen keine fehlerfreie Prozessausführung garantieren. Daher sollte eine ergänzende Betreuung der Lernenden weiterhin gewährleistet werden. Weiterführend wurde deutlich, dass in den Lerneinheiten, ein zeitgleicher Datenübergang zwischen der physischen Umgebung und digitalen Systemen bzw. den AR-Endgeräten notwendig wird, um mit AR-basierten Bildungsinhalten auf situationsbedingte Veränderungen in der physischen Umgebung zu reagieren. Standardisierte Schnittstellen sowie eine durchgehende Interoperabilität von Daten zwischen AR-Endgeräten und technischen Systemen, beispielweise Ma-

schinen Anlagen, erleichtert die Gestaltung und Bereitstellung von situationsbezogenen Bildungsinhalten.

Um die Ergebnisse berufsbildenden Schulen und Unternehmen zugänglich zu machen, sind diese nicht nur in wissenschaftlichen Formaten veröffentlicht und diskutiert worden, sondern auch praxisnah bereitgestellt worden. Neben zwei Workshops an Schulen, in denen der entwickelte Prototyp von Lernenden getestet werden konnte, wurde dieser auch auf öffentlichen Veranstaltungen vorgeführt. Die in diese Forschungsarbeit eingebrachten Beiträge beschreiben die Ergebnisse außerdem auch in anwendungsnahen Publikationsorganen, wie dem Fachmagazin ‚Wirtschaftsinformatik und Management‘ (Beitrag 6).

## 5.5 Limitationen

Die sechs Beiträge (B1–B6) dieser Forschungsarbeit wurden vor der Veröffentlichung von unabhängigen Dritten begutachtet, wodurch die Wissenschaftlichkeit und fachliche Richtigkeit der Beiträge gewährleistet sind. Die Beiträge B1, B3, B4 und B5 wurden zudem in Publikationsorganen veröffentlicht, die in der WI-Orientierungsliste der WKWI und dem und dem VHB-Jourqual 3, Teilrating WI, als wissenschaftliche Zeitschriften und Konferenzen ausgewiesen sind. Die Untersuchungen dieser Forschungsarbeit wurden außerdem mit AR-Endgeräten auf dem neusten Stand der Technik durchgeführt. Dennoch weisen die Ergebnisse sowohl methodische als auch inhaltliche Limitationen auf.

Da AR-Endgeräte bisher nur wenig bzw. keine Anwendung in Unternehmen und Privathaushalten finden, mussten Lehrende und Lernende während der Untersuchung in der Regel neu in die Technologie und den Umgang mit den Endgeräten eingeführt werden. Während dieser Umstand bei den Beteiligten einerseits zu einer hohen Motivation und hohen Erwartungen für den Einsatz der Technologie geführt hat, war das Erfahrungswissen entsprechend gering. Daher können die Ergebnisse langfristig gesehen insbesondere hinsichtlich der Akzeptanz variieren. Weitere Studien mit erfahrenen Testpersonen können Aufschluss geben, ob die Ergebnisse auch langfristig gelten.

Als ein weiterer kritischer Aspekt sei erwähnt, dass die situationsbedingte Bereitstellung von AR-basierten Bildungsinhalten zwar konzipiert und implementiert, jedoch nicht abschließend evaluiert wurde. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob die auf dem Übertragungsprotokoll MQTT basierende Schnittstelle zwischen den AR-basierten Lerneinheiten und industriellen Anlagen und Maschinen in der Praxis Anwendung finden kann. Eine vollständige Evaluation des Systems sieht die Erbringung von einem Machbarkeitsnachweis (Proof-of-Concept), einem Anwendungsnachweis (Proof-of-Use) und einem Nützlichkeitsnachweis (Proof-of-Value) vor (Briggs et al. 2011). Da das Potenzial von AR in anwendungsnahen Versuchsanordnungen in der Literatur bisher noch nicht vollständig untersucht wurde (Mohammadhossein et al. 2022), leistet die Dissertation dennoch einen wertvollen Beitrag zur Wissensbasis der Wirtschaftsinformatik.

Zuletzt ist zu berücksichtigen, dass sich die vorliegende Arbeit auf den Anwendungsfall der technischen Aus- und Fortbildung fokussiert. Der Fokus wurde gewählt, da die Domäne einen hohen Bezug zur Digitalisierung hat, beispielsweise durch Lehrinhalte über den Umgang mit Anlagen und Maschinen. Um die Ergebnisse zu generalisieren, erfordert der induktive Erkenntnisprozess die Untersuchung weiterer Anwendungsfälle, um übereinstimmende Beobachtung zu erzeugen und generalisierbare Artefakte ableiten zu können. Weitere, nicht in die Forschungsarbeit eingebrachten Publikationen, deuten jedoch auf eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Anwendungsfälle hin.

## 6 Zusammenfassung

Das zentrale Ziel dieser Dissertation besteht in der Untersuchung der Fragestellung wie AR-basierte Systeme gestaltet werden können, um Bildungsinhalte situationsbedingt bereitzustellen. Die Untersuchung wird am Fallbeispiel der technischen Aus- und Fortbildung durchgeführt. Um die Leitfrage dieser Dissertation zu beantworten, wurde im Rahmen dieser Forschungsarbeit anhand von sechs Beiträgen die Konzeption und Implementierung mehrerer IT-Artefakte unter Verwendung des gestaltungsorientierten Forschungsansatzes aufgezeigt. Im Zuge der Bearbeitung der FF1 konnten anhand von vier Anwendungsszenarien an zwei berufsbildenden Schulen und in zwei betrieblichen Ausbildungswerkstätten Anforderungen identifiziert werden, um AR-basierte Bildungsinhalte in der technischen Aus- und Weiterbildung bereitzustellen. Dabei wurden insbesondere auch dynamische und datengetriebene Arbeitsaufgaben berücksichtigt, da durch die digitale Transformation zukünftig wesentliche Veränderungen der Arbeitsweise von Beschäftigten erwartet werden. Um Unternehmen und berufsbildende Schulen frühzeitig auf diese Veränderungen vorzubereiten, wurden in FF2 didaktische Methoden untersucht, die sowohl kollaboratives Lernen bei der Verwendung von AR-Brillen unterstützen als auch die Darstellung von theoretischen Bildungsinhalten in digitalen Lernumgebungen. Ein weiteres Ziel dieser Dissertation war die Adressierung von Handlungsempfehlungen für AR-basierte Systeme, um die erhobenen Bildungsinhalte situationsbedingt bereitzustellen. FF3 untersucht daher den Abgleich der Bildungsinhalte mit der physischen Umgebung bzw. digitalen Systemen, wie Maschinen und Anlagen, um auf Veränderungen in der physischen Umgebung zu reagieren. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit und den zugrunde liegenden Forschungsprojekten wurden unterschiedliche Gestaltungsmerkmale untersucht. Zunächst wurde anhand einer Fallstudie für Montageprozesse aufgezeigt wie die selbstständige Bearbeitung von Montageaufgaben durch AR-basierte Prozesse unterstützt werden kann und wie sich Fehler in der Ausführung auf den bereitgestellten AR-basierten Prozess auswirken. Zum Abgleich der Bildungsinhalte mit der jeweiligen Lernsituation wurden standardisierte Schnittstellen sowie eine durchgehende Interoperabilität von Daten zwischen AR-Endgeräten und technischen Systemen untersucht. Weiterhin wurde auch der Einsatz einer Objekterkennung untersucht, um die physische Umgebung zu erfassen.

Auf wissenschaftlicher Ebene können die Gestaltungsmerkmale des entwickelten Artefakts innerhalb des aufgezeigten Forschungsfelds zukünftig bei der Entwicklung weiterer AR-basierter Systeme unterstützen. Außerdem können die aufgezeigten Lerneinheiten in weitere Bildungsbereiche adaptiert werden, um das Verständnis für die Auswirkungen der AR-basierten Bildungsinhalte auf die Lernergebnisse weiter zu verbessern. Durch fortschreitende Technologieentwicklungen im Bereich AR und noch ungelöste wissenschaftliche Fragestellungen, ergibt sich andererseits auch zukünftig ein weiterer Forschungsbedarf. Auf praktischer Ebene profitieren sowohl berufsbildende Schulen als auch Unternehmen unmittelbar von den Ergebnissen. Da berufsbildende Schulen und Unternehmen die Lernenden nicht nur für die Gegenwart, sondern auch für zukünftige technische Entwicklungen ausbilden, wirken sich die Ergebnisse trotz der noch vorherrschenden Limitationen positiv auf die Aufgeschlossenheit von Lehrenden und Lernenden gegenüber dem Einsatz von AR in der Aus- und Fortbildung aus. Denn die in den Beiträgen erzeugten IT-Artefakte, wie Konzepte und Prototypen sowie das hergeleitete Gestaltungswissen zeigen Möglichkeiten für eine potenzielle AR-gestützte Unterrichtsgestaltung auf, in denen Lernende sowohl Medienkompetenzen als auch beruflichen Handlungskompetenzen entwickeln.

## 7 Literatur

- Adelmann, R. (2020): *Augmented Reality in der industriellen Praxis*. In: Orsolits, H.; Lackner, M. (Hrsg.): *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion*. Wiesbaden, Springer Fachmedien, 7–32.
- Appelfeller, W.; Feldmann, C. (2018): *Der Weg zum digitalen Unternehmen*. In: Appelfeller, W.; Feldmann, C. (Hrsg.): *Die digitale Transformation des Unternehmens*. Berlin, Heidelberg, Springer, 3–18.
- Bacca, J.; Baldiris, S.; Fabregat, R.; Kinshuk (2019): *Framework for designing motivational augmented reality applications in vocational education and training*. *Australasian Journal of Educational Technology* 3(35):102–117.
- Becker, J.; Holten, R.; Knackstedt, R.; Niehaves, B. (2004): *Epistemologische Positionierungen in der Wirtschaftsinformatik am Beispiel einer konsensorientierten Informationsmodellierung*. In: Frank, U. (Hrsg.): *Wissenschaftstheorie in Ökonomie und Wirtschaftsinformatik – Theoriebildung und -bewertung, Ontologien, Wissensmanagement*. Wiesbaden, Deutscher Universitätsverlag, 335–336.
- Becker, J.; Pfeiffer, D. (2006): *Beziehungen zwischen behavioristischer und konstruktionsorientierter Forschung in der Wirtschaftsinformatik*. In: Zelewski, S.; Akca, N. (Hrsg.): *Fortschritt in den Wirtschaftswissenschaften: Wissenschaftstheoretische Grundlagen und exemplarische Anwendungen*. Wiesbaden, Deutscher Universitätsverlag, 1–17.
- Berg, M.; Dreesbach, T.; Bonaventura, K.; Knopf, J.; Thomas, O. (2022): *Modellierung von Lernprozessen für Augmented-Reality-Brillen in der technischen Aus- und Weiterbildung*. *Lecture Notes in Informatics (LNI), Proceedings – Series of the Gesellschaft für Informatik (GI)* (P-322):235–236.
- Brettel, M.; Friederichsen, N.; Keller, M.; Rosenberg, M. (2014): *How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective*. *International journal of mechanical, industrial science and engineering* 1(8):37–44.
- Briggs, R.; Nunamaker, J.; Sprague, R. (2011): *Special section applied science research in information systems: The last research mile*. *Journal of Management Information Systems* 1(28):13–16.
- Brougham, D.; Haar, J. (2018): *Smart Technology, Artificial Intelligence, Robotics, and Algorithms (STARA): Employees' perceptions of our future workplace*. *Journal of Management and Organization* 2(24):239–257.
- Buehler, K.; Kohne, A. (2020): *Besser Lernen mit VR/AR Anwendungen*. In: Orsolits, H.; Lackner, M. (Hrsg.): *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion*. Wiesbaden, Springer Fachmedien, 75–97.
- Chekryzhov, V.; Kovalev, I.A.; Grigoriev, A.S. (2018): *An approach to technological equipment performance information visualization system construction using augmented reality technology*. *MATEC Web Conf.* (224).
- Cole, R.; Purao, S.; Rossi, M.; Sein, M.K. (2005): *Being proactive: Where action research meets design research*. *Association for Information Systems – 26th International Conference on Information Systems (ICIS 2005): Forever New Frontiers*. 325–336.
- Cooper, E.S. (2018): *Got Skills? Improving U.S. Vocational Training amidst Growing Demand for Advanced Vocational Skills*. Ohio, Ohio University Honors Tutorial College.
- Dreesbach, T.; Berg, M.; Gössling, H.; Walter, T.; Thomas, O.; Knopf, J. (2021): *A Methodology to Enhance Learning Processes with Augmented Reality Glasses*. In: Ahlmann, F.;

- Schütte, R.; Stieglitz, S. (Hrsg.): *Innovation Through Information Systems (WI 2021). Lecture Notes in Information Systems and Organisation*. Cham, Springer, 48.
- Dreesbach, T.; Dethloff, A.; Beinke, J.; van Dülmen, F.; Thomas, O. (2023a): *Impact and Limitations of AR-Based Guidance for Assembly Workers*. IEEE Computer (zur Veröffentlichung angenommen).
- Dreesbach, T.; Krutikov, S.; Vogel, J.; Thomas, O. (2023b): *Metaverse als Business Chance – Perspektiven aus der Wirtschaftsinformatik*. Wirtschaftsinformatik & Management (in Veröffentlichung).
- Dreesbach, T.; Vogel, J.; Berg, M.; Gösling, H.; Walter, T.; Thomas, O.; Knopf, J. (2020): *AdEPT - Eine digitale Lern- und Lehr-Plattform in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung mit Augmented Reality*. Handbuch E-Learning August(86. Erg.-L):47–64.
- Eberhard, K. (1999): *Einführung in die Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie: Geschichte und Praxis der konkurrierenden Erkenntniswege*. 2. durchg. Auflage. Stuttgart u.a., Kohlhammer.
- Fettke, P. (2006): *State-of-the-Art des State-of-the-Art*. Wirtschaftsinformatik 4(48):257–266.
- Garzón, J.; Kinshuk; Baldiris, S.; Gutiérrez, J.; Pavón, J. (2020): *How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis*. Educational Research Review (31):100334.
- Garzón, J.; Pavón, J.; Baldiris, S. (2019): *Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings*. Virtual Reality 4(23):447–459.
- Gerholz, K.-H. (2022): *Berufliche Bildung*. In: Reinders, H.; Berge-Winkels, D.; Prochnow, A.; Post, I. (Hrsg.): *Empirische Bildungsforschung*. Wiesbaden, Springer Fachmedien, 87–106.
- Gerholz, K.-H.; Dormann, M. (2017): *Ausbildung 4.0: Didaktische Gestaltung der betrieblich-beruflichen Ausbildung in Zeiten der digitalen Transformation*. Berufs- und Wirtschaftspädagogik Online (32):24.
- Gericke, A.; Robert, W. (2009): *Entwicklung eines Bezugsrahmens für Konstruktionsforschung und Artefaktkonstruktion in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik*. Wissenschaftstheorie und gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik.
- Gösling, H.; Dreesbach, T.; Vogel, J.; Kochon, E. (2021): *Linking Augmented Reality with Peer Tutoring in Vocational Learning Environments: A Multi-Agent-Based Approach*. European Conference on Information System (ECIS 2021), A Virtual AIS Conference. 1–10.
- Gregor, S.; Hevner, A.R. (2013): *Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact*. MIS Quarterly 2(37):337–355.
- Gregor, S.; Jones, D. (2007): *The Anatomy of a Design Theory*. Journal of the Association of Information Systems (8):312–335.
- Heinbach, C.; Dreesbach, T.; Thomas, O. (2023): *Freight Fleet Glasses – Augmented Reality Einsatz zur Unterstützung eines automatisierten und vernetzten Flottenmanagements*. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 1(60):89–109.
- Heinrich, L.J.; Heinzl, A.; Riedl, R. (2011): *Wirtschaftsinformatik: Einführung und Grundlegung*. Berlin, Heidelberg, Springer.
- Hevner, A.R.; March, S.T.; Park, J.; Ram, S. (2004): *Design Science in Information Systems Research*. MIS Quarterly 1(28):75–105.
- Hobert, S.; Schumann, M. (2017): *Enabling the adoption of wearable computers in enterprises - Results of analyzing influencing factors and challenges in the industrial*

- sector. Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii, 4276–4285.
- Hoteit, L.; Perapechka, S.; Stepanenko, A.; Hachem, M. El (2020): *Governments Must Fix Post-Coronavirus World*. Boston Consulting Group.
- Iivari, J. (2007): *A Paradigmatic Analysis of Information Systems As a Design Science*. Scandinavian Journal of Information Systems 2(19).
- Johnson, R.B.; Onwuegbuzie, A.J.; Turner, L.A. (2007): *Mixed methods research*. Journal of Mixed Methods Research 2(1):112–133.
- Kirchner, S. (2019): *Zeit für ein Update. Was die Menschen in Deutschland über Digitalisierung denken*. Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Kollatsch, C.; Schumann, M.; Klimant, P.; Wittstock, V.; Putz, M. (2014): *Mobile augmented reality based monitoring of assembly lines*. Procedia CIRP C(23):246–251.
- Kostolani, M.; Murin, J.; Kozak, S. (2019): *Intelligent predictive maintenance control using augmented reality*. Proceedings of the 2019 22nd International Conference on Process Control (PC 2019). 131–135.
- Kreimeier, D.; Kreggenfeld, N.; Prinz, C.; Igel, C.; Ullrich, C. (2014): *Intelligente Wissensdienste in Cyber-Physischen Systemen*. Industrie Management (6):25–29.
- Krutikov, S.; Kochon, E.; Dreesbach, T.; Knopf, J. (2022): *VR-Splines – Entwicklung eines Virtual Reality-Prototyps für den Mathematikunterricht*. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2022). Nürnberg, Proceeding.
- Kultusministerkonferenz (2017): *Bildung in der digitalen Welt – Strategie der Kultusministerkonferenz*.
- Lasi, H.; Fettke, P.; Kemper, H.G.; Feld, T.; Hoffmann, M. (2014): *Industrie 4.0*. Business & information systems engineering (6):239–242.
- Löhrer, M.; Fohn, A.; Gebing, A.; Schlosser, F. (2019): *Aus- und Weiterbildung in der Produktionsarbeit mit Hilfe von lernförderlich gestalteten Assistenzsystemen*. Arbeit interdisziplinär: analysieren, bewerten, gestalten: 65. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund, GfA-Press.
- March, S.T.; Smith, G.F. (1995): *Design and natural science research on information technology*. Decision Support Systems 4(15):251–266.
- Marienko, M. V.; Nosenko, Y.H.; Shyshkina, M. (2020): *Personalization of learning using adaptive technologies*. Proceedings of the 3rd International Workshop on Augmented Reality in Education. arXiv, 341–356.
- McDonald, S. (2005): *Studying actions in context: a qualitative shadowing method for organizational research*. Qualitative Research 4(5):455–473.
- Mohammadhossein, N.; Richter, A.; Lukosch, S. (2022): *Benefits of Using Augmented Reality in Learning Settings: A Systematic Literature Review*. International Conference on Information Systems 2022: Digitization for the next generation. 1–17.
- Morgan, D.L. (1996): *Focus Groups*. Annual Review of Sociology 1(22):129–152.
- Myers, M.D.; Avison, D. (2002): *Qualitative Research in Information Systems*. London, SAGE Publications Ltd.
- Oesterreich, T.D.; Teuteberg, F. (2018): *Why one big picture is worth a thousand numbers: measuring intangible benefits of investments in augmented reality based assistive technology using utility effect chains and system dynamics*. Information Systems and e-Business Management 2(16):407–441.
- Österle, H.; Becker, J.; Frank, U.; Hess, T.; Karagiannis, D.; Krcmar, H.; Loos, P.; Mertens, P.; Oberweis, A.; Sinz, E.J. (2010): *Memorandum zur gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik*. Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 6(62):664–672.

- Österle, H.; Becker, J.; Frank, U.; Hess, T.; Karagiannis, D.; Krcmar, H.; Loos, P.; Mertens, P.; Oberweis, A.; Sinz, E.J. (2011): *Memorandum on design-oriented information systems research*. European Journal of Information Systems 1(20):7–10.
- Oswald, G.; Krcmar, H. (2018): *Digitale Transformation, Fallbeispiele und Branchenanalysen*. Berlin, Heidelberg, Springer Nature.
- Peppers, K.; Tuunanen, T.; Rothenberger, M.A.; Chatterjee, S. (2007): *A design science research methodology for information systems research*. Journal of Management Information Systems 3(24):45–77.
- Prifti, L.; Knigge, M.; Kienegger, H.; Krcmar, H. (2017): *A Competency Model for 'Industrie 4.0' Employees*. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2017). St. Gallen.
- Recker, J. (2013): *Scientific Research in Information Systems – A Beginner's Guide*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag.
- Rejeb, A.; Keogh, J.G.; Wamba, S.F.; Treiblmaier, H. (2021): *The potentials of augmented reality in supply chain management: a state-of-the-art review*. Management Review Quarterly 4(71):819–856.
- Renkl, A. (1994): *Träges Wissen: Die 'unerklärliche' Kluft zwischen Wissen und Handeln*. LMU München.
- Richter, A.; Heinrich, P.; Stocker, A.; Steinhüser, M. (2017): *Die neue Rolle des Mitarbeiters in der digitalen Fabrik der Zukunft*. In: Reinheimer, S. (Hrsg.): *Industrie 4.0: Herausforderungen, Konzepte und Praxisbeispiele*. Wiesbaden, Springer Fachmedien, 117–131.
- Ro, Y.J.; Yoo, M.; Koo, Y.; Song, J.H. (2021): *The roles of learning orientation: structural determinants for improving knowledge sharing with committed and satisfied employees*. Industrial and Commercial Training 1(53):60–76.
- Romrell, D.; Kidder, L.; Wood, E. (2014): *The SAMR Model as a Framework for Evaluating mLearning*. Online Learning Journal 2(18).
- Roussos, M.; Johnson, A.; Moher, T.; Leigh, J.; Vasilakis, C.; Barnes, C. (1999): *Learning and Building Together in an Immersive Virtual World*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 3(8):247–263.
- Runde, C. (2020): *VR-/AR-Anwendungsfelder im Produktionskontext*. In: Orsolits, H.; Lackner, M. (Hrsg.): *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion*. Wiesbaden, Springer Fachmedien, 51–73.
- Schallmo, D.R.A. (2016): *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen BT - Jetzt digital transformieren: So gelingt die erfolgreiche Digitale Transformation Ihres Geschäftsmodells*. In: Schallmo, D.R.A. (Hrsg.): *Wiesbaden, Springer Fachmedien*, 3–8.
- Schöneck, N.M.; Voß, W. (2013): *Wie bereite ich mein Forschungsprojekt inhaltlich vor?* In: Schöneck, N.M.; Voß, W. (Hrsg.): *Das Forschungsprojekt*. Wiesbaden, VS Verlag für Sozialwissenschaften, 49–63.
- Shuell, T.J. (1986): *Cognitive Conceptions of Learning*. Review of Educational Research 4(56):411–436.
- Sirakaya, M.; Alsancak Sirakaya, D. (2020): *Augmented reality in STEM education: a systematic review*. Interactive Learning Environments 8(30):1556–1569.
- Sonnenberg, C.; vom Brocke, J. (2012): *Evaluation Patterns for Design Science Research Artefacts*. In: Helfert, M.; Donnellan, B. (Hrsg.): *Practical Aspects of Design Science*. Berlin, Heidelberg, Springer, 71–83.
- Sorko, S.R.; Brunnhöfer, M. (2019): *Potentials of Augmented Reality in Training*. Procedia Manufacturing (31):85–90.
- Thomas, O. (2006): *Das Referenzmodellverständnis in der Wirtschaftsinformatik*. Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik Heft 187(187):35.



- Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.) (2018): *Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung*. Berlin, Heidelberg, Springer Gabler.
- Tortorella, G.; Miorando, R.; Caiado, R.; Nascimento, D.; Portioli Staudacher, A. (2021): *The mediating effect of employees' involvement on the relationship between Industry 4.0 and operational performance improvement*. Total Quality Management and Business Excellence 1-2(32):119-133.
- Vahidov, R. (2006): *Design Researcher's IS Artifact: a Representational Framework*. Proceedings of the 1st International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology. 19-33.
- Veile, J.W.; Kiel, D.; Müller, J.M.; Voigt, K.I. (2020): *Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry*. Journal of Manufacturing Technology Management 5(31):977-997.
- Venkatesh, V.; Brown, S.A.; Bala, H. (2013): *Bridging the Qualitative-Quantitative Divide: Guidelines for Conducting Mixed Methods Research in Information Systems*. MIS Quarterly 1(37):21-54.
- Veres, M.M.; Veres, C.; Rauca, A.M.; Marian, L.O.; Sigmirean, A. (2021): *Research on Qualified Vocational Training Development in the Context of Digitalization*. 1(63).
- Vogel, J.; Koßmann, C.; Schuir, J.; Kleine, N.; Sievering, J. (2020): *Virtual- und Augmented-Reality-Definitionen im interdisziplinären Vergleich*. In: Thomas, O.; Ickerott, I. (Hrsg.): *Smart Glasses: Augmented Reality zur Unterstützung von Logistikdienstleistungen*. Berlin, Heidelberg, Springer, 19-50.
- Vogel, J.; Thomas, O. (2019): *Generating Smart Glasses-based Information Systems with BPMN4SGA: A BPMN Extension for Smart Glasses Applications*. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2019). S. 259-273.
- Vogel, J.; Thomas, O. (2020): *Low-Code-Plattformen zur Verbreitung von Wearable-Technologien*. In: Thomas, O.; Ickerott, I. (Hrsg.): *Smart Glasses*. Berlin, Heidelberg, Springer, 219-230.
- Webster, J.; Watson, R.T. (2002): *Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review*. MIS Quarterly 2(26):xiii-xxiii.
- Wilde, T.; Hess, T. (2006): *Methodenspektrum der Wirtschaftsinformatik: Überblick und Portfoliobildung*. Arbeitsbericht 2006/2: Institut für Wirtschaftsinformatik und Neue Medien der Ludwig-Maximilians-Universität München 2:1-14.
- Wilde, T.; Hess, T. (2007): *Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik*. Wirtschaftsinformatik 4(49):280-287.
- Wilke, C.B. (2020): *Demografischer Wandel in Deutschland - Hintergründe, Zukunftsszenarien und Arbeitsmarktpotenziale*. In: Rebeggiani, L.; Wilke, C.B.; Wohlmann, M. (Hrsg.): *Megatrends aus Sicht der Volkswirtschaftslehre*. Wiesbaden, Springer Gabler, 3-24.
- WKWI; GI FB WI (2011): *Profil der Wirtschaftsinformatik*. Zürich.
- Zhou, F.; Lin, X.; Liu, C.; Zhao, Y.; Xu, P.; Ren, L.; Xue, T.; Ren, L. (2019): *A survey of visualization for smart manufacturing*. Journal of Visualization 2(22):419-435.
- Zietsch, J.; Büth, L.; Juraschek, M.; Weinert, N.; Thiede, S.; Herrmann, C. (2019): *Identifying the potential of edge computing in factories through mixed reality*. Procedia CIRP (81):1095-1100.

## **Teil B – Einzelbeiträge**

## Beitrag 1: Freight Fleet Glasses – Augmented-Reality-Einsatz zur Unterstützung eines automatisierten und vernetzten Flottenmanagements

Titel	Freight Fleet Glasses – Augmented-Reality-Einsatz zur Unterstützung eines automatisierten und vernetzten Flottenmanagements
Autoren	Christoph Heinbach, <b>Tobias Dreesbach</b> , Oliver Thomas
Publikationsorgan	HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik
Ranking	WKWI: B / VHB: D
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Heinbach, C.; Dreesbach, T.; Thomas, O. (2023): Freight Fleet Glasses – Augmented Reality Einsatz zur Unterstützung eines automatisierten und vernetzten Flottenmanagements. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. Nr. 60, S. 89-109.
Zusammenfassung	The utilization of data is a prominent goal for the digital transformation of business models. Related research provides a variety of insights on methods that can be applied in order to gather information as well as managerial perspectives and single use cases that demonstrate the operationalization of such and guide readers through necessary transformative steps. However, with the advent of digitized products and services, goods are decreasingly conceived and marketed exclusively. Rather, they interact with other goods on an informational level and retrieve additional value from their systemic integration. We argue that the utilization of such "data-driven service systems" requires a holistic perspective that regards the complete "digital value chain" from the initial data retrieval to the execution of context-based services. This contribution presents a graph-based approach for the integration of event information in service activities in order to leverage the conceptual value. We pilot the transformation of a maintenance process in Manufacturing to evaluate our approach. It turned out that the exemplary process could be simplified from 8 to 4 actions that remained to be executed. Concluding, we discuss the business value and the general applicability of the approach for further use cases.
Identifikation	DOI: <a href="https://doi.org/10.1365/s40702-022-00937-x">https://doi.org/10.1365/s40702-022-00937-x</a>
Link	<a href="https://link.springer.com/article/10.1365/s40702-022-00937-x">https://link.springer.com/article/10.1365/s40702-022-00937-x</a>
Copyright	Creative Commons BY-SA 4.0 ( <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/">http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/</a> )

**Tab. 2.** Factsheet Beitrag 1

## Beitrag 2: AdEPT – Eine digitale Lern- und Lehr-Plattform in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung mit Augmented Reality

Titel	AdEPT – Eine digitale Lern- und Lehr-Plattform in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung mit Augmented Reality
Autoren	<b>Tobias Dreesbach</b> , Jannis Vogel, Matthias Berg, Henning Gössling, Tobias Walter, Oliver Thomas, Julia Knopf
Publikationsorgan	Handbuch E-Learning
Ranking	-
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Dreesbach, T.; Vogel, J.; Berg, M.; Gössling, H.; Walter, T.; Thomas, O.; Knopf, J. (2020): AdEPT - Eine digitale Lern- und Lehr-Plattform in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung mit Augmented Reality. In: Wilbers, K. (Hrsg.) Handbuch e-Learning. Wolters Kluwer, Köln, Nr. 86. Erg.-Lfg. August 2020, Abschnitt 5.36, S. 1-14.
Zusammenfassung	<p>Eine Anpassung der Lehre in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung an die voranschreitende Digitalisierung findet in Unternehmen unterschiedlich stark statt. Es ist notwendig, sowohl analoge als auch digitalisierte Prozesse vermitteln zu können. Gleichzeitig müssen auch methodische Kompetenzen gestärkt werden, denn betriebliche Situationen sollen von Auszubildenden denkend und handelnd bewältigt werden können. In diesem Beitrag wird ein Konzept vorgestellt, wie durch eine Augmented- Reality-basierte Plattform der Erwerb und die Weitergabe von Wissen in Unternehmen verbessert werden kann. Mittels der Plattform können Lerninhalte von Lehrenden eigenständig erstellt, aufbereitet und Auszubildenden zur Verfügung gestellt werden. Um den Vorteil von Augmented Reality für die Plattform aufzuzeigen, wird zunächst der aktuelle Stand von entsprechenden Endgeräten beschrieben und in die Entwicklung von immersiven Technologien eingeordnet. Anschließend wird diskutiert, welche didaktischen Gestaltungsmöglichkeiten für die Darstellung der Augmented-Reality-basierten Lerninhalte geeignet sind und wie sich diese innerhalb einer Plattform integrieren lassen. Abschließend wird anhand eines realen Anwendungsfalls die Prozessmodellierungssprache BPMN genutzt, um einen Lernprozess zu beschreiben und die Herausforderungen zu verdeutlichen, die sich bei der Modellierung von Aus- und Weiterbildungsszenarien ergeben.</p>
Identifikation	ISBN: 978-3-87156-298-3
Link	<a href="https://shop.wolterskluwer.de/wirtschaft/33298000-handbuch-e-learning.html">https://shop.wolterskluwer.de/wirtschaft/33298000-handbuch-e-learning.html</a>
Copyright	© Wolters Kluwer Deutschland GmbH

**Tab. 3.** Factsheet Beitrag 2

### Beitrag 3: Linking Augmented Reality with Peer Tutoring in Vocational Learning Environments: A Multi-Agent-based Approach

Titel	Linking Augmented Reality with Peer Tutoring in Vocational Learning Environments: A Multi-Agent-based Approach
Autoren	Henning Gössling, <b>Tobias Dreesbach</b> , Jannis Vogel, Enrico Kochon, Oliver Thomas
Publikationsorgan	European Conference on Information Systems (ECIS 2021)
Ranking	WKWI: A / VHB: B
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Gössling, H.; Dreesbach, T.; Vogel, J.; Kochon, E. (2021): Linking Augmented Reality with Peer Tutoring in Vocational Learning Environments: A Multi-Agent-based Approach. In: Proceedings of the 29th European Conference on Information Systems (ECIS 2021), Marrakech, Morocco, AISeL.
Zusammenfassung	During the elicitation of vocational training processes in a consortium research project, it became clear that augmented reality (AR) is a useful learning environment. However, using AR glasses may isolate trainees in training workshops and reduce the level of collaboration. In this study, we address these potential adverse side effects with peer tutoring. More exactly, we want to initiate tutor-tutee pairs among trainees during AR-based vocational training processes. We derive design features for a multi-agent-based approach to build tutor-tutee pairs based on concepts from the literature, a technical perspective, and the consortium within a design science research approach. To the best of our knowledge, we are the first to align AR with peer tutoring. With our first results, we provide a novel IT artifact in the realm of computer-supported collaborative learning in the information
Identifikation	<a href="https://aisel.aisnet.org/ecis2021_rip/21">https://aisel.aisnet.org/ecis2021_rip/21</a>
Link	<a href="https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1020&amp;context=ecis2021_rip">https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1020&amp;context=ecis2021_rip</a>
Copyright	"For all papers accepted at ECIS2021, authors retain copyrights." (Copyright-Vereinbarung der ECIS 2021-Website: <a href="https://ecis2021.ma/paper-submission">https://ecis2021.ma/paper-submission</a> )

**Tab. 4.** Factsheet Beitrag 3

## Beitrag 4: VR-Splines – Entwicklung eines Virtual-Reality-Prototyps für den Mathematikunterricht

Titel	VR-Splines – Entwicklung eines Virtual-Reality-Prototyps für den Mathematikunterricht
Autoren	Sergey Krutikov, Enrico Kochon, <b>Tobias Dreesbach</b> , Anne Jungfleisch, Oliver Thomas, Julia Knopf
Publikationsorgan	17. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2022)
Ranking	WKWI: A / VHB: C
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Krutikov, S.; Kochon, E.; Dreesbach, T.; Jungfleisch, A.; Thomas, O.; Knopf, J. (2022): VR-Splines – Entwicklung eines Virtual-Reality-Prototyps für den Mathematikunterricht. Wirtschaftsinformatik 2022 Proceedings, Nürnberg, Germany, 36.
Zusammenfassung	Der Mathematikunterricht in Schulen verlangt von Lernenden, sich in abstrakte Probleme einzuarbeiten. Die Motivation und der Lernerfolg werden jedoch häufig davon gehemmt, dass viele mathematische Probleme nur schwierig zu veranschaulichen sind. Virtual-Reality-Anwendungen bieten eine Möglichkeit, die Lerninhalte räumlich und interaktiv darzustellen – sie sind bisher jedoch nur für wenige Lerninhalte verfügbar. In diesem Beitrag stellen wir einen Virtual-Reality-Prototyp für den Mathematikunterricht vor, der das grundlegende Wissen über Splines nicht nur räumlich und interaktiv, sondern auch spielerisch vermittelt. Für die Implementierung werden didaktische Anforderungen und Anforderungen an die Gestaltung der Virtual-Reality-Lernumgebung aufgestellt.
Identifikation	<a href="https://aisel.aisnet.org/wi2022/prototype_track/prototype_track/36">https://aisel.aisnet.org/wi2022/prototype_track/prototype_track/36</a>
Link	<a href="https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1262&amp;context=wi2022">https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1262&amp;context=wi2022</a>
Copyright	Creative Commons BY-SA 4.0 ( <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/">http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/</a> )

**Tab. 5.** Factsheet Beitrag 4

## Beitrag 5: Impact and Limitations of AR-Based Guidance for Assembly Workers

Titel	Impact and Limitations of AR-Based Guidance for Assembly Workers
Autoren	<b>Tobias Dreesbach</b> , Arne Dethloff, Jan Heinrich Beinke, Fabian van Dülmen, Oliver Thomas
Publikationsorgan	IEEE Computer
Ranking	WKWI: B / VHB: C
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Dreesbach, T.; Dethloff, A.; Beinke, J. H.; van Dülmen, F.; Thomas, O.: Evaluation of Employee's Self-Learning and -Control Capabilities in Manual Assembly Processes using Augmented Reality Instructions. In: IEEE Computer.
Zusammenfassung	Using augmented reality (AR) glasses for manual assembly processes facilitates individualized and situated training scenarios. To assess the extent to which AR can displace traditional assembly instructions, we conducted a field study in a German manufacturing company, where we replaced the usual face-to-face training of an assembly process with an AR-guiding. We documented the errors made by the workers and whether they were able to perform the process until the end without any additional assistance. We found that 25 percent of the workers could not complete the assembly process without additional assistance and identified the types of errors that prevent workers from independently performing AR-based assembly processes.
Identifikation	DOI: 10.1109/MC.2023.3258744
Link	<a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/10286248">https://ieeexplore.ieee.org/document/10286248</a>
Copyright	© 2023 IEEE

**Tab. 6.** Factsheet Beitrag 5

## Beitrag 6: Metaverse als Business Chance – Perspektiven aus der Wirtschaftsinformatik

Titel	Metaverse als Business Chance – Perspektiven aus der Wirtschaftsinformatik
Autoren	<b>Tobias Dreesbach</b> , Sergey Krutikov, Jannis Vogel, Oliver Thomas
Publikationsorgan	Wirtschaftsinformatik & Management
Ranking	-
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Dreesbach, T.; Krutikov, S.; Vogel, J.; Thomas, O. (2023): Metaverse als Business Chance – Perspektiven aus der Wirtschaftsinformatik. In: Wirtschaftsinformatik & Management, 2023.
Zusammenfassung	Durch die Entstehung des Metaverse können im betrieblichen Bereich vollständig neue Arbeitswelten entstehen und die Zusammenarbeit von Mitarbeitenden sowie die Informationsbereitstellung verändern. Das Metaverse hat das Potenzial, sich als Innovation durch veränderte Prozesse, Produkte und Geschäftsmodelle in Unternehmen zu etablieren. Hierfür sind technische und wirtschaftliche Entwicklungen erforderlich, die dieser Beitrag aus der Perspektive der Wirtschaftsinformatik vorstellt. Die Entwicklungen verweisen auf aktuelle Trends bei der Entstehung des Metaverse, die derzeit einen geringen Reifegrad besitzen. Aus Sicht des Autorenteams ist das Festhalten an diesen Entwicklungen und deren zukünftige Adressierung bei der Entstehung des Metaverse entscheidend, damit das Metaverse eine echte Business Chance für Unternehmen wird.
Identifikation	DOI: <a href="https://doi.org/10.1365/s35764-023-00469-z">https://doi.org/10.1365/s35764-023-00469-z</a>
Link	<a href="https://link.springer.com/article/10.1365/s35764-023-00469-z">https://link.springer.com/article/10.1365/s35764-023-00469-z</a>
Copyright	Creative Commons BY-SA 4.0 ( <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/">http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/</a> )

**Tab. 7.** Factsheet Beitrag 6