

# Schlussbericht vom 31.10.2024

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 22458 N

## Thema

Entwicklung eines Leitfadens für den bedarfsgerechten Einsatz AR-basierter Assistenzsysteme in der Intralogistik

## Berichtszeitraum

01.05.2022 bis 30.04.2024

## Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

## Forschungseinrichtung(en)

Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH (BIBA) Hochschulring 20 28359 Bremen

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Inhalt

Zusammenfassung .....	3
1 Einleitung .....	4
1.1 Problemstellung .....	4
1.2 Wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse.....	4
1.3 Projektziele.....	5
2 Lösungsweg .....	7
3 Gegenüberstellung der durchgeführten Arbeiten und des Ergebnisses mit den Zielen .....	8
3.1 AP 1: Identifikation und Auswahl der Anwendungsfälle sowie Ermittlung der Anforderungen .....	8
3.2 AP 2: Identifikation und Auswahl der AR-Hardware, bildverarbeitender Verfahren und Interaktionsformen .....	13
3.3 AP 3: Ableitung repräsentativer Arbeitsaufgaben sowie Entwicklung und Einrichtung des Testaufbaus .....	14
3.4 AP 4: Entwicklung und Aufbau der AR-Assistenzsysteme .....	19
3.5 AP 5: Entwicklung, Durchführung und Auswertung von Nutzerstudien .....	32
3.6 AP 6: Entwicklung des interaktiven Leitfadens .....	37
3.7 AP 7: Projektmanagement.....	39
4 Verwendung der Zuwendung .....	40
5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	41
6 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse .....	42
7 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft .....	44
7.1 Durchgeführte Transfermaßnahmen.....	44
7.2 Geplante Transfermaßnahmen.....	46
7.3 Einschätzung der Realisierbarkeit dieses Transferkonzepts .....	47
8 Literaturangaben .....	49

## **Zusammenfassung**

Intelligente und interaktive Augmented Reality (AR)-basierte Assistenzsysteme weisen zur Unterstützung intralogistischer Arbeitsprozesse ein großes Potenzial auf. In der Praxis, insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), werden AR-Assistenzsysteme jedoch bislang nur vereinzelt eingesetzt.

Der Vielzahl möglicher Hardware- und Softwarekonfigurationen von AR-Assistenzsystemen sowie den mit dem Einsatz von Verfahren der künstlichen Intelligenz (KI) verbundenen Herausforderungen, stehen die jeweiligen Betriebs- und Prozess-Anforderungen gegenüber. Dies erschwert eine fundierte Entscheidung zur Ausgestaltung eines derartigen Systems von Entscheidungsträger\*innen eines Logistikunternehmens.

Im Zentrum des Forschungsvorhabens stand die Entwicklung eines interaktiven Leitfadens, welcher auf Grundlage der Ergebnisse einer Nutzerstudie Empfehlungen zur Ausgestaltung bedarfsgerechter und menschorientierter AR-Assistenzfunktionen für intralogistische Arbeitsprozesse gibt. Der Leitfaden soll dazu beitragen, intelligente AR-Assistenzsysteme zu gestalten und den Nutzen ihrer Anwendung im täglichen Arbeitsprozess für Entscheidungsträger\*innen einschätzbar zu machen. Für den Leitfaden wurden sowohl intralogistische als auch menschorientierte Kenngrößen berücksichtigt (z. B. Bearbeitungsdauern, Akzeptanz oder Gebrauchstauglichkeit).

Hierfür wurden intelligente AR-Assistenzfunktionen mit unterschiedlichem Unterstützungsgrad für repräsentative intralogistische Arbeitsaufgaben entwickelt und an einem Testaufbau mit Nutzer\*innen evaluiert. Die Assistenzfunktionen wurden auf mobilen AR-Endgeräten wie z. B. Tablets und Mixed-Reality-Brillen umgesetzt.

## **1 Einleitung**

### **1.1 Problemstellung**

Aufgrund der Vielzahl möglicher Hardwarekonfigurationen, den hiervon abhängigen Interaktionsformen oder der zahlreichen Möglichkeiten zur Implementierung digitaler und intelligenter Assistenzfunktionen, welche jeweils in einem engen Zusammenhang zu den Anforderungen des Arbeitsprozesses stehen, ist die fundierte Entscheidung zur Konzeption, Entwicklung und Einführung eines AR-Assistenzsystems unter Berücksichtigung aller relevanten Anforderungen (z. B. ausreichende Robustheit der AR-Hardware für die Anwendungsumgebung, Einhaltung der geltenden Richtlinien zum Arbeitsschutz, Steigerung der Arbeitseffizienz gegenüber dem aktuellen Arbeitsprozess) von Entscheidungsträger\*innen eines Logistikanwenders, insbesondere in KMU, nur schwer leistbar. Die Entscheidung erfordert neben der Kenntnis der Herausforderungen des Anwendungsfalls in hohem Maße IT-Kompetenzen und insbesondere Wissen im Bereich der AR-Technologie. Zur Konzeption und Gestaltung AR-basierter Assistenzsysteme stehen den Entscheidungsträger\*innen bisher nur wenige Guidelines und Richtlinien zur Verfügung, die keinen Bezug zu intralogistischen Arbeitsprozessen bieten. Dies ist in den neuen Herausforderungen durch die Kombination virtueller Inhalte und realer Umgebung gegenüber der Gestaltung klassischer Desktopanwendungen begründet [Vi 2019].

Durch die Bereitstellung des interaktiven Leitfadens werden entsprechende und fundierte Entscheidungen ermöglicht. So können die entstehenden Entwicklungsaufwände eingeschätzt und dem Nutzen der Anwendung im täglichen Arbeitsprozess gegenübergestellt werden. Ein Hauptaugenmerk liegt in der Berücksichtigung der Anforderungen der Nutzer\*innen in der Systementwicklung, da die Akzeptanz der Nutzer\*innen der entwickelten AR-Assistenzsysteme durch Faktoren wie z. B. der Erhöhung der Usability und User Experience oder der Berücksichtigung von ergonomischen Faktoren wesentlich verbessert werden kann [Dey 2018, Egger 2020]. Gleichzeitig werden durch die Berücksichtigung der Anforderungen der Unternehmen als Anwender der AR-Assistenzsysteme bedarfsgerechte AR-Assistenzsysteme hervorgebracht, die maßgeblich zur Steigerung der betrieblichen Leistung führen und somit die Wettbewerbsfähigkeit von KMU erhöhen. So konnte beispielsweise mittels eines AR-Assistenzsystems in Labor- und Feldstudien eine Reduzierung von Pickingfehlern bei der Kommissionierung von bis zu 40 bzw. 60 Prozent sowie eine Verkürzung der Bearbeitungszeit um 13 Prozent erreicht werden [Glockner 2014, Kim 2019].

### **1.2 Wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse**

Für KMU ermöglicht der interaktive Leitfaden eine informierte, hersteller- und entwicklerunabhängige Entscheidung auf Grundlage des aktuellen Stands der Technik möglich und bietet folgende wirtschaftliche Mehrwerte:

- Eine höhere Investitionssicherheit für KMU im Spannungsfeld einer teilweise fachfremden Problemstellung durch den Abgleich der spezifischen Anforderungen des Anwendungsfalls mit den Umsetzungs- und Gestaltungsmöglichkeiten eines AR-Assistenzsystems,
- Die Steigerung der betrieblichen Leistungsfähigkeit durch die Identifikation und Nutzung von Unterstützungspotenzialen mit der Einführung bedarfsgerechter AR-Assistenzfunktionen,

- Die Integration menschenorientierter Gestaltungsgrundsätze zur Erhöhung der Gebrauchstauglichkeit und Nutzerakzeptanz der AR-Assistenzsysteme bezüglich der Endnutzer\*innen und damit Erhöhung der Wahrscheinlichkeit einer dauerhaften Nutzung des entwickelten Systems im Arbeitsablauf,
- Die Reduzierung der Auswirkungen des Fachkräftemangels auf die Unternehmensprozesse aufgrund der bedarfsgerechten Gestaltung der AR-Assistenzsysteme und der Anpassung der Assistenzfunktionen auf das Qualifikationsniveau der jeweiligen Mitarbeiter\*innen sowie die gesteigerte Attraktivität des KMU durch den Einsatz neuer Technologie im Arbeitsalltag

Der Leitfaden trägt insgesamt dazu bei, dass KMU das große Potenzial der Arbeitsprozessunterstützung durch intelligente und interaktive AR-basierte Assistenzsysteme erschließen und die Arbeitsprozesse nach den individuellen Bedarfen effizienter gestalten können. Hierfür müssen eine schnelle Verfügbarkeit und Anpassbarkeit der Systeme gewährleistet sein, um den Anforderungen des dynamischen Umfelds in der Intralogistik gerecht zu werden.

### **1.3 Projektziele**

Im Rahmen des Projekts AR Improve sollen die Potenziale der AR-Technologie für die Intralogistik, ausgehend vom Stand der Technik, systematisch untersucht werden. Ziel war es, die jeweiligen AR-Assistenzsysteme bedarfsgerecht zu entwickeln und zu optimieren, sodass sie optimal auf die spezifischen Anforderungen intralogistischer Arbeitsprozesse von KMU abgestimmt sind.

Ein zentrales Anliegen war die bestmögliche Zuordnung der Anforderungen der Anwender\*innen zu den Gestaltungsmöglichkeiten von AR-Assistenzsystemen. Dabei sollten sowohl technische als auch menschliche Aspekte berücksichtigt werden. Dies schließt u. a. die Charakteristika der AR-Hardware und die Interaktion zwischen Nutzenden und System ein. Auf Grundlage der unternehmens-, nutzer- und technikbezogenen Anforderungen sollten bedarfsgerechte AR-Assistenzfunktionen abgeleitet werden, die eine intelligente und interaktive Unterstützung intralogistischer Arbeitsprozesse der Unternehmen bieten.

Die Ziele des Projekts umfassten die enge Abstimmung mit Unternehmen des PA, um die Gestaltungsoptionen optimal an die Anforderungen anzupassen. Hierfür wurde ein studien- und methodenbasiertes Vorgehen gewählt, um einen interaktiven Leitfaden zu entwickeln, der als fundierte Entscheidungsgrundlage über die Entwicklung und den Einsatz intelligenter AR-Assistenzfunktionen für prozessverantwortliche Entscheidungsträger\*innen dienen soll. Dieser Leitfaden soll dabei helfen, geeignete AR-Assistenzsysteme für die Intralogistik in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) auszuwählen und auszulegen. Die Entscheidungsunterstützung soll auf technologie-, prozess- und menschenzentrierten Bewertungskriterien basieren. Dazu zählen beispielsweise das mögliche Funktionsspektrum, das resultierende Unterstützungspotenzial, die Rechenleistung der verwendeten Hardware sowie der Grad der Nutzerakzeptanz des Assistenzsystems. Die Ableitung des Leitfadens erfolgt anhand der Erkenntnisse aus Nutzerstudien, die Rückschlüsse auf die Leistung und Eignung verschiedener Gestaltungsvarianten intelligenter AR-Assistenzsysteme ermöglichen.

Für die Nutzerstudien sollen unterschiedliche AR-Funktionalitäten anhand verschiedener, repräsentativer intralogistischer Arbeitsaufgaben und Nutzergruppen untersucht werden. Nutzer\*innen aus der Praxis sollen an einem Testaufbau diese repräsentativen Arbeitsaufgaben

unter Verwendung der im Rahmen des Projekts entwickelten AR-Assistenzsysteme durchführen. Die Ergebnisse der Nutzerstudie sollen eine Quantifizierung der jeweiligen Effekte ermöglichen, welche in die Entwicklung des Leitfadens einfließt.

## 2 Lösungsweg

Zur Erreichung der Zielsetzung werden verschiedene intelligente und interaktive AR-Assistenzsysteme zu Evaluationszwecken unter Verwendung unterschiedlicher AR-Gestaltungsoptionen (z. B. Variation der eingesetzten AR-Hardware und der Interaktionsformen, Einbeziehung bildverarbeitender Verfahren zur Entscheidungsunterstützung) für verschiedene intralogistische Arbeitsprozesse (z. B. Bauteilprüfung im Wareneingang oder Informationsanzeige in der Verpackung) entwickelt. Mittels eines Testaufbaus (siehe Abbildung 1), welcher verschiedene intralogistische Arbeitsprozesse repräsentativ abbildet, wird daraufhin eine umfangreiche Nutzerstudie durchgeführt. Hierbei führen Nutzer\*innen aus Anwender-KMU intralogistische Arbeitsaufgaben unter Verwendung der zuvor entwickelten AR-Assistenzsysteme durch. Ein geeigneter Versuchsplan ermöglicht dabei die Gegenüberstellung und den Vergleich verschiedener verwendeter AR-Gestaltungsoptionen oder entsprechender Kombinationen zur anschließenden Ableitung des Leitfadens. Dieser Testaufbau fungiert dabei gleichzeitig als Demonstrator der entwickelten intelligenten und interaktiven AR-Assistenzsysteme zur Förderung des Ergebnistransfers in die Wirtschaft (Bezeichnung im Folgenden stets als "Testaufbau").

Der Lösungsweg gliedert sich in die folgenden sechs Arbeitsschritte:

1. Identifikation und Auswahl der Anwendungsfälle sowie Ermittlung der Anforderungen
2. Identifikation und Auswahl der AR-Hardware, bildverarbeitender Verfahren sowie Interaktionsformen
3. Ableitung repräsentativer Arbeitsaufgaben sowie Entwicklung und Einrichtung des Testaufbaus
4. Entwicklung und Bereitstellung der AR-Assistenzsysteme
5. Entwicklung, Durchführung und Auswertung von Nutzerstudien
6. Entwicklung des interaktiven Leitfadens

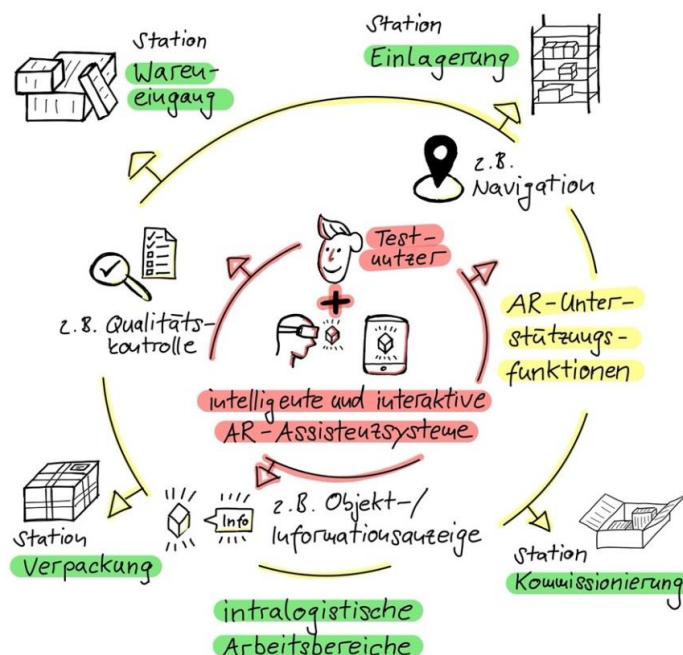


Abbildung 1: Projekt AR Improve - Testnutzer\*innen führen mittels intelligenten und interaktiven AR-Assistenzsystemen innerhalb intralogistischer Arbeitsprozesse Arbeitsaufgaben an einem Testaufbau durch; aus den Ergebnissen der Nutzerstudie wird ein Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung von KMU abgeleitet

### **3 Gegenüberstellung der durchgeführten Arbeiten und des Ergebnisses mit den Zielen**

#### **3.1 AP 1: Identifikation und Auswahl der Anwendungsfälle sowie Ermittlung der Anforderungen**

##### **Ziele**

Ziel dieses Arbeitspakets war es, mithilfe des projektbegleitenden Ausschusses (PA) geeignete intralogistische Use-Cases für die Nutzerstudie zu ermitteln und relevante Anforderungen an die AR-Assistenzfunktionen zu bestimmen. Diese sollten im Rahmen einer Fallstudie in den Unternehmen des PA ermittelt werden. In deren Verlauf sollten Informationen zu den intralogistischen Arbeitsprozessen, Potenzialen des Einsatzes von AR-basierten Entscheidungsassistenzsystemen sowie den damit verbundenen Herausforderungen gewonnen werden.

##### **Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde zunächst ein Interviewleitfaden entwickelt, um die Unternehmen des PA zu AR und KI zur Unterstützung intralogistischer Prozesse zu befragen. Dieser Leitfaden diente der Durchführung semi-strukturierter Interviews mit Mitgliedern des PA und zielt darauf ab, wertvolle Informationen über deren Vorerfahrungen mit diesen Technologien zu sammeln. Ein zentraler Schwerpunkt der Interviews liegt auf der Erfassung der Potenziale intelligenter AR-Assistenzsysteme innerhalb der Intralogistik. Das Projektteam wollte herausfinden, welche spezifischen Anforderungen an solche Systeme gestellt werden und welche Herausforderungen sowie Chancen mit ihrer Einführung verbunden sind. Insgesamt wurden 12 Interviews mit insgesamt 15 Teilnehmer\*innen durchgeführt sowie 5 Prozessbegehungen in den Unternehmen des PA. Diese praktischen Einblicke erlaubten es uns, die vorhandenen intralogistischen Prozesse zu beobachten und die Potenziale für den Einsatz von AR-Lösungen zur Prozessunterstützung zu erkennen und mit den Mitarbeitenden zu diskutieren. Die Ergebnisse dieser Interviews und Prozessanalysen wurden dokumentiert und eingehend analysiert. Daraus haben wir unternehmensübergreifende Use Cases abgeleitet, die als Grundlage für die Weiterentwicklung intelligenter AR-Assistenzsysteme in der Intralogistik dienen.

Die Fallstudie zur Datenerhebung wurde im Zeitraum von November 2022 bis Januar 2023 mit den Mitgliedern des PA durchgeführt. Das Vorgehen der Fallstudie folgte dem Protokoll für eine Fallstudie nach [Yin 2018]. Die erarbeitete Datengrundlage ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Auswertung der Transkriptionen erfolgte mit der qualitativen Inhaltsanalyse nach [Mayring 2015].



Tabelle 1: Erhobene Daten aus der Fallstudie in AR Improve

Datentyp	Datenmenge	Datenquelle	Ursprüngliche Zielgruppe der Daten
Transkribierte Interviews	12 Interviews, 130 Seiten Transkriptionen	Informanten aus 10 Unternehmen	Auswertung für diese Fallstudie, Grundlage für die Projektbearbeitung
Meeting-Protokolle	2 Meetings, ca. 70 Folien	17 Personen aus 11 Unternehmen	Auswertung für diese Fallstudie, Grundlage für die Projektbearbeitung
Observationen	Ca. 5 Stunden in 5 Unternehmen, jeweils 2-3 Seiten Notizen	Notizen der Durchführenden dieser Fallstudie zur Begehung der Produktions- und Logistikprozesse der Unternehmen	Auswertung für diese Fallstudie, Grundlage für die Projektbearbeitung
Unternehmens-Webseiten		Generelle Informationen zum Unternehmen	Kunden, Partner, interessierte Öffentlichkeit

Die Transkriptionen der im Rahmen der Fallstudie geführten Experteninterviews sowie die Protokolle der Prozessbegehungen wurden mit der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Die Kategorienbildung und -zuordnung erfolgte induktiv, um eine Aufdeckung neuer Erkenntnisse zu ermöglichen. Die Dokumente wurden hinsichtlich folgender Schwerpunkte analysiert:

- der Vorerfahrungen mit kognitiven Assistenzsystemen im Arbeitsprozess,
- der Anforderungen an intelligente AR-Assistenzsysteme,
- den mit der Entwicklung und Einführung verbundenen Herausforderungen sowie
- der mit dem Einsatz von KI und AR einhergehenden Chancen

Für jeden der genannten Schwerpunkte wurden die Ergebnisse der Analyse in vier Hauptkategorien zusammengefasst: Nutzer\*innen, Technologie, Arbeitsprozess und Implementierung/Systemeinführung.

### **Vorerfahrungen mit kognitiven Assistenzsystemen im Arbeitsprozess**

Für den Bereich der *Nutzer\*innen* nannten die Expert\*innen, dass der Nutzen und der Mehrwert des Systems für die Anwender\*innen gewährleistet sein müssen. Zudem ist es wichtig, die individuelle Motivation und den Grad der Freiwilligkeit der Systemnutzung zu berücksichtigen. Ein transparenter Umgang mit der Verarbeitung persönlicher Daten unter Einhaltung der Datenschutzrichtlinien ist eine Grundvoraussetzung für die Akzeptanz von kognitiven Assistenzsystemen.

Im Hinblick auf die *Technologie* ist das Vertrauen in eine KI-basierte Unterstützung stark von der Zuverlässigkeit der Systeme abhängig. Die Gewährleistung der Einhaltung aller relevanten Arbeitssicherheitsrichtlinien stellt eine Grundvoraussetzung dar. Durch die Systemgestaltung

sollten mögliche Fehler der Anwender\*innen bei der Bedienung auf ein Minimum beschränkt werden.

In Bezug auf den *Arbeitsprozess* soll die Prozesseffizienz durch die Kompetenzerweiterung der Mitarbeiter\*innen gesteigert werden. Für die Technologieauswahl muss der Arbeitsprozess zwingend Berücksichtigung finden.

Im Zusammenhang mit der *Implementierung/Systemeinführung* ist anzustreben, dass die Nutzer\*innen Möglichkeiten für ein geführtes oder ungeführtes Kennenlernen der Technologie haben. Eine schrittweise Einführung der Technologie und deren Funktionen fördert die Akzeptanz bei den Nutzer\*innen.

### **Anforderungen an intelligente AR-Assistenzsysteme im intralogistischen Arbeitskontext**

Die Anforderungen an die *Nutzer\*innen* umfassen die Gewährleistung des wahrgenommenen Nutzens, der durch das System für die Unterstützung des Arbeitsprozesses geschaffen wird. Zusätzlich soll ein Assistenzsystem einfach und intuitiv zu bedienen sein. Insbesondere im Zusammenhang mit dem Einsatz von Datenbrillen müssen physische Einflüsse durch das System auf die Nutzer\*innen vermieden werden.

Hinsichtlich der Technologien ist eine kurze Amortisationszeit anzustreben. Die Robustheit, insbesondere von KI-basierten Verfahren zur Arbeitsprozessunterstützung, muss sichergestellt sein. Die Arbeitsschutzrichtlinien sind ebenfalls einzuhalten.

In Bezug auf den Arbeitsprozess sollen die Systeme darauf ausgelegt sein, die Arbeitseffizienz zu steigern und gleichzeitig Erleichterungen durch deren Nutzung zu ermöglichen, wie z. B. eine Zusammenführung von Informationen in einem System oder die kontextsensitive Bereitstellung von Verpackungsanweisungen.

Als Anforderung für die Implementierung/Systemeinführung gilt, dass die Systemfunktionen erweiterbar sein sollen und der Einführungsaufwand möglichst gering gehalten wird.

### **Herausforderungen bei der Entwicklung und Einführung intelligenter AR-Assistenzsysteme**

Als Herausforderung mit Bezug auf die *Nutzer\*innen* sehen die Expert\*innen das Erwartungsmanagement. Die durch Prototypen und Demos geweckten Erwartungen an AR und KI müssen in geeigneter Weise in den Arbeitskontext überführt werden, dass für die Nutzer\*innen eine realistische Erwartungshaltung gegenüber der Technologie entsteht. Zudem bestehen aus Sicht der Expert\*innen höhere Herausforderungen an die Erreichung der Akzeptanz eines AR-Assistenzsystems gegenüber konventionellen IT-Systemen.

Auf *Technologieebene* sehen die Expert\*innen einen hohen Aufwand für die Datenerfassung und -pflege, um die Daten für AR und KI nutzbar zu machen. Die Entwicklungs- sowie Kostenaufwände werden im Vergleich zu anderen Lösungen ebenfalls höher eingeschätzt. Zudem stellt die Praxistauglichkeit der AR-Hardware eine Herausforderung dar, da z. B. die Smartglasses bisher als wenig ergonomisch

Im *Prozessbereich* werden zur Erreichung von Prozesseffizienz hohe Anforderungen an die Arbeitsgeschwindigkeit gestellt. Hieraus entsteht die Herausforderung den Arbeitsprozess durch das Assistenzsystem nicht zeitlich zu beeinflussen.

Für die Implementierung/Systemeinführung sehen die Expert\*innen den hohen Aufwand für die Integration von KI-Lösungen in die Unternehmens-IT als größte Herausforderung.

### **Chancen in Verbindung mit dem Einsatz von KI und AR**

Aus Sicht der Expert\*innen ergeben sich viele Chancen durch die Einführung intelligenter AR-Assistenzsysteme im intralogistischen Arbeitsprozess. Die *Nutzer\*innen* sind nach Einschätzung der Expert\*innen größtenteils offen neue Technologien zu akzeptieren. Insbesondere psychisch sowie physisch belastende Tätigkeiten können aus Sicht der Expert\*innen durch den Einsatz von KI unterstützt werden. Zudem wird die technische Unterstützung als Weg gesehen, den vorherrschenden Fachkräftemangel zu bekämpfen.

Aus *technologischer Sicht* kann KI aus Sicht der Expert\*innen als Prozesskontrolle agieren, was zu einer Erhöhung des Vertrauens in automatisierte Prozesse führt.

Durch die gemeinsame Betrachtung von *Arbeitsprozessen* und intelligenten Assistenzfunktionen kann eine Unterstützung bei der Fehlervermeidung und -feststellung erreicht werden.

Für die *Implementierung/Systemeinführung* sehen die Experten die größten Chancen durch die Realisierung von niedrighschwelligen Einstiegen in die neue Technologie und einer schrittweisen Erweiterung der Assistenzfunktionen.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse**

Um die Usability und Akzeptanz intelligenter AR-Assistenzsysteme zu gewährleisten und kognitive sowie physische Belastungen zu vermeiden, sollten die späteren Nutzer\*innen in den Entwicklungsprozess eingebunden werden. Die Herausforderungen beim Einsatz von AR-Technologien betreffen schwerpunktmäßig die Hardware, die Entwicklungskompetenz sowie die Datenaufbereitung für die Visualisierung. Für den Einsatz KI-basierter Assistenzfunktionen sind der Aufwand für die Datenpflege, die Robustheit der Systeme und die IT-Einbindung wesentliche Herausforderungen. Die größten Chancen liegen in der Offenheit für neue Technologien unter den Mitarbeitenden, der Unterstützung von mental und körperlich belastenden Aufgaben durch AR und KI sowie einer schrittweisen Einführung neuer Technologien, um eine Überforderung der Nutzer\*innen zu vermeiden.

### **Ermittlung und Auswahl der Anwendungsfälle**

Die Anwendungspotenziale für intelligente AR-Assistenzsysteme zeigen sich vor allem in den Bereichen Wareneingang, Qualitätssicherung, Kommissionierung und Verpackung (siehe Abbildung 2).

Für die Umsetzung von Assistenzfunktionen für intralogistische Prozesse wird von den Unternehmen ein großes Potenzial gesehen die Prüfung von Bauteilen teilweise im Wareneingang durchzuführen, um Fehlerfolgen in den nachfolgenden Prozessschritten zu reduzieren. Hier sollen insbesondere visuell erkennbare Fehler gefunden und für die weitere Prüfung aussortiert werden. Als Unterstützung müssen im Wareneingang Produktdaten bereitgestellt werden, die den Mitarbeitenden eine Prüfung des Bauteils ermöglichen. Für diese erste Bauteilprüfung wird ein großes Potenzial in der visuellen Unterstützung durch AR und der Fehlererkennung durch KI-basierte Bilderkennung gesehen.

Im Bereich der Kommissionierung sehen die Unternehmen großes Potenzial in der Unterstützung der Bestandoptimierung am Lagerplatz und der Feinnavigation zu einzelnen Lagerplätzen. Durch die visuelle Führung der Mitarbeitenden können Prozesseffizienz gesteigert und Lagerflächen

optimal genutzt werden. Die visuelle Darstellung mit Hilfe von AR ermöglicht eine visuelle Führung der Nutzer\*innen. Durch KI können Reihenfolgen in Abhängigkeit des Auftrags ideal geplant und somit eine Effizienzsteigerung erreicht werden. Durch die Nutzerführung in der Kommissionierung versprechen sich die Unternehmen des Weiteren niedrigere Fehlerquoten.

Für die Verpackung von Sendungen für den Versand sehen die Unternehmen gleich mehrere Potenziale. Diese reichen von der Auswahl einer geeigneten Versandverpackung, über die bedarfsgerechte Bereitstellung von Verpackungsanweisungen bis zur Einblendung von Packmustern zur idealen Nutzung und standardisierten Vorbereitung von Sendungen. Durch den Einsatz von AR können die benötigten Informationen dreidimensional dargestellt werden, was insbesondere für die Packmuster relevant ist. Die Unterstützung durch KI kann bei der Auswahl einer Versandverpackung anhand der Sendungsdaten und bei der Generierung eines optimierten Packmusters unterstützen.

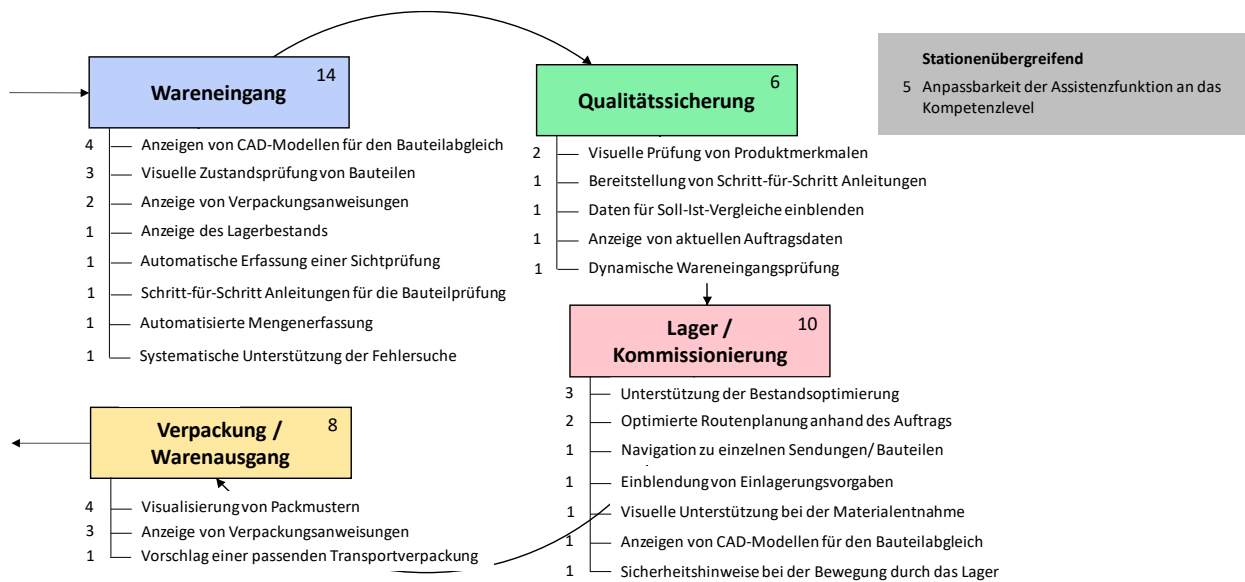


Abbildung 2: Einsatzpotenziale für AR-Assistenzsysteme aus Sicht der Unternehmen des PA

## Zielerreichung

Im Rahmen dieses APs haben wir auf Grundlage der Ergebnisse der Fallstudie eine Vorauswahl potenzieller Anwendungsfälle für den Einsatz von AR in intralogistischen Prozessen getroffen. Zu den vielversprechenden Anwendungsfällen gehören die Unterstützung bei der Wareneingangskontrolle, die Hilfestellung im Rahmen der Kommissionierung sowie das Bereitstellen von Verpackungsanweisungen für die Vorbereitung von Sendungen für den Versand. Diese Anwendungsfälle bieten aus Sicht der Expert\*innen des PA die größten Potenziale zur Effizienzsteigerung und zur Verbesserung der Arbeitsabläufe. Um sicherzustellen, dass die gewählten Anwendungsfälle den tatsächlichen Bedürfnissen und Anforderungen der Benutzer\*innen entsprechen, wurden die geplanten AR-Assistenzfunktionen in der nächsten Sitzung des PA final mit den Mitgliedern abgestimmt. Die Ziele des Arbeitspakets wurden hiermit vollständig erreicht.

### 3.2 AP 2: Identifikation und Auswahl der AR-Hardware, bildverarbeitender Verfahren und Interaktionsformen

#### Ziele

In diesem Arbeitspaket sollten auf Basis einer Marktanalyse geeignete AR-Hardwarekategorien (z. B. Smartphone, Tablets, Datenbrillen, etc.) identifiziert und gemeinsam mit dem PA bewertet und ausgewählt werden. Darüber hinaus sollte eine Recherche geeigneter bildverarbeitender Verfahren für den mobilen Einsatz auf der AR-Hardware erfolgen sowie eine Analyse geeigneter Interaktionsformen bei der Bedienung der AR-Assistenzsysteme.

#### Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In diesem AP haben wir eine umfassende Marktanalyse verfügbarer AR-Hardware durchgeführt. Diese Analyse umfasste eine detaillierte Aufteilung nach verschiedenen Gerätetypen, darunter Handhelds (für Android und iOS), monokulare Smartglasses und binokulare Smartglasses. Nachfolgende Abbildungen zeigen Auszüge der Ergebnisse der Marktanalyse am Beispiel der Microsoft HoloLens 2 sowie der Vuzix M400 als Vertreter der Kategorie „Smartglasses“:

#### HoloLens 2

**Daten**

- Preis: 3849€
- Gewicht: 566g
- Sensoren
  - Bilder- & Videoaufnahme
  - Tiefenbilder
  - Mikrofon
- Steuerung:
  - Gesten
  - Stimme
- Betriebssystem: Windows Holographic
- Programmierung: C Api; Unity / Unreal Engine
- Hohe Rechenleistung



HoloLens 2: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/buy>

#### Vuzix M400

**Daten**

- Preis: ca. 2800€
- Gewicht: 68g für den Viewer
- Sensoren:
  - Bilder- & Videoaufnahme
  - Mikrofon
- Steuerung:
  - Touch
  - Stimme
- Betriebssystem: Android 9.0 OS
- Programmierung: Kotlin; Java
- Gute Rechenleistung



Vuzix M400  
<https://www.vuzix.com/products/m400-smart-glasses>

Abbildung 3: Auszüge der Marktanalyse zu verfügbarer AR-Hardware (Datenbrillen)

Darüber hinaus haben wir geeignete Entwicklungsumgebungen und Frameworks ausgewählt, um eine möglichst plattformübergreifende Entwicklung zu gewährleisten. Ein weiterer Schwerpunkt

unserer Arbeit lag auf der Analyse und Auswahl relevanter KI-Methoden sowie der Recherche neuer und aktueller Verfahren, die für den mobilen Einsatz geeignet sind. In diesem Zusammenhang haben wir uns intensiv mit der Entwicklung für relevante AR-Hardware auseinandergesetzt und erste Tests durchgeführt. Die Hardwareentscheidung für die Umsetzung der AR-Assistenzfunktionen auf dem Teststand fiel in Abstimmung mit dem PA auf ein Tablet (Samsung Galaxy Tab S9) und eine binokulare Datenbrille (Microsoft HoloLens 2). Die ausgewählten Hardwarelösungen sollen für die jeweiligen Teilaufgaben als alternative Optionen genutzt werden. In der in AP 5 geplanten Nutzerstudie sollen die Hardwarevarianten von den Nutzer\*innen hinsichtlich ihrer Eignung für den Arbeitsprozess getestet werden.

Die Nutzung der Game Engine Unity ermöglicht uns eine plattformunabhängige Entwicklung. Mit ersten Minimalprototypen wurden die Möglichkeiten der Einbindung von KI-Methoden in die Unity-Engine getestet. Da eine direkte Einbindung von KI-Algorithmen in Unity, z. B. über die Barracuda Bibliothek, diverse Kompatibilitätsprobleme aufwies, wurde stattdessen eine indirekte Einbindung über eine serverbasierte Lösung mit Python-Backend realisiert. Darüber hinaus haben wir verschiedene KI-Verfahren ausgewählt, wie z. B. YOLOv8, und diese auf den ausgewählten AR-Endgeräten getestet. Zudem haben wir die Darstellung von 3D-Modellen auf den AR-Geräten evaluiert, um deren Funktionalität und Benutzererfahrung zu optimieren.

Die Interaktion zwischen Nutzer\*innen und dem System erfolgt auf Basis der ausgewählten AR-Hardware und hängt vom jeweiligen Arbeitsschritt ab. Für Logistikprozesse ist, aufgrund der hohen Effizianzforderungen, eine klare, einfache und eindeutige Nutzerführung entscheidend. Dennoch ist die optionale Bereitstellung von zusätzlichen Informationen an verschiedenen Stellen des Arbeitsprozesses von zentraler Bedeutung, insbesondere im Rahmen der Wareneingangskontrolle, um eine effiziente Bearbeitung sicherzustellen.

Aus diesen Gründen strebten wir eine Kombination aus Sprachsteuerung für Standardoperationen und einfacher Touch-Bedienung (Tablet) bzw. Bedienung per Handgestensteuerung (HoloLens 2) für den optionalen Abruf von Zusatzinformationen zu den jeweiligen Prozessschritten an. Die Benutzeroberfläche sollte so gestaltet werden, dass sie die effiziente Bearbeitung des jeweiligen Arbeitsprozesses unterstützt und optimiert.

### **Zielerreichung**

Die Ziele des AP 2 konnten mittels der geschilderten Vorgehensweise vollständig erreicht werden. So wurde die AR-Hardware und die damit verbundene Nutzerinteraktion als Basis für die weitere Entwicklung der Assistenzsysteme sowie die zu verwendenden bildverarbeitenden Verfahren ausgewählt.

## **3.3 AP 3: Ableitung repräsentativer Arbeitsaufgaben sowie Entwicklung und Einrichtung des Testaufbaus**

### **Ziele**

Anhand der Ergebnisse aus AP1 und AP2 werden in diesem Arbeitspaket konkrete, repräsentative Arbeitsaufgaben für die Nutzerstudie abgeleitet. Die Arbeitsaufgaben setzen sich aus Elementaraufgaben aus der Intralogistik wie z. B. die Navigation von Mitarbeitenden zu Lagerplätzen zusammen. Zudem werden für jede Elementaraufgabe auch geeignete AR-Unterstützungsfunktionen bestimmt. Schließlich erfolgt im Arbeitspaket der Aufbau des

Teststands, anhand dessen die Arbeitsaufgaben und die Nutzerstudie physisch durchgeführt werden sollen.

### **Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Im Rahmen dieses AP wurden verschiedene AR-Assistenzfunktionen für spezifische Anwendungsfälle entwickelt (siehe AP 2). Diese Anwendungsfälle umfassten die Qualitätsprüfung im Wareneingang, die Unterstützung der Kommissionierung und des Verpackungsprozesses. Für jeden dieser Anwendungsfälle wurden Elementaraufgaben abgeleitet.

Für den **Wareneingang** wird die Fehlererkennung unterstützt, die den Mitarbeitenden als Entscheidungshilfe für die Beurteilung der Bauteile dient. Hierbei werden die Artikel in drei Kategorien eingeteilt: falsche Artikel (ein fehlerfreies Bauteil, welches nicht Teil der Lieferung ist), defekte Artikel (Bauteile mit visuell erkennbaren Fehlern) und korrekte Artikel. Im Bereich der **Kommissionierung** wird mittels visueller Hervorhebung von Lagerplätzen unterstützt, um sowohl die Fehleranzahl zu reduzieren als auch die Suchzeiten für die Mitarbeitenden zu verkürzen. Die optimierte Reihenfolge für die Entnahme der einzelnen Packstücke wird systemseitig vorgegeben. Der **Verpackungsprozess** wird durch die Einblendung prozessbegleitender Informationen und virtueller Packmuster in die Arbeitsumgebung unterstützt. Die Assistenzfunktionen in der Verpackung sollen die Mitarbeitenden bei Entscheidungen über die Wahl der Versandverpackung, der Einhaltung von Verpackungsanweisungen und der Positionierung von Waren in der Versandverpackung unterstützen.

Für jeden der genannten Anwendungsfälle werden die Assistenzfunktionen auf zwei unterschiedlichen Hardwaretypen, einer AR-Brille und einem Tablet, umgesetzt. Zudem erfolgt eine Realisierung in unterschiedlichen Unterstützungsvarianten. Anhand eines Testaufbaus werden die verschiedenen Varianten der Assistenzfunktionen getestet. Parallel zur Konzeption und des Aufbaus des Testaufbaus wurden Prozessmodelle und Mockups erstellt, die als Grundlage für die Softwareentwicklung dienen.

In Abbildung 4 ist zunächst ein Ausschnitt eines Prozessmodells in BPMN 2.0 für die Verpackung dargestellt, welches den Ablauf der Nutzerinteraktionen mit dem Assistenzsystem und erste Mockups der Benutzungsoberfläche zeigt. Diese Art von Prozessmodellen wurde für alle drei Teilsysteme ausgearbeitet.

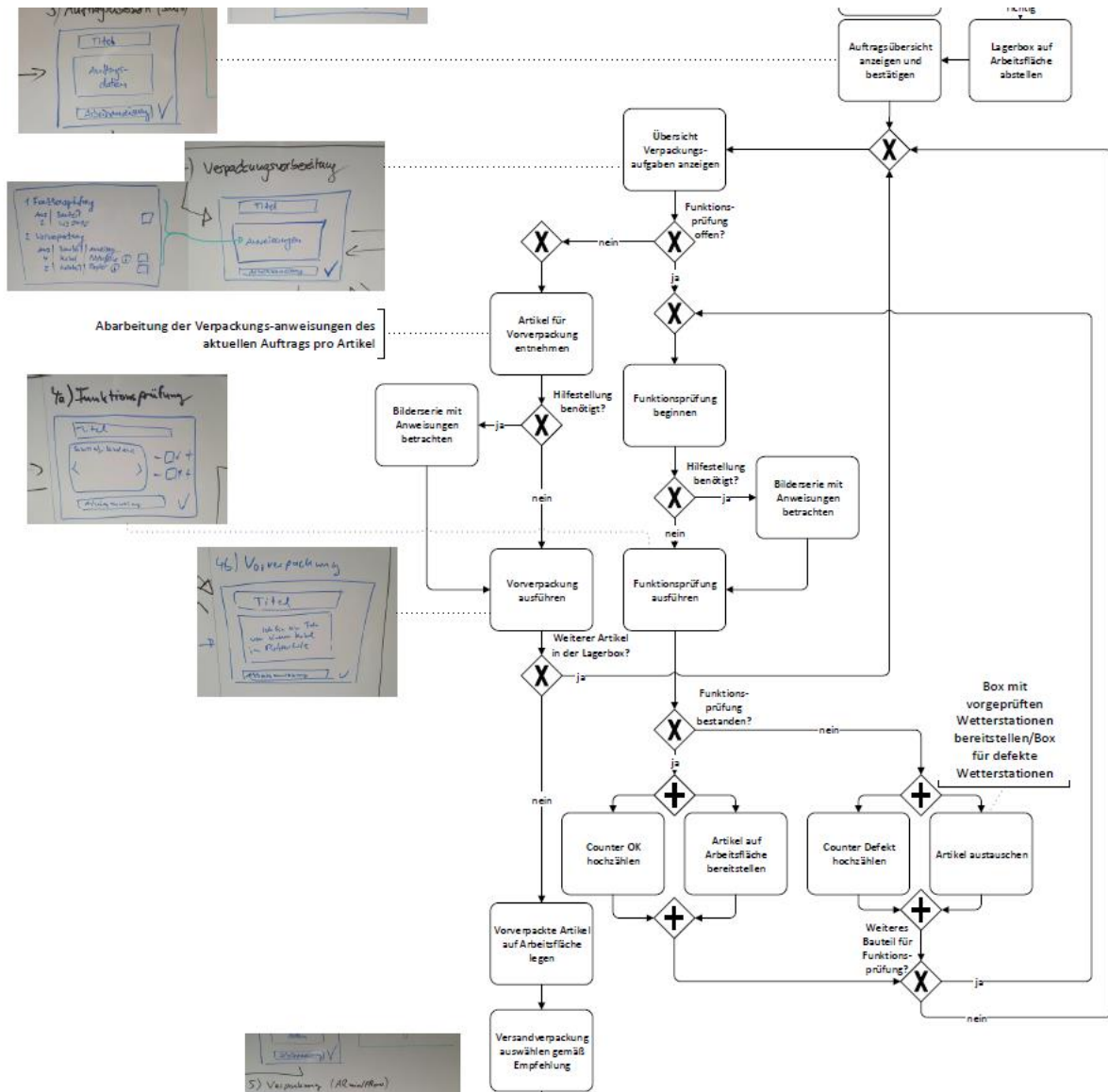


Abbildung 4: Ausschnitt des Prozessmodells für die Verpackung

Für den Testaufbau wurden drei Arbeitsstationen, entsprechend der ausgewählten Anwendungsfälle – Wareneingang, Kommissionierung und Verpackung – konzipiert. Dabei wurde die Nachbildung eines realitätsnahen intralogistischen Arbeitsumfeldes angestrebt. Dies konnte durch die Orientierung an den in den Unternehmen des PA beobachteten Arbeitsprozessen erreicht werden. Die logistischen Teilaufgaben werden an einem einheitlichen (fiktiven) Produkt – einer Wetterstation, ihrer Varianten und Zubehörteile – bearbeitet. Zunächst wird die Wetterstation in Einzelteilen im Wareneingang angeliefert und einer Qualitätsprüfung unterzogen. Anschließend erfolgt in der Kommissionierung die Entnahme der montierten, funktionsfähigen Wetterstation und Zubehörteile aus einem Regal. Zum Schluss werden die Produkte in der Verpackung für den Versand vorbereitet. Dieser Testaufbau wurde im Juni 2023 in einer Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses den Expert\*innen vorgestellt und diskutiert. Abbildung 5 zeigt die geplanten Arbeitsstationen und die Anordnung des zugehörigen Arbeitsmaterials an der jeweiligen Station.



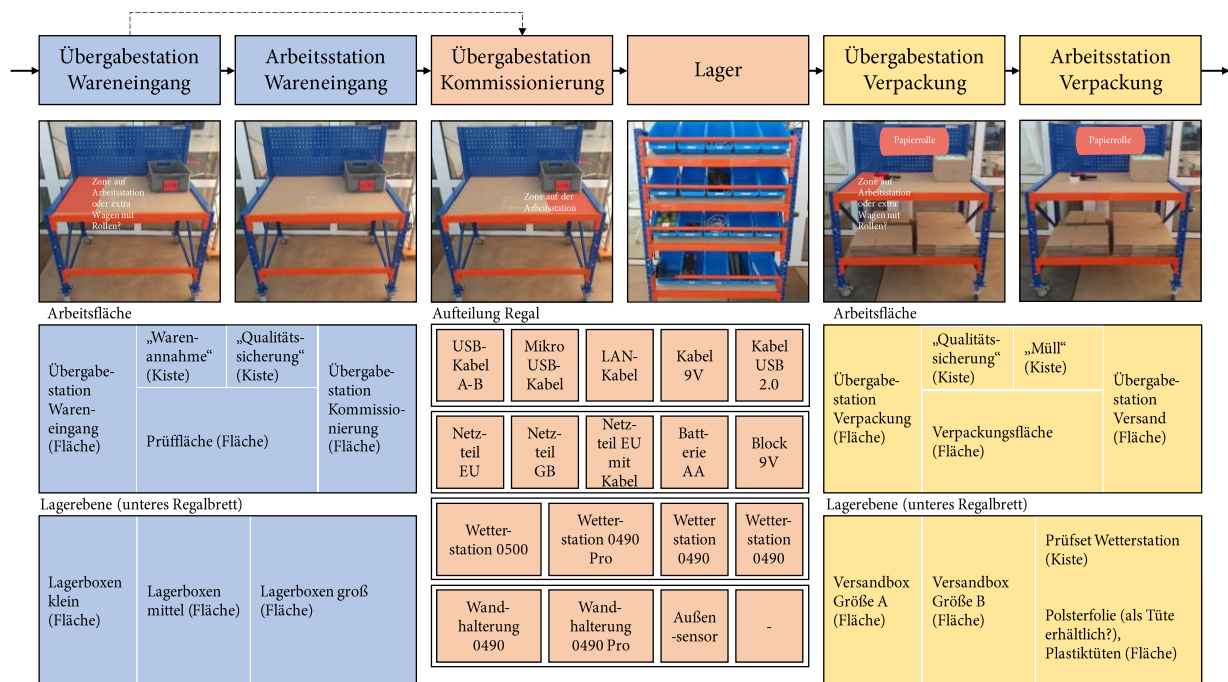


Abbildung 5: Konzeption des Testaufbaus für Wareneingang, Kommissionierung und Verpackung



Abbildung 6: Systemtests am Testaufbau mit einer frühen Version des Assistenzsystems

In der anschließenden Umsetzung des Testaufbaus wurden die Arbeitsstationen mit den einzelnen Bauteilen und funktionsfähigen Wetterstationen ausgestattet. Dazu gehörten die Herstellung von Bauteilen mittels 3D-Druck und Lasercutting sowie die Beschaffung von Verpackungsmaterialien für den Teststand. Darüber hinaus wurden spezifische Auftragsdaten für den Wareneingang generiert, die die Festlegung der Bauteile, die Anzahl sowie die Art der Fehler umfassten. Für die Kommissionierung wurden die Lagerflächen belegt und ein Kommissionier-Regal vorbereitet, während in der Verpackung Packmuster für die jeweiligen Aufträge erstellt und die Arbeitsstation entsprechend ausgestattet wurde. Der Testaufbau wurde kontinuierlich angepasst und optimiert parallel zur iterativen Weiterentwicklung des Assistenzsystems. In Abbildung 6 zeigt beispielhaft einen Systemtest am Testaufbau mit einer frühen Version des Assistenzsystems.

Für die (Weiter-)Entwicklung der Benutzungsoberflächen haben wir auf Grundlage der Arbeitsprozesse des Testaufbaus sowie der Prozessmodelle einen Klickprototypen in Figma<sup>1</sup> angefertigt. Abbildung 7 zeigt einen Ausschnitt dieses Klickprototypen für den Wareneingang. Für die Kommissionierung wurden entsprechende Klickprototypen entwickelt. Die Klickprototypen dienen als Vorlage für die nachfolgende Entwicklung der verschiedenen Varianten des Assistenzsystems in AP 4.

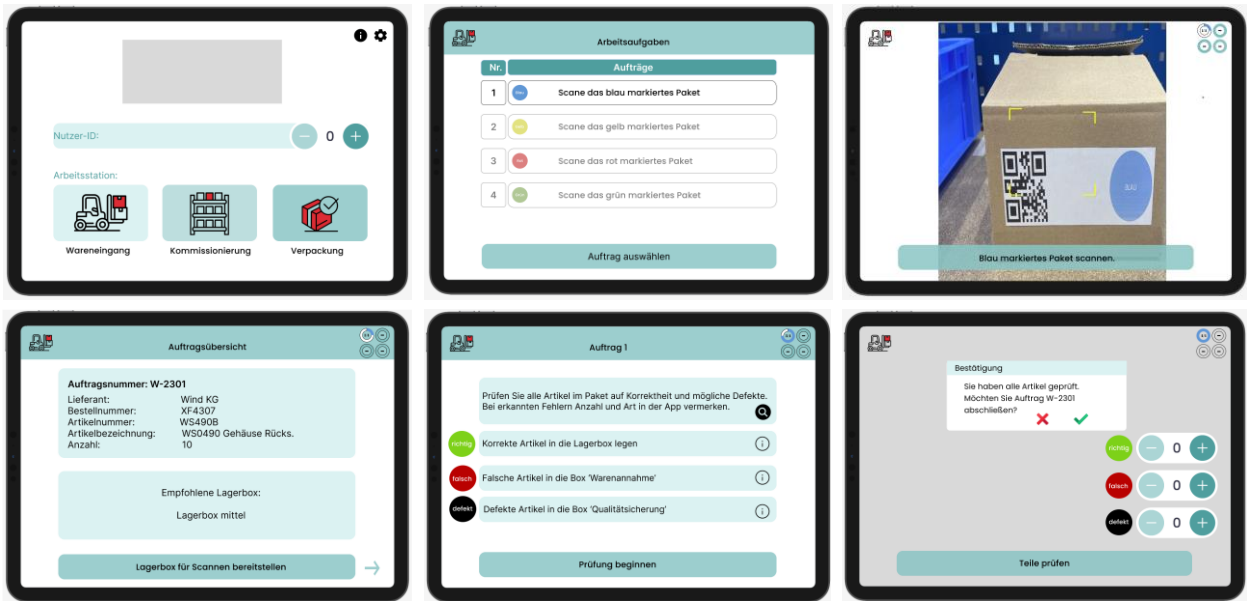


Abbildung 7: Auszug aus dem Klickprototypen in Figma für den Wareneingang

## Zielerreichung

Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Schritte zur Entwicklung und Implementierung von AR-Assistenzfunktionen unternommen. Zunächst erfolgte die Ableitung von AR-Assistenzfunktionen, bei der Elementaraufgaben für die wichtigsten Funktionen identifiziert wurden. Diese Funktionen basieren auf den Rückmeldungen der Unternehmen im PA, die in den Fallstudien und Sitzungen des PA geäußert wurden. Die abgeleiteten Assistenzfunktionen stimmen demnach mit den Projektzielen einer bedarfsgerechten intelligenten AR-Unterstützung intralogistischer Arbeitsprozesse überein.

Daraufhin wurde die Konzeption des Testaufbaus erstellt. Hierbei wurde ein realitätsnahes intralogistisches Arbeitsumfeld konzipiert und umgesetzt. Der Testaufbau ermöglicht die geplanten Nutzerstudien in AP 5. Der Testaufbau verfolgt den Ansatz den Nutzenden die Durchführung intralogistischer Arbeitsprozesse an einem Beispiel-Produkt zu demonstrieren. Vollständige Arbeitsabläufe für Wareneingang, Kommissionierung und Verpackung stellen die Immersion der Nutzenden in der Arbeitssituation sicher. Die Orientierung an den realen Arbeitsprozessen der KMU, ermöglicht den Nutzenden die AR-Assistenzfunktionen in einem praxisnahen Kontext zu erleben. Die Ziele des AP konnten somit vollständig erreicht werden.

<sup>1</sup> <https://www.figma.com/de-de/design/>

### **3.4 AP 4: Entwicklung und Aufbau der AR-Assistenzsysteme**

#### **Ziele**

In diesem Arbeitspaket erfolgt die konkrete, iterative Umsetzung der Teilsysteme des Assistenzsystems für die ausgewählte AR-Hardware unter Berücksichtigung aller ermittelten Anforderungen sowie relevanten Normen.

#### **Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Abgeleitet aus den Ergebnissen von AP2 und AP3 sind für jeweils ein Tablet (SAMSUNG Galaxy Tab S9) und eine binokulare Datenbrille (Microsoft HoloLens 2) drei verschiedene Teilsysteme (Wareneingang, Kommissionierung und Verpackung) entwickelt worden, wobei auf dem Tablet zwei verschiedene Varianten (Variante 1 und 2) und auf der Datenbrille eine Variante (Variante 3) umgesetzt wurden. Das ergibt insgesamt neun zu implementierende Varianten (auf dem Tablet 2 Varianten, auf der Datenbrille jeweils 1 Variante für jedes der 3 Teilsysteme).

#### **Auswahl der Entwicklungsumgebung**

Da die Dimensionierung der Entwicklungsaufgaben recht umfangreich und ambitioniert waren, wurde von Beginn an eine pragmatische Herangehensweise verfolgt. Hierzu gehörte, für die Entwicklung eine möglichst einheitliche und einfach zu nutzende Entwicklungsumgebung zu nutzen. Für die HoloLens wird vom Gerätehersteller das Framework Unity<sup>2</sup> als Entwicklungsframework empfohlen. Daher wurde auch für die Entwicklung der Tablet-App Unity genutzt, auch wenn es hier andere Optionen wie beispielsweise Android Studio von Google gegeben hätte. Leider war es nicht möglich, für beide Geräte dieselbe Unity-Version zu nutzen: Die HoloLens unterstützt hauptsächlich Unity Version 2021.3 und hat Probleme mit neueren Versionen, während beim Tablet bestimmte Kamera-Optimierungen erst ab Version 2022.1 verfügbar sind. Daher mussten für die Entwicklung zwei verschiedene Unity-Projekte mit verschiedenen Editor-Versionen angelegt werden.

Auch unabhängig von den Unity Editor Versionen gab es Unterschiede bei den Bibliotheken, die für das jeweilige Gerät zu nutzen sind: So war für die angemessene Visualisierung von Buttons auf der HoloLens die Nutzung der Klasse „Interactable“ aus der MRTK-Bibliothek<sup>3</sup> (Mixed Reality Toolkit) sinnvoll, während auf dem Tablet die „Button“-Klasse von der Unity UI Bibliothek die geeignetere Wahl ist. Hierdurch ergibt sich, dass selbst bei der Nutzung einer gemeinsamen Editor-Version es deutliche Unterschiede im Quellcode gegeben hätte.

Trotz der Unterschiede gab es auch sehr viele Gemeinsamkeiten zwischen den beiden Projekten. Das gesamte Backend war identisch, und viele Teile des Front-Ends teilten auch Gemeinsamkeiten, weswegen eine Synchronisierung beider Projekte notwendig war.

Aus pragmatischen Gründen wurde hier ein manueller Workflow genutzt: Sobald an einem der beiden Projekte Änderungen vorgenommen wurden, wurden im Anschluss stets folgende Schritte durchgeführt:

- Push des aktuellen Stands in die self-hosted Gitlab<sup>4</sup> des Instituts für die Versionierung

---

<sup>2</sup> <https://unity.com/>

<sup>3</sup> <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk2/>

<sup>4</sup> <https://about.gitlab.com/>

- Temporäre Notierung der veränderten Dateien
- Für jede veränderte Datei, die einen Gegenpart im anderen Projekt hat:
  - Öffnen dieser Datei für beide Projekte in WinMerge<sup>5</sup> (Tool für Darstellung von Unterschieden zwischen zwei Text-Dateien und Zusammenführung dieser Unterschiede)
  - Manueller Abgleich und ggf. Übertragung der Änderungen in die andere Datei

Dieser Workflow stellte sicher, dass beide Projekte stets aktuell waren.

### ***Entwicklung übergreifender Elemente***

Eine Reihe von Entwicklungen waren für alle Varianten der Software relevant, unabhängig vom Teilsystem und der Hardware. Diese werden im Folgenden vorgestellt:

#### *QR-Code Erkennung*

In der Intralogistik werden Aufträge und Pakete meist über laserbasierte Barcodescanner identifiziert. Da die Anbindung eines externen Barcodescanners im Rahmen der Nutzerstudie zu erhöhtem Mehraufwand führen würde, wurde sich früh für eine kamerabasierte QR-Code-Erkennung für die Erfassung von Aufträgen und Paketen entschieden.

Für die Implementierung wurde die Open Source Bibliothek ZXing<sup>6</sup> genutzt. Da Unity C# / .NET nutzt, wurde ein .NET Port der Bibliothek als Managed DLL verwendet. Dieses Vorgehen hat zwei entscheidende Vorteile: Erstens kann derselbe Algorithmus für die QR-Code-Erkennung auf beiden Geräten (Tablet, Datenbrille) genutzt werden, was die Notwendigkeit einer Gerätespezifischen Implementierung verringert. Zweitens vereinfacht es das Debugging, da dieselben Probleme und/oder Performance-Optimierungen am Algorithmus (z. B. durch Anpassung der Parameter der Bibliothek) stets beide Geräte betreffen.

Eine spürbare Steigerung der Erkennungsperformance ließ sich durch die Nutzung von Alignment-Markern / Tracking Boxes (siehe Abbildung 8) erzielen. Diese optionalen Elemente im QR-Code helfen den Erkennungsalgorithmen, die Ausrichtung des QR-Codes zu bestimmen. Hierdurch konnte die durchschnittliche Zeit für die Erkennung eines QR-Codes merklich gesenkt werden.

---

<sup>5</sup> <https://winmerge.org/>

<sup>6</sup> <https://github.com/zxing/zxing>

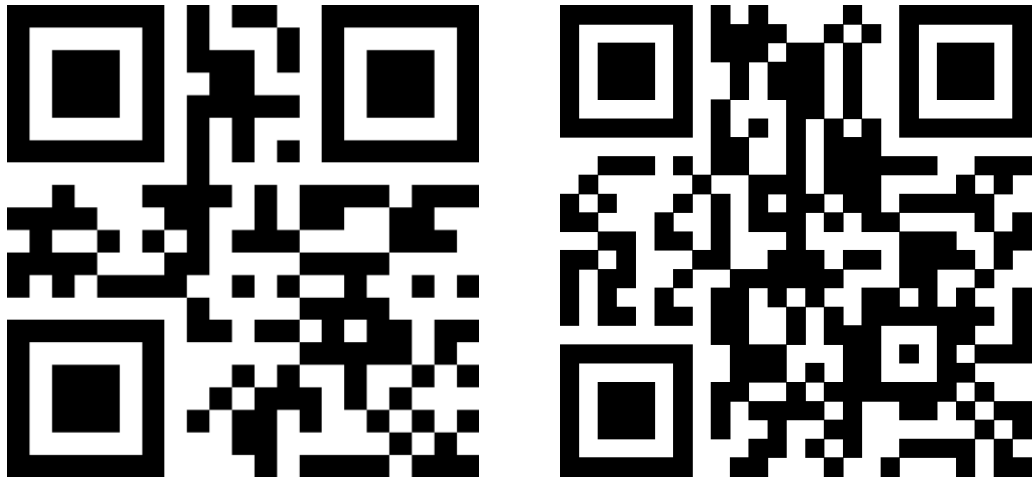


Abbildung 8: QR-Code ohne Alignment-Marker (links) und QR-Code mit Alignment-Marker (rechts). Der Alignment-Marker ist rechts unten zu sehen.

### *Finite State Machine*

Die Nutzerstudie besteht aus drei Teilsystemen mit jeweils drei Varianten, welche jeweils in weitere Unterschritte aufgeteilt sind. Viele der Unterschritte sind für jede Konfiguration gleich, z. B. ein Schritt zum Anzeigen des aktuellen Auftrags oder ein Schritt zur Aufforderung zum Einscannen eines QR-Codes. Darüber hinaus kann nur ein einziger Unterschritt zur gleichen Zeit stattfinden, sprich, die Unterschritte können als Zustände (*engl. „states“*) angesehen werden, zwischen denen bei einer Arbeitsaufgabe hin- und her geschaltet wird.

Daher war es sinnvoll, eine übergeordnete State Machine für das Anlegen der Unterschritte zu definieren. Dies ermöglichte eine einfachere Strukturierung des Ablaufs. Die einzelnen Zustände werden als Klassen angelegt, deren Instanzen in einer Instanz der State Machine Klasse eingetragen werden und dann durch die Unterschritte koordiniert. Dies erlaubt einen modularen Aufbau des Arbeitsablaufs und auch die einfache Implementierung von Szenarien-übergreifenden Unterschritten.

### *Startmenü und das Speichern von Einstellungen*

Vom Startmenü aus wird das Starten der einzelnen Teilsysteme ermöglicht und erlaubt auch Zugriff auf die Einstellungen der Apps. Das Startmenü wurde, insbesondere hinsichtlich der Backend-Funktionen, für beide Geräte möglichst ähnlich implementiert, doch bedingt durch die unterschiedlichen Anzeige-Möglichkeiten der Geräte unterscheidet sich das Erscheinungsbild teilweise zwischen beiden Geräten, wie auf Abbildung 9 zu sehen ist.

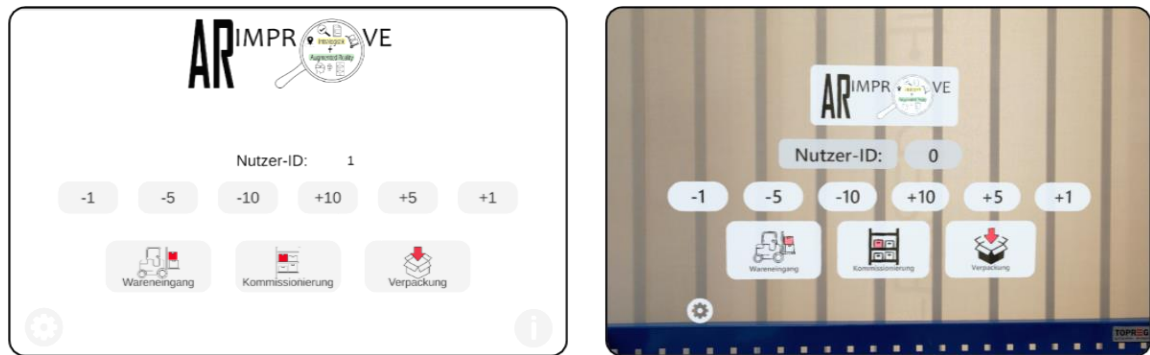


Abbildung 9: Startmenü der Tablet-App (links) und auf der Datenbrille (rechts).

Das Startmenü erlaubt eine schnelle, tastaturfreie Eingabe der Nutzer-ID für die Nutzerstudie sowohl das Starten der Teilsysteme. Links unten kann über ein Icon das Einstellungsmenü aufgerufen werden, welches es erlaubt, bestimmte Informationen permanent zu speichern, wie die IP-Adresse des Python-Servers (wird im nächsten Abschnitt beschrieben), und zeigt auch einige weitere Informationen über die aktuelle Nutzer-ID (Unterstützungsgrad und zu verwendende Geräte) an. Die Einstellungen werden in Form einer ini-Datei auf dem Gerät selbst gespeichert.

### *Python-Server*

Das Ausführen von bestimmten Bibliotheken und Frameworks, z. B. OpenCV<sup>7</sup> für die Bildverarbeitung, oder YOLO<sup>8</sup> für KI-basierte state-of-the-art Objekterkennung, ist auf mobilen Geräten teilweise recht umständlich und teilweise ohne erheblichen Mehraufwand auch nicht möglich, gerade wenn Unity als Entwicklungsumgebung genutzt wird. Zudem ist die Performance solcher Algorithmen auf mobilen Geräten oft recht eingeschränkt.

Daher wird in der Forschung oft stattdessen ein Server benutzt, auf dem diese komplexeren Algorithmen ausgeführt werden. Das mobile Gerät kann sich dann, z. B. über das WLAN-Netz, mit diesem Server verbinden, um Anfragen anzustoßen und Ergebnisse zu erhalten. Der Server kann hierbei ein gewöhnlicher Desktop-Rechner oder gar Laptop mit Windows oder Linux als Betriebssystem sein.

Dieser Ansatz wurde auch für AR Improve verfolgt und ein Python-basierter Server entwickelt, welcher bestimmte Algorithmen ausführt. Für den Server wurde auch ein Web-Frontend entwickelt, um den Server auch von Remote, beispielsweise direkt vom Smartphone aus, steuern zu können und den Output einsehen zu können (Abbildung 10). Zudem wurde eine Anzeige für die QR-Codes implementiert, was für das Testen der Anwendungen nützlich war (Abbildung 11). Die Verbindung zum Python-Server erfolgt über eine TCP/IP-Schnittstelle im Einstellungsmenü der Apps. Über bestimmte Schlüsselwörter, die die Apps an den Server senden, schaltet der Server quasi sein Programm um und lädt den korrekten Algorithmus zur entsprechenden Variante.

<sup>7</sup> <https://opencv.org/>

<sup>8</sup> <https://docs.ultralytics.com/tasks/>

Die Algorithmen, die der Python-Server im Kontext der Teilsysteme ausführt, werden zusammen mit den Teilsystemen in einem späteren Abschnitt im Detail vorgestellt.

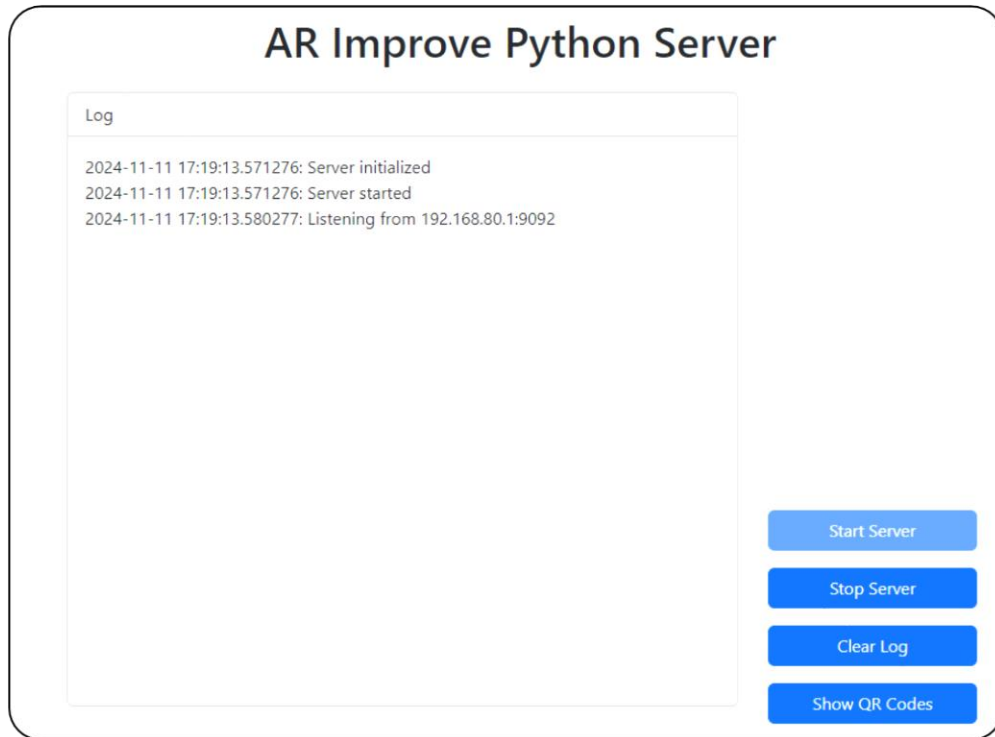


Abbildung 10: Web-Frontend des Python-Servers



Abbildung 11: QR-Code-Anzeige des Web-Frontends vom Python-Server auf einem iPhone für die Vereinfachung von Tests für die Apps.

### Logging von Nutzer-Interaktionen / -Aktivitäten in der App

Für die vollständige Auswertung der Nutzer-Studie sind Informationen wie Bearbeitungsdauer der einzelnen Teilsysteme und Unterschritte, sowie Art und Anzahl der Interaktionen relevant. Daher wurde für beide Apps ein Logging-System mit gleichem Aufbau implementiert. Start und Stopp von Zuständen aus der State Machine (siehe vorherige Abschnitte) erfasst das System automatisch, und zudem auch das Betätigen von Standard-Buttons wie dem Bestätigungsbutton und dem Ablehnen-Button. Weitere Buttons und Interaktionsformen können manuell im Code registriert werden mit einer kurzen Beschreibung des Buttons zur Einordnung.

```

1728317927679;2024-10-07 16:18:47:679;SLIDER_VALUE_CHANGED;
1728317928715;2024-10-07 16:18:48:715;DEBUG_LOG;Confirm Button clicked
1728317928715;2024-10-07 16:18:48:715;BUTTON_CLICKED;CONFIRMATION_BUTTON
1728317928716;2024-10-07 16:18:48:716;DEBUG_LOG;Showing confirm button!
1728317929982;2024-10-07 16:18:49:982;DEBUG_LOG;Confirm Button clicked
1728317929983;2024-10-07 16:18:49:983;BUTTON_CLICKED;CONFIRMATION_BUTTON
1728317930229;2024-10-07 16:18:50:229;SUB_PROCESS_ENDED;VERPACKUNG_VERPACKEN
1728317930229;2024-10-07 16:18:50:229;SUB_PROCESS_STARTED;VERPACKUNG_ABSCHLUSS_SCHRITTE
1728317930230;2024-10-07 16:18:50:230;DEBUG_LOG;try loading Images/verp_ende_02
1728317930233;2024-10-07 16:18:50:233;DEBUG_LOG;try loading Images/verp_ende_03
1728317930235;2024-10-07 16:18:50:235;DEBUG_LOG;Showing confirm button!
1728317931248;2024-10-07 16:18:51:248;BUTTON_CLICKED;GALLERY_FORWARD_BUTTON
1728317933516;2024-10-07 16:18:53:516;DEBUG_LOG;Confirm Button clicked
1728317933516;2024-10-07 16:18:53:516;BUTTON_CLICKED;CONFIRMATION_BUTTON
1728317933547;2024-10-07 16:18:53:547;SUB_PROCESS_ENDED;VERPACKUNG_ABSCHLUSS_SCHRITTE
1728317933547;2024-10-07 16:18:53:547;SUB_PROCESS_STARTED;VERPACKUNG_KISTE_ABSTELLEN
1728317933549;2024-10-07 16:18:53:549;DEBUG_LOG;Showing confirm button!
1728317934285;2024-10-07 16:18:54:285;DEBUG_LOG;Confirm Button clicked
1728317934285;2024-10-07 16:18:54:285;BUTTON_CLICKED;CONFIRMATION_BUTTON
1728317934313;2024-10-07 16:18:54:313;SUB_PROCESS_ENDED;VERPACKUNG_KISTE_ABSTELLEN
1728317934314;2024-10-07 16:18:54:314;SUB_PROCESS_STARTED;VERPACKUNG_TASKS_VIEW
1728317934316;2024-10-07 16:18:54:316;DEBUG_LOG;Setting task 1 to active.
1728317934317;2024-10-07 16:18:54:317;DEBUG_LOG;Showing confirm button!
1728317934849;2024-10-07 16:18:54:849;DEBUG_LOG;Confirm Button clicked
1728317934849;2024-10-07 16:18:54:849;BUTTON_CLICKED;CONFIRMATION_BUTTON
1728317934881;2024-10-07 16:18:54:881;SUB_PROCESS_ENDED;VERPACKUNG_TASKS_VIEW
1728317934881;2024-10-07 16:18:54:881;SUB_PROCESS_STARTED;VERPACKUNG_KOMM_KISTE_SCANNEN
1728317934882;2024-10-07 16:18:54:882;DEBUG_LOG;TaskSet: A(Verp)_1
1728317934882;2024-10-07 16:18:54:882;TASK;V-2302
1728317935348;2024-10-07 16:18:55:348;SUCCESS;CORRECT_QR_CODE_SCANNED
1728317935350;2024-10-07 16:18:55:350;DEBUG_LOG;Showing confirm button!

```

Abbildung 12: Beispielhafter Auszug aus den gespeicherten Log-Dateien

Abbildung 12 zeigt einen beispielhaften Auszug aus den gespeicherten Log-Dateien. Pro Ereignis wird der Unix Zeitstempel (Anzahl Millisekunden seit dem 01.01.1970), ein menschenlesbarer Zeitstempel, das Event sowie eine Spezifizierung des Events geloggt. Aus diesen Informationen können dann weitere, für die Studie relevante Variablen wie Bearbeitungsdauer der Unterschritte oder Anzahl Klicks pro Unterschritt abgeleitet werden.



### *AR-Einblendungen*

Die AR-Einblendungen erfolgen auf dem Tablet mittels der Bibliothek Vuforia<sup>9</sup> in der freien Variante. Hier gibt es Wahl zwischen AR-Einblendungen mittels registrierter Marker in der Umgebung, oder die Einblendung auf einer geraden Ebene.

Auf der Datenbrille (Hololens 2) hingegen konnte das Geräte-spezifische Raum-Positionierungssystem verwendet werden. Über Kameras erfasst die Datenbrille die Umgebung und ist in der Lage, feature-basiert Objekte im Raum so zu positionieren, dass sie auch nach Verlassen und Wiederbetreten des Raums an dieser Stelle verankert bleiben.

### **Entwicklung Wareneingang**

Das Teilsystem Wareneingang ist wie folgt konzipiert:

Zunächst wird ein Paket mit sortenreinen Bauteilen gescannt. Durch den Scan weiß das System, um welchen Auftrag und welchen Bauteilen es sich handelt, und schlägt eine passende Lagerbox vor und blendet erfahrungsbasierte Informationen zu diesem Bauteil wie beispielsweise häufige Fehler ein. Anschließend erfolgt eine (100-prozentige) Prüfung der Bauteile im Paket durch den Nutzer. Je nach Variante steht dem Nutzer ein 3D-Modell des Bauteils zum Abgleich zur Verfügung, welches über AR in die Realität eingeblendet wird, oder ein KI-basiertes Modell erkennt bildbasiert, ob es sich um das richtige Bauteil handelt oder nicht. Abbildung 13 zeigt beispielhaft die Einblendung eines Bauteils für den Abgleich auf der Datenbrille.

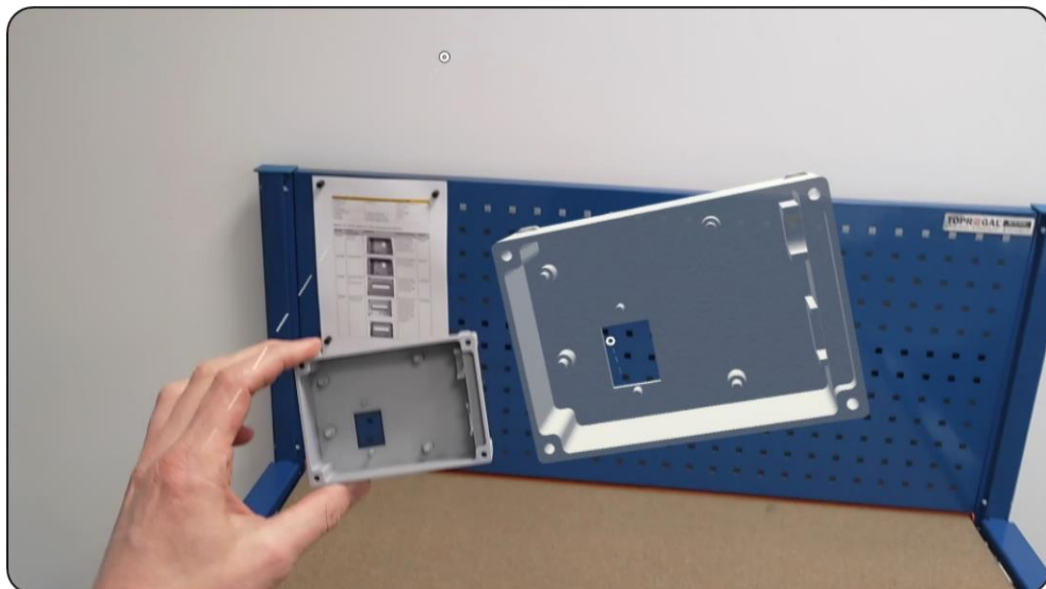


Abbildung 13: Bauteil-Einblendung auf der Datenbrille

---

<sup>9</sup> <https://www.ptc.com/en/products/vuforia>

Der interessante Teil der Implementierung war hier das KI-Modell für die Bauteil-Erkennung. Hierfür wurde ein YOLOv8<sup>10</sup> Modell mit einer Kombination aus synthetisch generierten Bildern und realen Bildern der Bauteile trainiert. Es wurden im Laufe der Entwicklung mehrere Ansätze untersucht, wie z. B. verschiedene Modell-Größen, Training mit nur synthetisch generierten Bildern oder individuelle Modelle für die verschiedenen Bauteile. Die beste Performance lieferte am Ende ein Modell mit einer Größe der Gewichte von ca. 23 MB und das Training mit einem gemischten Datensatz, welches Bilder aller Bauteile enthielt, sprich, ein einziges Modell für alle Bauteile.

Dieses YOLO-Modell läuft dann auf dem vorher erwähnten Python-Server, mit der das Gerät verbunden wird. Das Gerät sendet Kamera-Bilder der Bauteile an den Server. Dann läuft auf dem Server die Inferenz mit dem YOLO-Modell ab und schließlich wird das Ergebnis der Detektion zurück an das Gerät gesendet.

Abbildung 14, Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen beispielhaft den Ablauf der KI-basierten Bauteil-Erkennung auf dem Tablet.

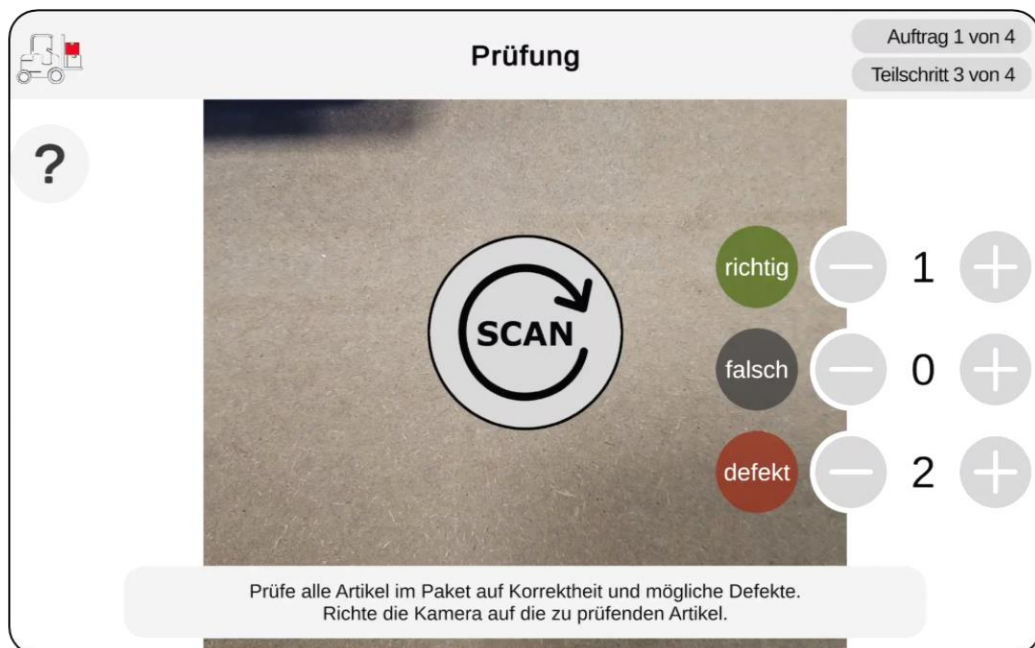


Abbildung 14: Teilsystem Wareneingang, Variante 2, vor dem Scan

---

<sup>10</sup> <https://docs.ultralytics.com/models/yolov8/>

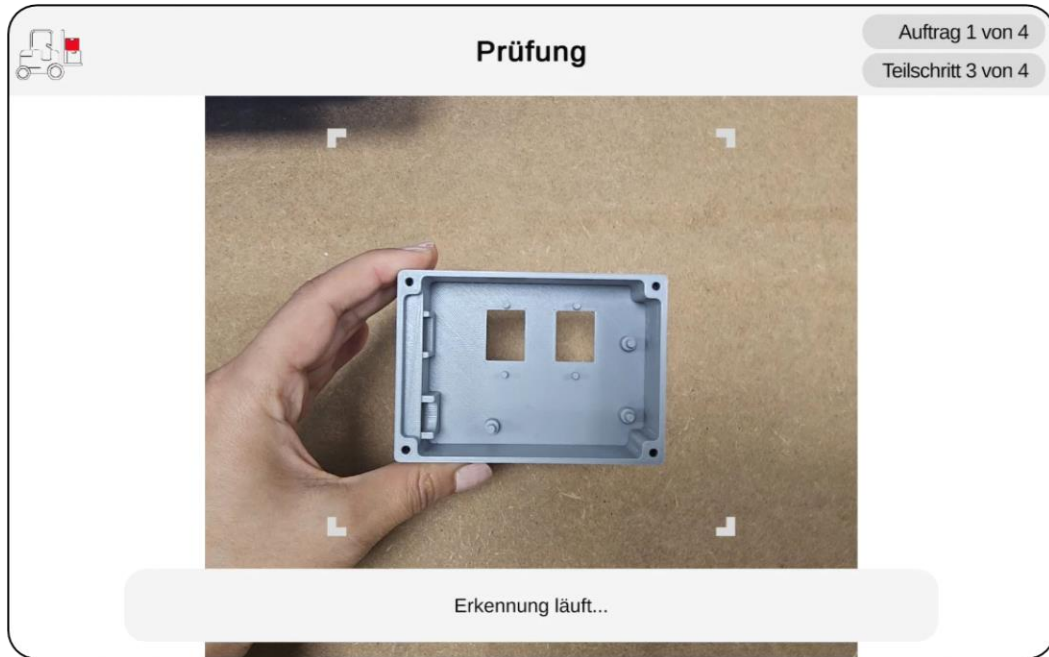


Abbildung 15: Teilsystem Wareneingang, Variante 2, während des Scans

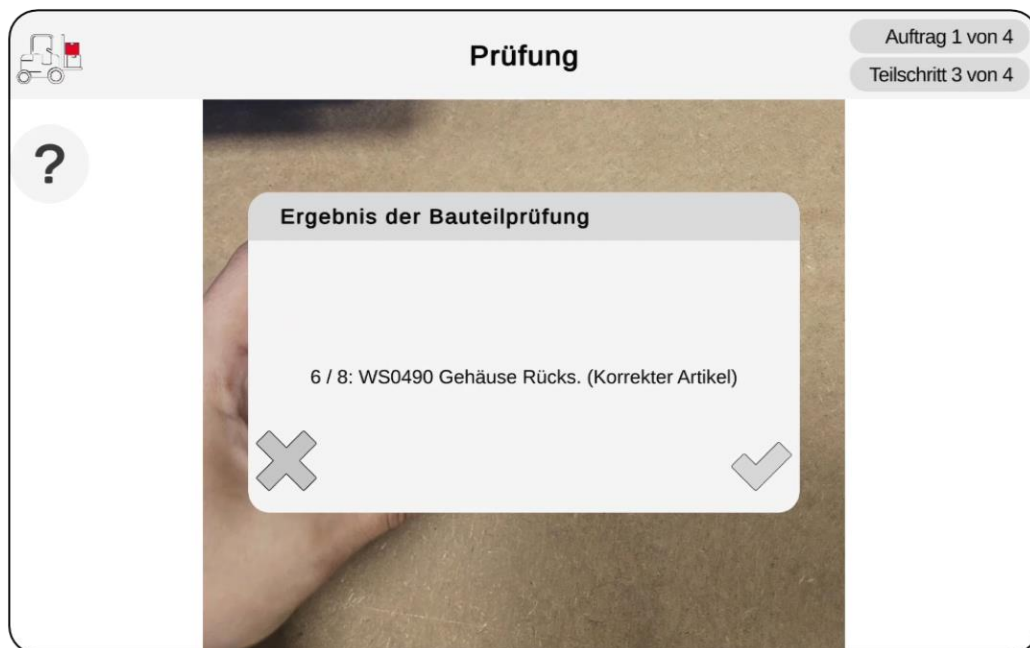


Abbildung 16: Teilsystem Wareneingang, Variante 2, Ergebnis der KI-Detektion wird angezeigt

### **Entwicklung Kommissionierung**

Das Teilsystem Kommissionierung ist wie folgt konzipiert:

Zunächst wird ein auf einer Kiste angebrachter Kommissionierauftrag gescannt. Anschließend muss (bei der Tablet-Version) vom Regal ein Foto gemacht werden. Dieser Schritt soll suggerieren, dass das Assistenzsystem das richtige Regal identifiziert und die Regalfachpositionen im Regal ausfindig macht. Anschließend wird dem Nutzer als

Unterstützung eingeblendet, wo im Regal sich die Artikel befinden, die zu kommissionieren sind, und auch die Anzahl der zu kommissionierenden Artikel pro Fach.

Bei der Implementierung wird mithilfe klassischer Kantendetektionsmethoden von OpenCV<sup>11</sup> das Regal im Foto-Bild erkannt und die Regalfachpositionen als Bild-Koordinaten übermittelt. Dabei läuft die Detektion wieder auf dem Python-Server. Die Einblendung am Tablet findet dann an einem Standbild des Regals, oder an einem Schema des Regals statt, je nach Variante.

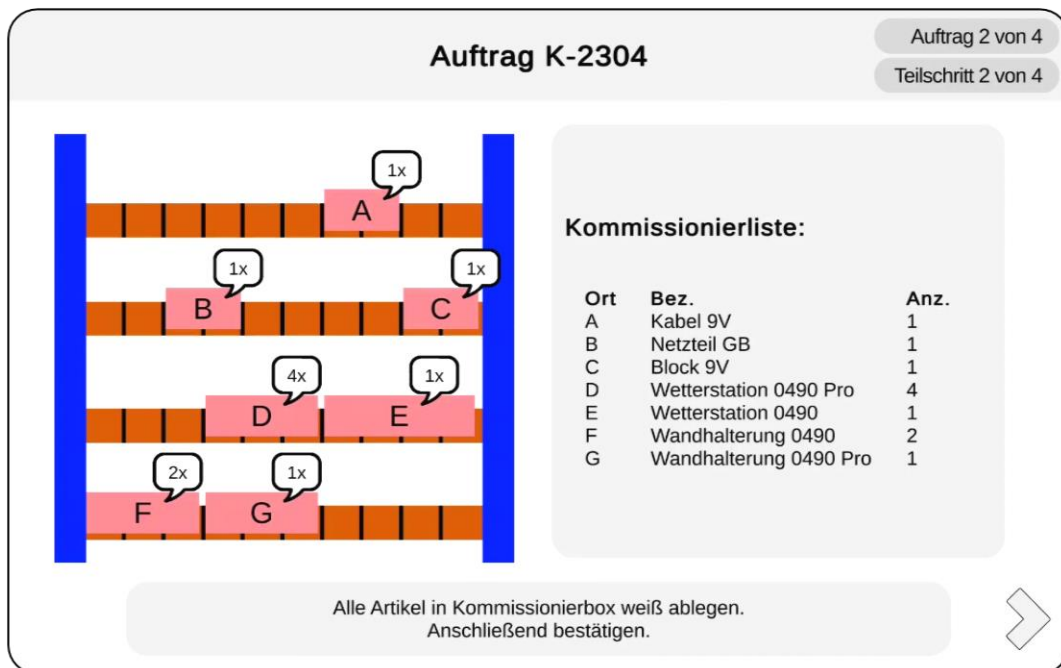


Abbildung 17: Einblendung der relevanten Regalfächer für die Kommissionierung an einem Schema bei der Tablet-Version

Bei der Datenbrille ist das Vorgehen leicht anders. Hier wird auf ein Regal-Foto verzichtet. Stattdessen werden im Vorfeld der Studie virtuelle Marker am Regal angebracht, welches die Datenbrille aufgrund seiner lokalen Positionierung und Raumfindung fest im Raum verortet. Basierend auf diesen Markern erfolgt schließlich die Einblendung in Echtzeit in AR.

<sup>11</sup> <https://opencv.org/>



Abbildung 18: Einblendung der relevanten Regalfächer für die Kommissionierung in AR bei der Datenbrille

### ***Entwicklung Verpackung***

Das Teilsystem Verpackung baut auf dem vorhergehenden Teilsystem Kommissionierung auf. Hier werden die kommissionierten Artikel verpackt. Hierzu wird zunächst der Kommissionierauftrag der kommissionierten Kiste eingescannt. Anschließend erfolgt die Vorverpackung. Hier müssen für bestimmte Artikel Vorverpackungsschritte durchgeführt werden, wie beispielsweise das Verpacken eines Kleinteils in einen geeigneten Druckverschlussbeutel oder die Funktionsprüfung eines elektrischen Geräts (in diesem Fall die Wetterstation). Hierbei unterstützt das Assistenzsystem in Form einer Checkliste sowie Hinweisen zu Art und Weise der erforderlichen Vorverpackungshandlungen. Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigen beispielhaft Screenshots aus diesem Vorverpackungsschritt.

**V-2301: Verpackungsvorbereitung** Auftrag 1 von 4  
Teilschritt 2 von 5

1x Wetterstation 0490	Funktionsprüfung durchführen	<input checked="" type="checkbox"/>
2x Netzteil EU	Druckverschlussbeutel	<input checked="" type="checkbox"/>
1x Kabel 9V	Luftpolsterbeutel	<input checked="" type="checkbox"/>
1x Block 9V	LDPE-Druckverschlussbeutel	<input type="checkbox"/>

Führen Sie die aufgeführten Vorbereitungsschritte durch

Abbildung 19: Unterschritt Verpackungsvorbereitung im Teilsystem Verpackung – Checkliste der Vorverpackungsschritte

**Funktionsprüfung** Auftrag 1 von 4  
Teilschritt 2 von 5

Geprüfte Wetterstation wieder verpacken

Alle Wetterstation 0490 prüfen (aktuell 1/1 geprüft)

richtig 1  
defekt 0

Abbildung 20: Unterschritt Funktionsprüfung im Teilsystem Verpackung

Danach wird vom Assistenzsystem eine passende Versandverpackung vorgeschlagen, welcher einzuscannen ist. Nun wird vom Assistenzsystem eine Packstruktur vorgegeben, nach der die Artikel in der Versandverpackung zu verpacken sind. Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen beispielhaft einige Varianten dieser Einblendung für die beiden Geräte. Nach dem

Verpacken ist vom Nutzer noch ein Versandlabel anzubringen und schließlich ist das Teilsystem abgeschlossen.



Abbildung 21: Einblendung der Packstruktur als Unterstützung für den Verpackungsschritt als nicht-verankerte Platzierung mit Schiebereglern für die Rotation beim Tablet (Variante 1)



Abbildung 22: Einblendung der Packstruktur als Unterstützung für den Verpackungsschritt als in die Umgebung verankerte Platzierung bei der Datenbrille

Für die Verpackungsstrukturen mussten für einen Teil der verwendeten Artikel 3D-Modelle erstellt werden, welches mithilfe von Blender<sup>12</sup> geschah. Die erzeugten Modelle wurden im FBX Format exportiert, welches dann in Unity eingebunden werden konnte.

### **Zielerreichung**

Für alle drei Teilsysteme wurden alle drei Varianten in einem funktionsfähigen Zustand implementiert, sodass die Nutzerstudie durchgeführt werden kann. Damit sind die Ziele des AP 4 vollständig erfüllt.

## **3.5 AP 5: Entwicklung, Durchführung und Auswertung von Nutzerstudien**

### **Ziele**

Auf der theoretischen Grundlage des Design of Experiments wird ein Versuchsplan für die Durchführung der Nutzerstudien abgeleitet, der die systematischen Tests der entwickelten AR-Assistenzsysteme bzw. -unterstützungsfunktionen innerhalb des Testaufbaus ermöglicht. Eine Festlegung der Testparameter wie z. B. Zeit der Durchführung, Fehlerrate oder körperliche Belastungen, ermöglicht ihre quantitative Bewertung. Die Einbeziehung von Human Factors in das Studiendesign ermöglicht die Kontrolle von Störfaktoren im Rahmen der Durchführung der Nutzerstudien. Standardisierte Fragebögen zu Usability, User Experience oder Workload ermöglichen zusätzlich die Erhebung qualitativer Daten zu subjektiven Einschätzungen der Testnutzer\*innen. Die Ergebnisse werden statistisch ausgewertet und hinsichtlich Effekten untersucht, die auf einzelne Testparameter zurückzuführen sind. Mittels Unterstützung des PA erfolgt die Akquise von Testpersonen aus der Praxis. Insgesamt sind verschiedene Testdurchläufe bestehend aus verschiedenen AR-Hardwaretypen (z. B. Tablet und HMD) bzw. AR-Unterstützungsfunktionen vorgesehen.

### **Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Arbeitspaket 5 basiert auf den Ergebnissen der vorherigen Arbeitspakete 3, die sich mit den Arbeitsaufgaben und dem Testaufbau befassen, sowie 4, die die Entwicklung der Assistenzsysteme zum Thema haben. Die entwickelten Assistenzsysteme nutzen zwei verschiedene Hardwaretypen – Tablet und Datenbrille – auf denen jeweils die Teilsysteme für die jeweiligen Prozesse laufen. Diese Systeme bieten Assistenzfunktionen, die die Nutzenden bei ihren Arbeitsaufgaben an den drei aufgebauten Arbeitsstationen Wareneingang, Kommissionierung und Verpackung unterstützen.

### ***Varianten der Assistenzfunktionen***

Die Assistenzfunktionen differenzieren sich in zwei Varianten, die für das Tablet sowie für die Datenbrille implementiert wurden. Für das Tablet sind folgende Varianten umgesetzt worden: Im Wareneingang unterstützt die Funktion S1 die Zustandsprüfung durch die Anzeige von 3D-

---

<sup>12</sup> <https://www.blender.org/>



Modellen, während S2 dies mittels KI-Bildererkennung umsetzt. In der Kommissionierung erfolgt die Unterstützung bei der Navigation zu den einzelnen Komponenten entweder durch eine schematische Darstellung der Lagerfläche (S1) oder durch KI-gestützte Navigation, die eine virtuelle Einblendung in die reale Lagerumgebung integriert (S2). Beim Verpacken visualisiert S1 Packmuster in 3D ohne Ortsbezug, während S2 die Packmuster mittels AR direkt in der Versandverpackung anzeigt.

Für das Assistenzsystem auf der Datenbrille wurden analog die Varianten S3 realisiert: Die Zustandsprüfung im Wareneingang wird durch die Anzeige von 3D-Modellen unterstützt. Bei der Kommissionierung kommt die KI-gestützte Navigation zur Anwendung, die ebenfalls eine virtuelle Einblendung in der realen Lagerumgebung bietet. Für das Verpacken visualisiert S3 Packmuster in 3D ohne Ortsbezug. Die Entscheidungen zur Umsetzung der Varianten basierten auf hardware-spezifischen Eigenschaften wie Handhabung und Darstellungsmöglichkeiten.

**Versuchsplan**

Um die verschiedenen Varianten (Tablet S1 und S2 sowie Datenbrille S3) im Rahmen einer Nutzerstudie zu untersuchen, wurde ein detaillierter Versuchsplan entwickelt, der alle Teilsysteme und Varianten umfasst. Dieser Plan sieht vor, alle Teilnehmenden in Gruppen einzuteilen, sodass jede Gruppe alle drei Arbeitsstationen mit jeweils einem Hardwaretyp durchläuft. Dabei werden die Varianten S1 und S2 gleichmäßig in den Tabletgruppen verteilt sowie deren Reihenfolge variiert.

Tabelle 1: Darstellung des Versuchsplans; die verschiedenen Varianten (S) werden je Gruppe variiert und hardware-spezifisch verteilt (S1, S2: Tablet; S3: Datenbrille)

Gruppe	Arbeitsstation		
	Wareneingang	Kommissionierung	Verpackung
1	S2	S1	S2
2	S1	S2	S1
3	S2	S1	S1
4	S1	S2	S2
5	S3	S3	S3

Für die Durchführung der Nutzerstudie wurden 45 Personen akquiriert, darunter Praxisvertreter aus den Unternehmen des Projektpartners. Diese Personen werden gleichmäßig entsprechend ihrer demografischen Charakteristika und angegebenen Vorerfahrungen auf die Gruppen verteilt.

**Erfasste Messgrößen (quantitativ und qualitativ)**

Im Rahmen der Studie wurden unter anderem folgende Messgrößen erfasst: Durchlaufzeiten der Arbeitsschritte, Anzahl der Fehler je Arbeitsschritt, Anzahl der Displayberührungen oder Klicks je Arbeitsschritt sowie die Bewertungen von User Experience und Usability je Teilsystem. Letztgenannte stellen qualitative Bewertungen dar, für deren Erfassung entsprechende Standardfragebögen verwendet wurden (System Usability Scale (SUS) [Brooke 1996], User Experience Questionnaire (UEQ) [Laugwitz 2008]). Zudem wurde die AR-Akzeptanz für das

gesamte Assistenzsystem ebenfalls per Fragebogen erfasst. Hierzu wurde jeweils mittels Soscisurvey (<https://www.soscisurvey.de/>) eine digitale Fragebogenversion erstellt, um eine schnelle und konsistente Befragung zu gewährleisten. Um Störeffekte zu vermeiden, folgte die Nutzerstudie einem standardisierten Ablauf, der folgende Schritte umfasste:

- Begrüßung der Teilnehmenden
- Einordnung der Nutzerstudie
- Einführung in die Arbeitsstationen,
- Bearbeitung der Arbeitsaufgaben und anschließende Befragung per Fragebögen
- Feedback.

Nachfolgende Abbildung zeigt verschiedene Teilnehmende während der Bearbeitung der Arbeitsaufgaben an den Arbeitsstationen Wareneingang, Kommissionierung und Verpackung.

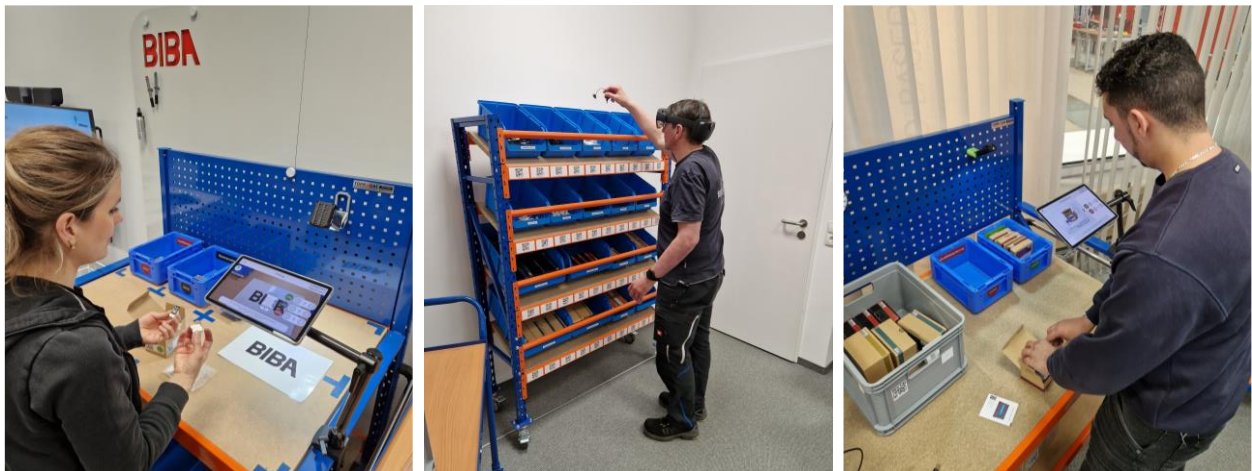


Abbildung 23: Fotos während der Durchführung der Nutzerstudie; hier bearbeiten Teilnehmende die Arbeitsstationen Wareneingang (links), Kommissionierung (mittig) und Verpackung (rechts)

## Ergebnisse und Auswertung

Bisher konnte die Studie mit 25 Personen durchgeführt werden, insgesamt sind 45 Teilnehmende geplant. Die restlichen 20 Teilnehmenden sind für Anfang Dezember terminiert. Nachfolgend werden Zwischenergebnisse für die bisherigen Teilnehmenden präsentiert, welche nach Abschluss der Studie ergänzt und in die Auswertung eingeschlossen werden. Tabelle 2 zeigt die durchschnittlichen SUS- und TLX-Scores für die einzelnen Teilsysteme. Zwischen den beiden Unterstützungsvarianten, welche auf dem Tablet umgesetzt wurden, lassen sich in Bezug auf die subjektive Usability keine gravierenden Unterschiede feststellen. Mit SUS-Scores zwischen 83,06 und 93,06 liegt die Usability dieser Varianten bisher in einem guten bis sehr guten Bereich. Für die Variante S3 (binokulare Smartglasses) fallen die Usability-Scores bisher deutlich niedriger aus. Der Workload wird von den Nutzenden bis zu diesem Zeitpunkt über alle Varianten ähnlich bewertet. Somit zeigen sich bisher erste Trends in den aufgenommenen Daten, die nach Abschluss der Studie eingehend interpretiert und veröffentlicht werden.

Tabelle 2: Durchschnittliche SUS-Scores und RTLX-Scores sowie Standardabweichungen für die drei Unterstützungsvarianten im Wareneingang, der Kommissionierung und der Verpackung (bisher 25 Teilnehmende)

	Variante S1				Variante S2				Variante S3			
	SUS		RTLX		SUS		RTLX		SUS		RTLX	
	Ø	σ	Ø	σ	Ø	σ	Ø	σ	Ø	σ	Ø	σ
<b>WE</b>	83,06	11,53	17,90	9,09	87,81	8,14	22,81	14,20	65,00	11,02	22,27	13,49
<b>KO</b>	89,72	8,12	18,22	12,11	88,89	10,68	11,57	9,15	79,29	10,67	10,20	5,84
<b>VP</b>	93,06	7,34	12,68	8,83	84,17	7,99	18,52	9,61	65,71	15,10	18,29	10,74

Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen einen Auszug der aufgenommenen quantitativen Daten. Die durchschnittlichen Bearbeitungszeiten für die Unterstützungsvarianten S1, S2 und S3 und die Anzahl der Fehler, welche den Testnutzer\*innen bei der Sortierung der Bauteile im Rahmen der Qualitätsprüfung unterlaufen sind, sind hier dargestellt. Es zeigt sich bereits, dass die Nutzenden mit den binokularen Smartglasses eine deutlich längere Bearbeitungszeit benötigen als bei den Tablet-Varianten. Dies hängt aus unserer Sicht u. a. mit der ungewohnten Bedienung per Handgestensteuerung zusammen, die eine gewisse Anlernzeit benötigt. Für die Fehler zeigt sich bisher kein eindeutiger Trend. Festzustellen ist, dass nach aktuellem Stand in der zweiten Unterstützungsvariante, trotz KI-Unterstützung bei der Qualitätsprüfung, keine Veränderung der Ergebnisse festzustellen ist.

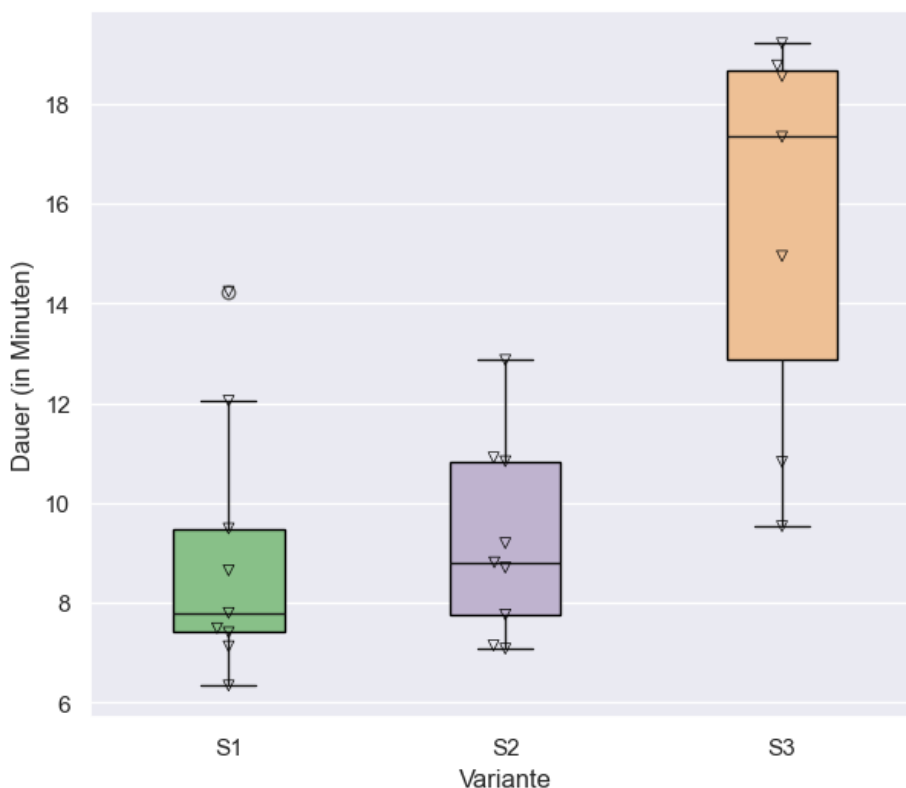


Abbildung 24: Wareneingang - Dauer der Durchführung für die Unterstützungsvarianten S1, S2 und S3

Nach Abschluss der Studie sollen verschiedene Effekte genauer untersucht und Zusammenhänge zwischen den einzelnen Bewertungen der Testnutzer\*innen hergestellt werden. So kann z. B. über die Bearbeitung aller Arbeitsaufgaben untersucht werden, ob in der Nutzung der binokularen Datenbrille über alle drei Teilsysteme Lerneffekte auftreten und die Nutzer\*innen im Verlauf der Studie schneller werden. Dies wäre interessant für eine zukünftige Nutzung von Datenbrillen. Weitere Zusammenhänge sollen zwischen der Nutzung der KI-basierten Funktionen im Rahmen der Studie, den Fehlern in der Bearbeitung und der Beurteilung des Vertrauens in die KI (abgefragt im Fragebogen zur Nutzerakzeptanz) hergestellt werden. Die vollständige Analyse der Nutzungsdaten aus der Nutzerstudie fließt sowohl in den Leitfaden als auch in die geplanten wissenschaftlichen Veröffentlichungen ein.

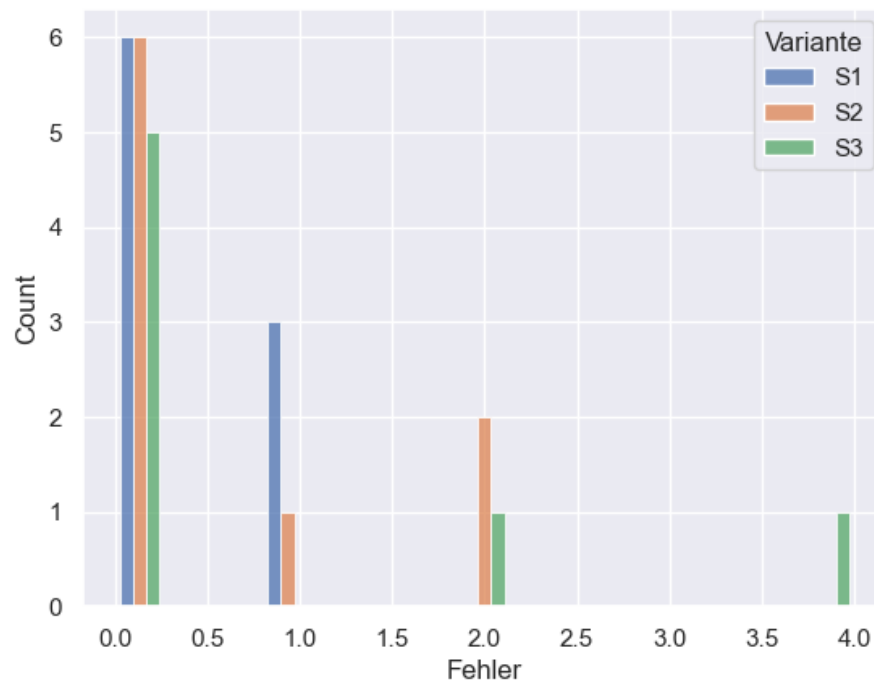


Abbildung 25: Wareneingang - Anzahl der Fehler für die Unterstützungsvarianten S1, S2 und S3

## Zielerreichung

Derzeit haben 25 der geplanten 45 Teilnehmenden an der Nutzerstudie teilgenommen. Die Termine für die weiteren 20 Teilnehmenden sind bereits für Anfang Dezember vereinbart. Dennoch konnten bereits wesentliche Teile der Ziele für dieses Arbeitspaket erreicht werden (Entwicklung des Versuchsplans, Festlegung der Testparameter, Kontrolle von Störfaktoren, Akquise von Teilnehmenden, Vorbereitung und Durchführung der Nutzerstudie).

Bis zur abschließenden Sitzung des PA im Dezember 2024 wird eine statistische Auswertung der Ergebnisse durchgeführt. Diese umfasst die deskriptive Beschreibung der Messgrößen und Befragungsergebnisse für jedes Teilsystem und jede Variante sowie für das Gesamtsystem. Darüber hinaus ist eine induktive Bestimmung signifikanter Effekte der Varianten durch eine Varianzanalyse geplant. Eine abschließende Auswertung der Ergebnisse wird im Rahmen einer

wissenschaftlichen Veröffentlichung in einem Fachjournal erfolgen, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung auf der Projekthomepage verlinkt wird.

AP 5 konnte nicht vollständig im vorgesehenen Zeitrahmen des Projekts abgeschlossen werden (siehe Anträge auf Laufzeitverlängerung zu den Zwischenberichten 2022 und 2023).

### **3.6 AP 6: Entwicklung des interaktiven Leitfadens**

#### **Ziele**

Das Arbeitspaket zielt darauf ab, auf Basis der Ergebnisse der vorhergehenden Arbeitspakete einen interaktiven Leitfaden zur Auswahl, Gestaltung und Implementierung von AR-Assistenzsystemen in der Intralogistik zu entwickeln. Der Leitfaden wird als webbasierte, interaktive Anwendung bereitgestellt, die durch eine geführte Abfrage von Input-Parametern und Präsentation von Alternativkonfigurationen Entscheidungsträger\*innen unterstützt.

#### **Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Der Leitfaden bereitet die Ergebnisse des Projekts sowie die gewonnenen Erkenntnisse aus der durchgeführten Studie auf. Der Leitfaden wurde anhand des Design Science Research (DSR) Ansatzes erstellt und zielt darauf ab, die Entscheidungsträger\*innen von Unternehmen für die Entwicklung und den Einsatz von AR und KI in intralogistischen Prozessen einen Einstieg zu bieten und bei Bedarf weiterführende Informationen bereit zu stellen.

*Problemidentifikation und -motivation:* Aus dem hohen Potenzial für die Anwendung von AR und KI zur Unterstützung intralogistischer Prozesse wird für den Aufbau des Leitfadens abgeleitet, dass Unternehmen im Umgang mit den Technologien AR und KI zunächst auf einem niedrigen Detailniveau abgeholt werden müssen. Die Analyse der Fallstudien zeigte, dass viele Entscheidungsträger\*innen oft keine einheitliche Vorstellung von den Potenzialen und Einsatzmöglichkeiten von AR-Technologie zur Entscheidungsunterstützung haben. Deshalb wird der Leitfaden so gestaltet, dass er zunächst Einblicke in die Technologien sowie praktische Beispiele durch Videos und Bilder bietet, um den Entscheidungsträgerinnen einen schnellen Zugang zu diesen Themen zu ermöglichen. Der tiefere Einstieg in das Thema soll durch Verlinkungen und weiterführende Informationen ermöglicht werden.

*Lösungsorientierte Zieldefinition:* Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der verschiedenen AR-Assistenzfunktionen über die Erfassung quantitativer Größen (Durchlaufzeiten, Anzahl der Klicks, Anzahl der Fehler) und qualitativer Faktoren (Usability, Workload und Nutzerakzeptanz) soll als Grundlage für eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse und eine nachvollziehbare Bewertung der umgesetzten Varianten dienen. Über zusätzliche Interpretationen der Ergebnisse können sich die Entscheidungsträger\*innen Informationen zur einzelnen Teilergebnissen in unterschiedlicher Tiefe anzeigen lassen.

*Design und Entwicklung:* Für die Entwicklung des Leitfadens wurde eine webbasierte Umsetzung gewählt ( <https://ar-improve.biba.uni-bremen.de/> ). Die Erweiterung der Funktionen von Wordpress um die Funktionalitäten des Plugins Colibri ermöglicht eine ansprechende Darstellung der Inhalte des Leitfadens (siehe Abbildung 26: Ausschnitte aus dem webbasierten Leitfaden (Entwürfe, noch nicht online)). Der Leitfaden stellt sicher, dass die Nutzer\*innen zunächst auf einer hohen Ebene mit Informationen zu AR, KI und den Ergebnissen der Studie versorgt werden. Die Navigation der Website ermöglicht den tieferen Einstieg in einzelne Aspekte über

unterschiedliche Links. So kann jeder Nutzer\*in individuell über die Art des Zugangs zu den Informationen entscheiden.

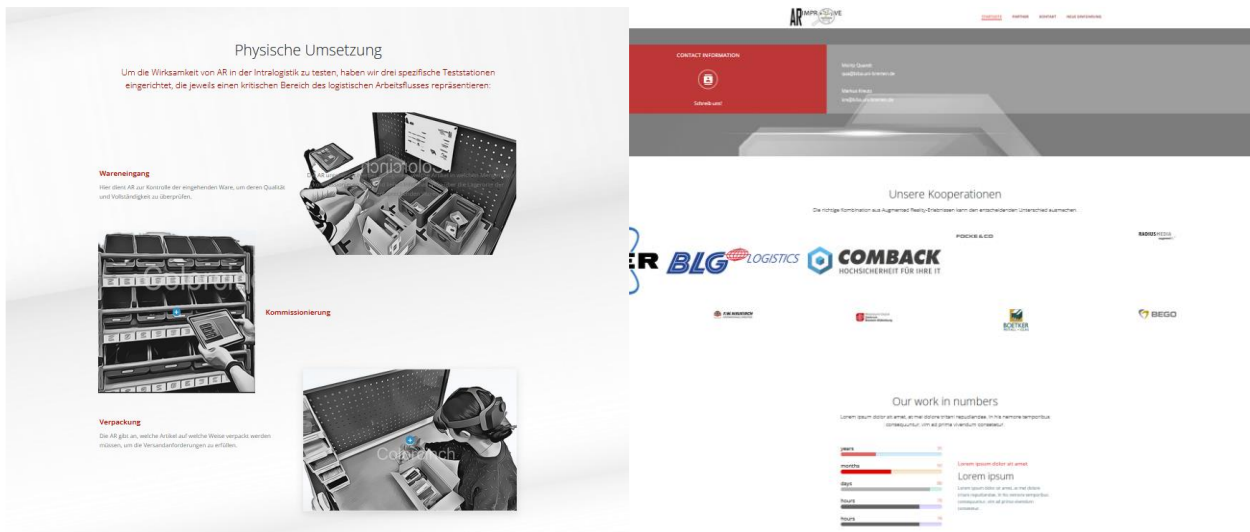


Abbildung 26: Ausschnitte aus dem webbasierten Leitfaden (Entwürfe, noch nicht online)

**Demonstration:** Der Testaufbau und die umgesetzten AR-Assistenzsysteme für die einzelnen Arbeitsstationen bieten den Unternehmen einen anschaulichen Einstieg in das Thema. Insbesondere für die Unternehmen des PA, da sich die Prozesse der Arbeitsstationen des Testaufbaus an den realen Herausforderungen der Unternehmen orientieren. Auch nach Projektende besteht im BIBA die Möglichkeit, die Technologie in einem realitätsnahen Einsatz zu erleben. Somit können Entscheidungen über den Einsatz der Technologien auf der Grundlage realer Erfahrungen mit AR-basierten Assistenzsystemen getroffen werden.

**Evaluation:** Die Nutzerstudie liefert wertvolle Erkenntnisse darüber, welche Varianten in bestimmten Arbeitsprozessen die vielversprechendsten Ergebnisse liefern und wo die größten Optimierungspotenziale liegen. Auf dieser Grundlage können Unternehmen eine fundierte Entscheidung über den Einsatz von AR und KI vorbereiten. Leitfragen, die dabei hilfreich sind, umfassen z. B.: In welchem Prozess wollen wir AR-Assistenzsysteme einsetzen? Welche Hardware ist für unseren Anwendungsfall auszuwählen? Wer kann uns in Bezug auf unsere konkrete Problemstellung beraten/Entwicklungsleistungen anbieten? etc.

**Kommunikation:** Die Kommunikation des Leitfadens erfolgt in der abschließenden Sitzung mit den Unternehmen des PA im Dezember 2024. Durch den öffentlichen Zugang über eine Website wird interessierten Unternehmen ein einfacher Zugang zu den Ergebnissen des Projekts ermöglicht. Darüber hinaus wird die Veröffentlichung des Leitfadens auch über die Kanäle (Social Media, Newsletter, YouTube) des BIBA und des MDZ kommuniziert, um eine große Reichweite zu erzielen.

### Zielerreichung

Mit der Veröffentlichung des Leitfadens im Anschluss an die abschließende Sitzung des PA im Dezember 2024 sind die Ziele des AP erreicht. AP 6 konnte nicht vollständig im vorgesehenen Zeitrahmen des Projekts abgeschlossen werden (siehe Anträge auf Laufzeitverlängerung zu den Zwischenberichten 2022 und 2023).

### **3.7 AP 7: Projektmanagement**

#### **Ziele**

Ziel dieses Arbeitspakets ist die zielorientierte Verwertung der Ergebnisse, die Kommunikation mit dem projektbegleitenden Ausschuss und weiteren interessierten Unternehmen sowie die Dokumentation und die Berichterstattung.

#### **Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Im Rahmen von AP 7 wurde neben dem Projektmanagement die Kommunikation mit den Mitgliedern des PA, der BVL und weiteren interessierten Unternehmen, die Dokumentation und Berichterstattung sowie die Verwertung der Projektergebnisse durchgeführt. Die in diesem Rahmen durchgeführten Transfermaßnahmen sind Kapitel 5 zu entnehmen.

#### **Zielerreichung**

Die Ziele des AP wurden vollständig erreicht.

#### **4 Verwendung der Zuwendung**

- wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)
  - Stufe HPA-A: 29,9 Personenmonate
- Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans)
  - Keine
- Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans)
  - Keine



## **5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die im Berichtszeitraum durchgeführten Tätigkeiten entsprachen den im Forschungsantrag vorgesehenen Arbeitsschritten und waren für die Erreichung des Forschungsziels erforderlich. Die geleistete Arbeit war für die Durchführung der Arbeitsschritte erforderlich. Die Ausgaben waren für die Durchführung der geleisteten Arbeit notwendig und angemessen.

## **6 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse**

Die im Rahmen des Forschungsprojekts erzielten Ergebnisse bieten einen deutlichen Mehrwert sowohl aus wissenschaftlich-technischer als auch aus wirtschaftlicher Perspektive.

Die entwickelten Assistenzfunktionen stellen einen Fortschritt für Weiterentwicklung von kognitiven Assistenzsystemen in der Intralogistik dar. Durch die Bereitstellung von kontextsensitiven Informationen können Mitarbeitende gezielt im Arbeitsprozess unterstützt werden. Die Ergebnisse der Studie und die Aufbereitung der Ergebnisse in Form des Leitfadens ermöglichen interessierten Unternehmen eine fundierte Einschätzung der Möglichkeiten AR-basierter Unterstützung in ihrem Arbeitsprozess. Durch die Bereitstellung dieser Informationen und der Praxiserfahrungen aus der Studie wird den KMU eine konsistente und systematische Herangehensweise an die Planung von kognitiven Assistenzsystemen, basierend auf AR und KI-Technologie, ermöglicht. Die wirtschaftlichen Risiken einer Systementwicklung und -einführung können auf diese Weise deutlich reduziert werden.

Die wirtschaftlichen Mehrwerte können durch die Bereitstellung und Pflege des interaktiven Leitfadens geleistet werden. Eine höhere Investitionssicherheit wird erreicht, wenn die initiale Entscheidung für die Ausprägungen eines Assistenzsystems auf einer fundierten Informationsgrundlage getroffen werden kann. Mit den umgesetzten Gestaltungsoptionen wird den KMU eine Leitlinie geboten, die eine Übertragung auf die eigenen Prozesse ermöglicht. Da z. B. von der Hardwareentscheidung viele weitere Aspekte abhängig sind, ist diese für die KMU von essentieller Bedeutung. Zudem kann das BIBA als neutrale Instanz KMU beratend zur Seite stehen, wenn es z. B. um den Transfer der Ergebnisse des Projekts auf individuelle Arbeitsprozesse geht oder einen Marktübersicht über aktuell verfügbare AR-Hardware und ihre Charakteristika.

Weitere wirtschaftliche Mehrwerte ergeben sich aus der möglichen Steigerung der betrieblichen Leistungsfähigkeit durch den Einsatz AR-basierter Assistenzsysteme für die Intralogistik. Die KMU können auf Grundlage der Projektergebnisse bewerten, für welche Teilprozesse eine AR-basierte Unterstützung sinnvoll erscheint. Durch die Gegenüberstellung der Studienergebnisse mit den Häufigkeiten einzelner Arbeitsaufgaben im Arbeitsalltag und den nötigen Schwerpunkten der Prozessverbesserung kann eine Steigerung der Leistungsfähigkeit fundiert eingeschätzt werden. Die durchgeführte Studie und die erhobenen Daten zeigen den Unternehmen auf, wie eine Partizipation der Mitarbeitenden aussehen kann, um die Akzeptanz der Assistenzsysteme sicherzustellen und eine dauerhafte Nutzung der Systeme sicherzustellen. Aus der Fallstudie konnten wir ableiten, dass dieser Aspekt den Unternehmen wichtig ist, ein Zugang zu menschenzentrierten Ansätzen und Methoden aber nicht immer gegeben ist. Bei Bedarf bringt sich das BIBA gerne ein und gibt den Unternehmen des PA weitere Hilfestellung für die menschenzentrierte Gestaltung von Assistenzsystemen im Arbeitsprozess. Der Fachkräftemangel beschäftigt die Unternehmen des PA und viele der Unternehmen machten die Offenheit der Mitarbeitenden für den nutzenstiftenden Einsatz neuer Technologien im Arbeitsprozess deutlich. Der Testaufbau, die Studie und die Verstetigung der Projektergebnisse im Leitfaden stellt den Zugang der KMU zu den Informationen zu AR-basierten Assistenzsystemen sicher. Die verschiedenen Varianten der Assistenzfunktionen zeigen auf, dass eine Anpassung der Funktionen auf das Qualifikationsniveau der Mitarbeitenden möglich ist. Die Ausrichtung der Nutzerstudie auf neue Mitarbeitende in einer neuen Situation und Arbeitsumgebung konnte zeigen, dass AR-Assistenzsysteme eine gute Möglichkeit bieten Personen auf einen komplett

unbekannten Arbeitsprozess anzulernen und gleichzeitig eine geringe Fehlerquote zu ermöglichen. Dem gegenüber steht der vergleichsweise hohe technische Aufwand für die Umsetzung detaillierter Assistenz.

Industrielle Anwendungsmöglichkeiten der Ergebnisse sind einerseits die Anpassung und Weiterentwicklung der AR-Assistenzfunktionen auf die realen Arbeitsprozesse eines Unternehmens. Die Erprobung der AR-Assistenzfunktionen in einer realen Arbeitsumgebung würde weitere wertvolle Erkenntnisse für die Einsatzpotenziale und die menschengerechte Gestaltung derartiger Assistenzsysteme liefern.

## 7 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

### 7.1 Durchgeführte Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum / Zeitraum
1. Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses	Vorstellung Projektziele, Stand der Technik und Demonstration bestehender AR-Assistenzsysteme/AR-Hardware, Absprache der Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des PA, Vorbereitung der geplanten Fallstudie	BIBA, Auditorium und BIBA-Forschungshalle	29.09.2022 / 9-13 Uhr
Erstellen einer Website zur Veröffentlichung von Projektinformationen, Zwischenergebnisse und des Leitfadens	Erzeugung von Aufmerksamkeit für das Projekt. Zentrale Informationsquelle für die genannten Themen außerhalb des Projektes	ar-improve.biba.uni-bremen.de	Fortlaufend, beginnend mit Projektstart, Letzte Aktualisierung 31.10.2024, Weitere Aktualisierung nach Abschluss der Studie geplant (Dezember 2024)
Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses durch Abschlussarbeiten, Dissertationen sowie Lehrprojekte	Transfer der Ergebnisse und Inhalte. Unterstützung in der Umsetzung des Projektes	Universität Bremen, BIBA Abgeschlossen: 4 Masterarbeiten, 2 Lehrprojekte (Master) Laufend: 1 Masterarbeit 1 Dissertation	Fortlaufend, beginnend mit Projektstart
Wissenschaftliche Verwertung in Form von Publikationen in Fachzeitschriften sowie der Präsentation auf Messen/ Fachkonferenzen	Veröffentlichung der Ergebnisse zu Erweiterung des Stands der Wissenschaft. Förderung des wissenschaftlichen	2 Konferenzbeiträge	Fortlaufend, beginnend 9 Monate nach Projektstart

	Austausches und Diskussion	1 Artikel für Fachzeitschriften  1 Printmedien  Bottler, S.: Aufbruch mit Augmented Reality, BVL- Magazin 2/2023	
2. Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses	Vorstellung und Diskussion Ergebnisse der Fallstudie, gemeinsame Festlegung von Entwicklungsschwerpunkten, Abstimmung Evaluationsparameter und Experimentdesigns für den Testaufbau	BIBA, Sitzung (hybrid)	06.06.2023 / 10-12 Uhr
Organisation eines Workshops zu AR-Assistenzsystemen in der Intralogistik	Präsentation der vorläufigen Projektergebnisse zum Wissenstransfer ggü. potenziellen Anwender*innen, Evaluation des Leitfadens	2 Projektvorstellung und Diskussion  Praxisforum Digitalisierung des Mittelstand Digital Zentrums Bremen-Oldenburg im CORE Oldenburg, 12.04.2024, 13-19 Uhr  Digitale Innovation in der Industrie und im Mittelstand: Künstliche Intelligenz als Standortvorteil, Handelskammer Bremen/Bremerhaven, Bremerhaven,	22 Monate nach Projektstart  Termine siehe Spalte Ort/Rahmen

		26.11.2024, 15-19 Uhr  3 Präsentation vorläufiger Projektergebnisse  Vorstellung der binokularen Datenbrille in den Unternehmen als Ausblick auf die geplante Nutzerstudie  Focke, Verden, 09.09.2024  F.W. Neukirch, Bremen, 11.09.2024  Bruker Daltonics, Bremen, 16.09.24	
Teilnahme an der Nutzerstudie	Teilnahme von Mitarbeitenden der Unternehmen des PA an der Nutzerstudie	BIBA, Testaufbau AR Improve	Ab Oktober 2024 (siehe eingereichte Formulare vAW)

## 7.2 Geplante Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Zeitraum
Wissenschaftliche Verwertung in Form von Publikationen in Fachzeitschriften sowie der Präsentation auf Messen/ Fachkonferenzen	Veröffentlichung der Ergebnisse zu Erweiterung des Stands der Wissenschaft. Förderung des wissenschaftlichen Austausches und Diskussion	Geplant: 1 Konferenzbeitrag: Ergebnisse Vorstudie 1 Journalbeitrag: Ergebnisse der Nutzerstudie	Fortlaufend
3. Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses	Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse der Nutzerstudie, Vorstellung und Diskussion des interaktiven Leitfadens	BIBA, Sitzung geplant am 17.12.2024	23 Monate nach Projektstart, Projekt wurde nicht wie beantragt

			verlängert, daher findet dieses Treffen nach der offiziellen Projektlaufzeit statt
Weiterentwicklung der Forschungsinhalte im Rahmen eines Folgeprojektes	Weiterentwicklung des Leitfadens für andere (produktions-)logistische Anwendungsbereiche; Vertiefung der MTI (u. a. Interaktionsform, Nutzer*innenschnittstelle, Akzeptanz) mit interessierten KMU (PA und weitere)	BIBA Planung Antragseinreichung über eine andere Forschungsvereinigung, da aktuell keine Einreichung über BVL möglich; inhaltlicher Schwerpunkt: Vertrauen der Nutzer in KI-Funktionen; aktueller Stand: Anwerbung von Unternehmen für den PA	Direkt nach Projektende
Fortlaufende Verbesserung des Leitfadens entsprechend des Feedbacks von Anwender*innen (u. a. aus dem PA)	Steigerung der Anwendbarkeit des Leitfadens	BIBA	ca. ein Jahr nach Projektende
Verbreitung der Arbeitsergebnisse in Form von Publikationen in Fachzeitschriften und auf Konferenzen	Anwender*innenakquise für den Leitfaden und/ oder Folgeprojekte, Generierung von Feedback	Zeitschriften (z. B. Logistik heute); Konferenzen (z. B. Deutscher Logistik-Kongress)	ca. ein Jahr nach Projektende

### 7.3 Einschätzung der Realisierbarkeit dieses Transferkonzepts

Das vorgestellte Transferkonzept ist allgemein als realistisch einzustufen. Die Vorlage dieses Schlussberichtes fasst die wichtigsten Ergebnisse des Projektes zusammen. Hierauf aufbauend sind weitere Veröffentlichungen sowohl in wissenschaftlichen Fachzeitschriften als auch in anwendungsnahen Publikationen und auf Messen geplant. Der Testaufbau erlaubt darüber hinaus die Projektergebnisse greifbar einem größeren Publikum vorzustellen. Gleichzeitig erlaubt der Aufbau in der Forschungshalle des BIBA eine direkte Weiterentwicklung des Systems. Unter

anderem bildet das System die Basis für das Folgeprojekt „AxL“, welches auf den Erkenntnissen dieses Projektes aufbaut und für die Einreichung geplant ist. „AxL“ soll das Zusammenspiel zwischen Mensch und Assistenzsystem näher untersuchen, wenn KI für die Entscheidungsunterstützung zum Einsatz kommt.

#### *Veröffentlichungen*

Quandt, M.; Stern, H.; Kreutz, M.; Freitag, M.: Challenges in Designing and Implementing Augmented Reality-Based Decision Support Systems for Intralogistics APMS 2023 ( Trondheim, Norwegen), DOI [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43662-8\\_57](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43662-8_57)

Stern, H.; Diedrich, R.; Freitag, M.: Cognitive Assistance Systems in Intralogistics: A User Study on the Effects of Varying Levels of Customization. In: Schlund, S.; Ansari, F. (eds.): IFAC-PapersOnLine 58(2024)19. Proc. of 18th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2024, Elsevier, Amsterdam, NL, 2024, pp. 1102-1107, DOI 10.1016/j.ifacol.2024.09.121

Quandt, M.; Stern, H.; Kreutz, M.; Freitag, M.: Intelligente AR-basierte Assistenzsysteme: Bedarfsgerechter Einsatz von Augmented Reality (AR) in der Intralogistik. In: WT Werkstattstechnik, 114(2024)6, S. 325-333, DOI 10.37544/1436-4980-2024-06-77



## 8 Literaturangaben

- [Brooke 1996] Brooke, J.: SUS: A quick and dirty usability scale. London: Taylor & Francis, 189–194 (1996).
- [Dey 2018] Dey, A., Billingham, M., Lindeman, R. W., Swan, J. E.: A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability Studies. 2005 to 2014. *Front. Robot. AI* 5, 1–28 (2018).
- [Egger 2020] Egger, J.; Masood, T. (2020): Augmented reality in support of intelligent manufacturing – A systematic literature review. In: *Computers & Industrial Engineering* 140, 106195
- [Glockner 2014] Glockner, H. et al. (2014): Augmented reality in logistics. Changing the way we see logistics - a DHL perspective.
- [Kim 2019] Kim, S., Nussbaum, M., Gabbard, J. (2019): Influences of augmented reality head-worn display type and user interface design on performance and usability in simulated warehouse order picking. *Applied Ergonomics* 74, 186–193.
- [Laugwitz 2008] Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In A. Holzinger (Hrsg.), *HCI and Usability for Education and Work* (S. 63–76). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6)
- [Mayring 2015] Mayring, P. (2015) *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 12. Aufl. Weinheim: Beltz.
- [Vi 2019] Vi S., da Silva T.S., Maurer F. (2019) *User Experience Guidelines for Designing HMD Extended Reality Applications*. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 11749. Springer, Cham.
- [Yin 2018] Yin, R. K. (2018) *Case study research and applications. Design and methods*. Sixth edition. Los Angeles: SAGE.