

## Bedarfsgerechter Einsatz von Augmented Reality (AR) in der Intralogistik

# Intelligente AR-basierte Assistenzsysteme

M. Quandt, H. Stern, M. Kreutz, M. Freitag

**ZUSAMMENFASSUNG** Die Nutzbarmachung der Potenziale von intelligenten AR-Assistenzsystemen zur Entscheidungsunterstützung in der Intralogistik ist eng mit ihrer bedarfsgerechten Gestaltung entsprechend der technologischen Möglichkeiten dieser Systeme und der prozessspezifischen Anforderungen verbunden. Dieser Beitrag beleuchtet diese Potenziale und befasst sich mit der Ableitung und Entwicklung eines Testaufbaus zur Vorbereitung einer studienbasierten Untersuchung verschiedener derartiger Gestaltungsvarianten. Daraus folgt die Erstellung eines Leitfadens, der prozessabhängig gezielte Empfehlungen enthält.

## Intelligent AR-based assistance systems

**ABSTRACT** Making use of the potential of intelligent AR assistance systems for decision support in intralogistics is closely linked to their tailored design in accordance with the technological possibilities of these systems and the process-specific requirements. This article sheds light on this potential and deals with the derivation and development of a test setup for the preparation of a study-based investigation of different design variants. The overall aim is to create a guideline that contains specific recommendations depending on the specific process.

### STICHWÖRTER

Logistik, Arbeitsorganisation, Forschung

## 1 Einleitung

Augmented Reality (AR) bietet die Möglichkeit, virtuelle Informationen in die reale Welt zu integrieren, um Nutzern und Nutzerinnen ein erweitertes Bild der Realität anzeigen zu können [1].

Verschiedene Forschungsarbeiten unterstreichen das Potenzial des Einsatzes AR-basierter Assistenzsysteme [2–5] und der resultierenden Optimierung von Arbeitsprozessen durch Unterstützungsfunktionen in der Intralogistik [6]. Hier bestehen vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für AR-basierte Assistenzsysteme, wie zum Beispiel

- die gezielte und kontextabhängige Einblendung virtueller Informationen bei der Ausführung von Kommissionierungsaufgaben oder
- die optische Ergebnisprüfung durch die Einbindung bildbasierter Erkennungsmethoden.

Erste derartige Systeme sind bereits am Markt verfügbar (wie Pick-it-Easy [7], xPick [8]), nutzen aber die technologischen Möglichkeiten der AR-Technik für eine intuitive Mensch-Technik-Interaktion nicht aus, da überwiegend statische Einblendungen ohne Verbindung zur Arbeitsumgebung eingesetzt werden. Über diesen Anwendungsfall hinaus sind weiterhin nur prototypische Systeme verfügbar, obwohl auch in den Bereichen Warenausgang, Lagerhaltung, Verpackung sowie Warehousemanagement deutliches Potenzial für den Einsatz von AR-Assistenzsystemen identifiziert wurde [2]. Vor allem kleinen und mittleren Unter-

nehmen (KMU) fehlt bisher der Zugang zur AR-Technologie zur Unterstützung und Optimierung der Arbeitsprozesse.

Entscheidend für die Erschließung dieses Potenzials ist die bedarfsgerechte Entwicklung und Optimierung der entsprechenden AR-Assistenzsysteme für den jeweiligen intralogistischen Arbeitsprozess. Dabei muss eine bestmögliche Zuordnung der Anforderungen seitens der Anwendenden und der Gestaltungsoptionen der AR-Assistenzsysteme erfolgen. So ergeben sich einerseits aus dem Arbeitsprozess vielfältige Anforderungen, die beispielsweise tätigkeits- und prozessspezifisch (wie Arbeitsumgebung, Art und Ablauf der Aufgabe) begründet sein können. Andererseits weist AR vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten auf, etwa bei der zu verwendenden Hardware (wie Datenbrillen, Handheld-Geräte), der genutzten Interaktionsform zwischen Mitarbeitenden und Assistenzsystem (unter anderem Gestensteuerung, Touchinteraktion) und der Gestaltung der Benutzerschnittstelle.

Die bedarfsgerechte Gestaltung AR-basierter Assistenzsysteme für intralogistische Prozesse wurde bisher in der Wissenschaft noch nicht näher untersucht. Dieser Beitrag hat daher zum Ziel anhand der Bedarfe und Anforderungen von KMU einen Teststand zu entwickeln, welcher die systematische Untersuchung verschiedener Gestaltungsoptionen von AR-Unterstützungsfunktionen mit Systemnutzenden erlaubt. Auf dieser Grundlage soll ein Leitfaden für die Entwicklung intelligenter AR-basierter Assistenzsysteme für die Intralogistik abgeleitet werden.

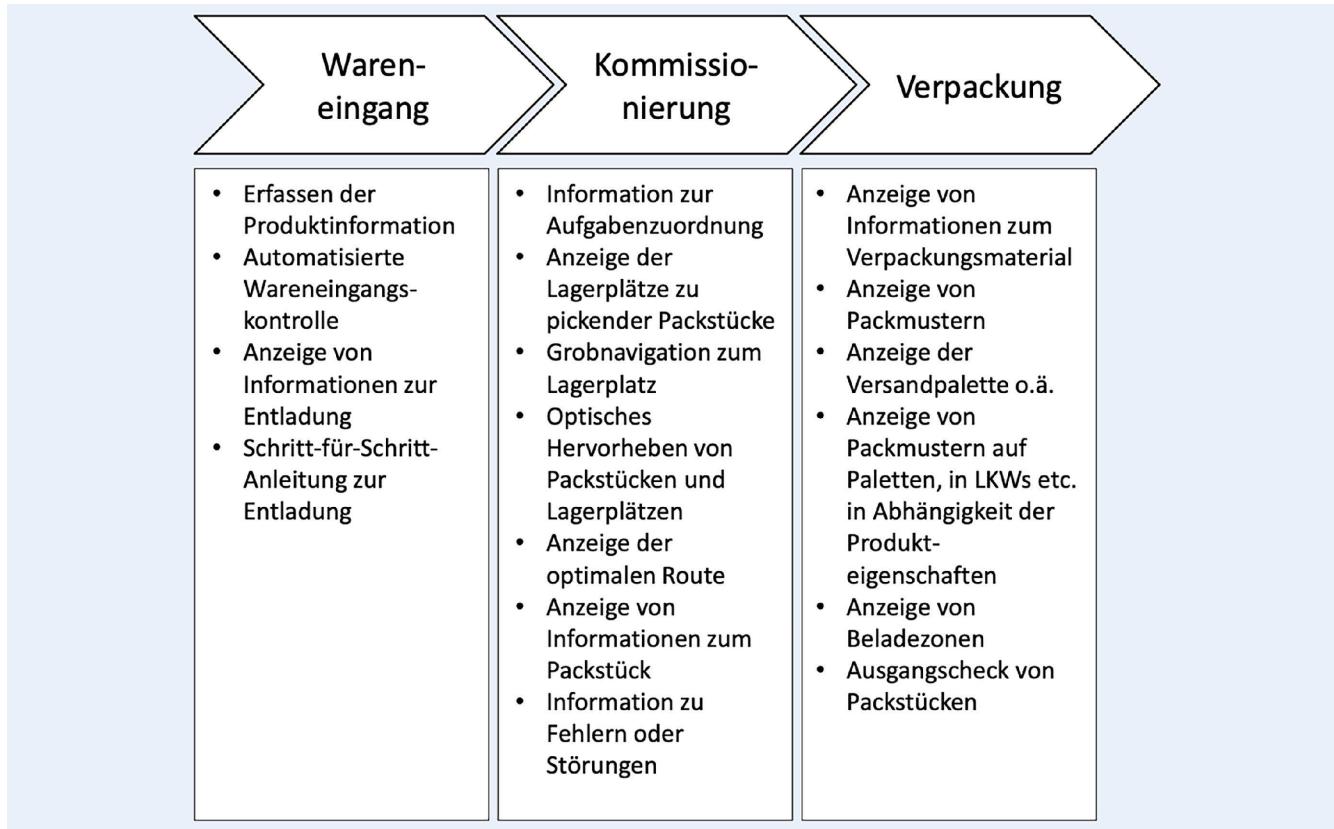


Bild 1. Mögliche Anwendungsfälle Augmented Reality (AR)-basierter Assistenzsysteme in der Intralogistik. Grafik: BIBA

## 2 AR-basierte Assistenzsysteme in der Intralogistik

In der Intralogistik bietet AR für zahlreiche manuelle Arbeitsprozesse mit hoher Fehlerrate ein großes Potenzial zur Unterstützung durch die mobile Bereitstellung von Zusatzinformationen. Bild 1 zeigt die bisherigen Use Cases von AR-Anwendungen in der Intralogistik, geordnet nach Prozessbereichen [2].

Aufgrund der hohen operativen Komplexität und wirtschaftlichen Relevanz wurden die meisten AR-Applikationen im Bereich der Kommissionierung entwickelt [2]. Die mobile Unterstützung von Kommissionierprozessen ist von hohem Interesse, da die Mitarbeitenden von einer konstanten Informationsversorgung im Arbeitsprozess abhängig sind [9]. Zur Unterstützung der Kommissionierung werden zahlreiche verschiedene Assistenzsysteme verwendet. Dabei werden unter anderem Pick-by-Light-Systeme, welche die Kommissionierenden mit Lichtsignalen zu den jeweiligen Packstücken führen oder Pick-by-Display-Systeme, welche die Kommissionierdaten auf mobilen Datenterminals bereitstellen, eingesetzt [10]. In Pick-by-Vision-Systemen wird Augmented Reality zudem als Assistenztechnologie in der Kommissionierung verwendet. In diesem Einsatzgebiet kann insbesondere durch die Verwendung von Head Mounted Displays (HMD) eine Informationsbereitstellung im Sichtfeld ohne Einschränkung der Bewegungsfreiheit der Kommissionierenden ermöglicht werden. Die Hände bleiben somit frei für das Materialhandling.

Für die Kommissionierung wurden in den letzten Jahren mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der AR-Hardware einige Assistenzsysteme in der Praxis eingeführt. Diese Systeme basieren auf unterschiedlichen Hardwarekonfigurationen und dienen vor-

rangig der schnellen und fehlerfreien Bearbeitung der Kommissionieraufträge. Bisher wurden vorwiegend statische, textbasierte virtuelle Einblendungen verwendet, die in keiner Beziehung zur realen Umgebung der Nutzenden stehen [4, 11]. Aufgrund der verwendeten AR-Hardware und dem fehlenden Bezug zwischen virtuellen Inhalten und Realität spielt in den bisherigen AR-Assistenzsystemen eine optimierte Interaktion zwischen Mensch und Technik nur eine untergeordnete Rolle. Durch die Verwendung aktueller AR-Hardware in Verbindung mit Sensorik sowie bildverarbeitenden Verfahren können die Interaktionsmöglichkeiten erweitert, reale Objekte kontextbezogen mit virtuellen Objekten überlagert sowie eine Interaktion zwischen Nutzenden und dreidimensionalen virtuellen Inhalten ermöglicht werden [1]. Auf diese Weise kann das Potenzial der kontextsensitiven Informationsbereitstellung im Arbeitsprozess genutzt werden.

In der Forschung wurde dies bereits für verschiedene Aspekte untersucht. So wurde etwa die Grob- und Feinnavigation von Kommissionierenden hinsichtlich der visuellen Umsetzung einer Nutzer- und Blickführung durch den Arbeitsprozess erforscht. Die Eignung einzelner visueller Darstellungselemente, wie etwa einen visuellen Tunnel für die Blickführung bei der Warenentnahme aus Behältern zu verwenden, konnte durch Nutzerstudien nachgewiesen werden [5, 6]. Auf dieser Basis konnte in weiteren Nutzerstudien gezeigt werden, dass durch die Nutzung der AR-basierten Assistenzsysteme in der Kommissionierung eine höhere Effizienz bei geringerer Fehleranzahl gegenüber Pick-by-Light- oder Pick-by-Paper-basierten Assistenzsystemen erreicht werden kann [12, 13]. Durch die Untersuchung des Einflusses der AR-Hardwareauswahl und der unterschiedlichen Gestaltung von Benutzeroberflächen auf die Arbeit von Kommissionierenden

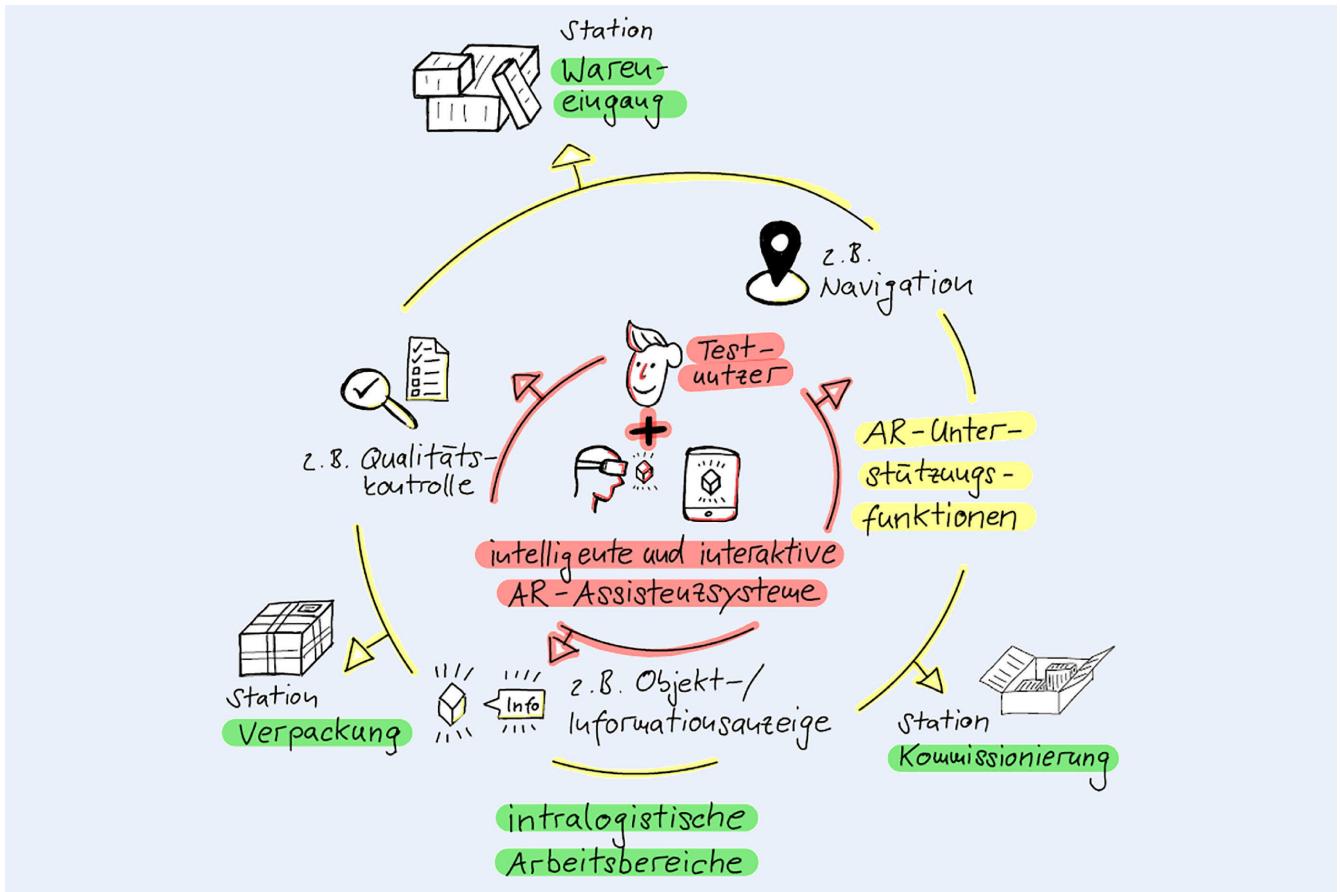


Bild 2. Testaufbau zur nutzerbasierten Evaluation intralogistischer AR-Assistenzfunktionen. Grafik: BIBA

in einer Laborumgebung konnte gezeigt werden, dass die Akzeptanz AR-basierter Assistenzsysteme durch die Nutzenden in einem starken Zusammenhang mit der Hardwareauswahl und der Gestaltung der Mensch-System-Interaktion steht. Eine Überprüfung dieser Erkenntnisse in der Praxis steht bisher aus [3].

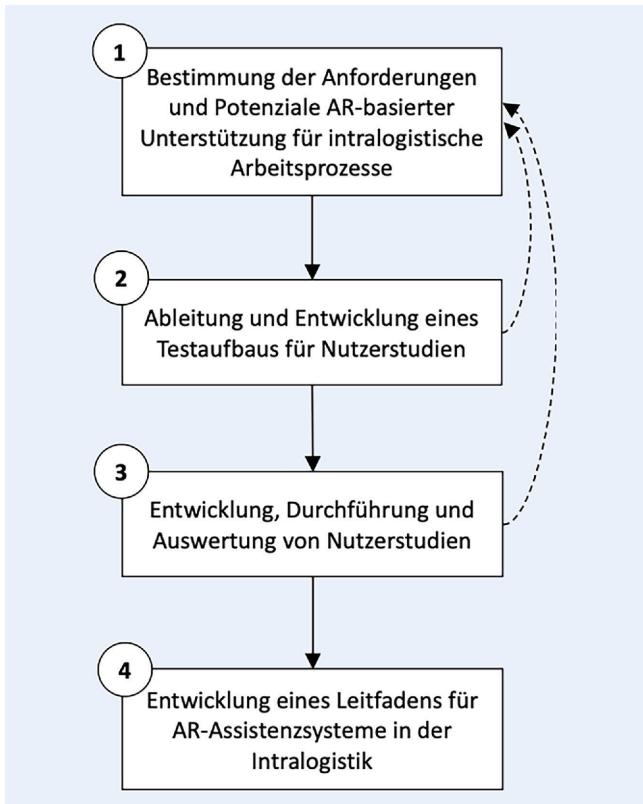
Ein Einsatz in weiteren Prozessbereichen der Intralogistik fehlt bislang. Der bisher nur vereinzelte AR-Einsatz in der täglichen Praxis liegt in den komplexen Anforderungen industrieller Anwendungsfelder begründet, welche den Bereichen Nutzenden, Technik, Arbeitsumgebung, Richtlinien und Gesetze oder ökonomischen Faktoren zuzuordnen sind [14, 15]. Das hohe generelle Potenzial für den Einsatz von AR als Assistenztechnologie logistischer Prozesse kann nur genutzt werden, wenn diese Aspekte etwa durch eine dem Anwendungsfall entsprechende Hardwareauswahl, eine prozessoptimale Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion und eine nutzergerechte Systemgestaltung berücksichtigt werden [16].

### 3 Zielstellung und Vorgehen

Ausgehend vom hier dargestellten Stand der Forschung zum Einsatz AR-basierter Assistenzsysteme in der Intralogistik liegt diesem Beitrag die Arbeitshypothese zugrunde, dass derzeit eine mangelnde Entscheidungsunterstützung und Hilfestellung bei der Konzeption von intelligenten und interaktiven AR-Assistenzsystemen deren großes Unterstützungspotenzial in der Intralogistik weitgehend ungenutzt lassen [2, 3, 5, 12, 13].

Die Durchführung von Nutzerstudien mit repräsentativen Testnutzenden für einen Erkenntnisgewinn zu den genannten Bewertungskriterien sowie die Ableitung eines entsprechenden interaktiven Leitfadens sind geeignete Mittel, um diese Forschungslücke zu schließen [17]. Zur Erreichung der Zielsetzung werden verschiedene intelligente und interaktive AR-Assistenzsysteme zu Evaluationszwecken unter Verwendung verschiedener AR-Gestaltungsoptionen (zum Beispiel Auswahl der Hardware, Einbezug bildverarbeitender Verfahren oder Konzeption der Mensch-Technik-Interaktion) für verschiedene, zentrale intralogistische Arbeitsprozesse (zum Beispiel Wegführung in der Kommissionierung oder Informationsanzeige in der Verpackung) entwickelt (Bild 2).

Mit einem Testaufbau, der verschiedene intralogistische Arbeitsprozesse repräsentativ abbildet, wird dann eine umfangreiche Nutzerstudie durchgeführt. Dabei führen Nutzende intralogistische Arbeitsaufgaben unter Verwendung der zuvor entwickelten AR-Assistenzsysteme durch. Ein geeigneter Versuchsplan erlaubt dabei die Gegenüberstellung und den Vergleich verschiedener verwendeter AR-Gestaltungsoptionen oder entsprechender Kombinationen zur anschließenden Ableitung eines Leitfadens. Dieser Leitfaden soll eine fundierte Grundlage für den Einsatz und die Ausgestaltung geeigneter AR-Assistenzsysteme für die Intralogistik in KMU bieten. Die Entscheidung erfolgt anhand von technologie-, prozess-, und menschzentrierten Bewertungskriterien (wie etwa mögliches Funktionsspektrum, resultierendes Unterstützungs потенциал oder Grad der Nutzerakzeptanz des Assistenzsystems). Da die Relevanz der verschiedenen Anforderungen



**Bild 3.** Vorgehen zur methodischen Entwicklung des Leitfadens. *Grafik: BIBA*

und Gestaltungsmöglichkeiten sowie der genannten Bewertungskriterien in direktem Zusammenhang zum jeweiligen Anwendungsfall stehen, ist ein Leitfaden nötig, der unter Abfrage der Charakteristika des Anwendungsfalls und der verbundenen Ist-Prozesssituation gezielte und begründete Gestaltungsempfehlungen ausgibt.

Aufgrund der Vielzahl möglicher Hardwarekonfigurationen und den davon abhängigen Interaktionsformen, 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 (zum Beispiel ausreichende Robustheit der AR-Hardware für die Anwendungsumgebung oder Steigerung der Arbeitseffizienz gegenüber dem aktuellen Arbeitsprozess) von Entscheidungstragenden eines Logistikanwenders derzeit nur schwer leistbar. Zur Konzeption und Gestaltung AR-basierter Assistenzsysteme stehen den Entscheidungstragenden bisher nur wenige Guidelines und Richtlinien zur Verfügung, da die Verknüpfung von realer Arbeitsumgebung mit virtuellen Informationen gegenüber der Gestaltung klassischer Desktopanwendungen neue Herausforderungen für die Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion mit sich bringt [18].

Die Bereitstellung eines Leitfadens ermöglicht Entscheidungstragenden mit dem Ziel der Optimierung der intralogistischen Prozesse fundierte Entscheidungen über die Einführung und die Ausgestaltung von AR-Assistenzsystemen zu treffen ohne detaillierte Kenntnisse zur AR-Technologie. Auf diese Weise können die entstehenden Entwicklungsaufwände eingeschätzt und dem

Nutzen der Anwendung im täglichen Arbeitsprozess gegenübergestellt werden. Der wissenschaftliche Schwerpunkt der Leitfadenentwicklung liegt in der Berücksichtigung der Nutzeranforderungen in der Systementwicklung, da die Nutzerakzeptanz der entwickelten AR-Assistenzsysteme durch Faktoren wie etwa der Erhöhung der Usability und User Experience oder der Berücksichtigung von ergonomischen Faktoren wesentlich verbessert werden kann [16, 19]. Die Berücksichtigung der Anforderungen der Unternehmen reduziert die Barrieren gegenüber dem Einsatz der AR-Technologie in der täglichen Praxis. Bedarfsgerechte AR-Assistenzsysteme tragen zur Beschleunigung und Optimierung betrieblicher Abläufe bei und ermöglichen eine Adaption an die Qualifikationen der Mitarbeitenden.

Für KMU bietet der Leitfaden eine Basis für die Entscheidung über die Einführung eines AR-Systems zur Lösung eines bestimmten Problems, bevor Kosten für die Anschaffung von AR-Hardware oder Entwicklungskosten für die zugehörige Software entstehen. So kann unter anderem eine höhere Investitionssicherheit im Spannungsfeld einer teilweise fachfremden Problemstellung, eine Steigerung der betrieblichen Leistungsfähigkeit mit der Einführung bedarfsgerechter AR-Assistenzfunktionen oder eine Reduzierung der Auswirkungen des Fachkräftemangels auf die Unternehmensprozesse durch die Anpassung der Assistenzfunktionen auf das Qualifikationsniveau der jeweiligen Mitarbeitenden erreicht werden. Der Leitfaden trägt dazu bei, dass KMU das große Potenzial der Arbeitsprozessunterstützung durch AR-basierte Assistenzsysteme erschließen und die Arbeitsprozesse nach den individuellen Bedarfen effizienter gestalten können.

## 4 Ableitung eines Versuchsaufbaus

Zur Erreichung der in Kapitel 3 dargestellten Forschungsziele und den systematischen Test der Potenziale intelligenter AR-basierter Assistenzsysteme in der Intralogistik wird entsprechend der in **Bild 3** dargestellten Methodik vorgegangen. Dieser Beitrag umfasst die Schritte 1 und 2, deren Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden. Anschließend folgt ein Ausblick auf die geplanten Schritte 3 und 4 in Kapitel 5.

### 4.1 Bestimmung der Anforderungen und Potenziale AR-basierter Unterstützung

Zunächst wurden in einer Fallstudie intralogistische Arbeitsprozesse mit hohem AR-Unterstützungspotenzial, die entsprechenden Anforderungen der Praxis an die AR-Assistenzsysteme sowie die damit verbundenen Potenziale ermittelt. Hierzu wurde in [20] eine Befragung von Fachkräften aus der Praxis durchgeführt, um die wichtigsten Einflussfaktoren für die Entwicklung und Einführung bedarfsgerechter AR-Assistenzsysteme zu erfassen. Diese Vorauswahl wurde in weiteren Begehungen und Workshops mit den Fachkräften aus der Praxis diskutiert und priorisiert. In der Fallstudie (Vorgehensweise nach Yin [21]) wurden Fachkräften aus der Praxis aus insgesamt zehn Unternehmen befragt, die intralogistische Prozesse durchführen. Dabei handelte es sich um Unternehmen aus den Bereichen Maschinenbau (1), Medizintechnik (2), Bau (1), Logistik (2), Softwareentwicklung (2), IT-Sicherheit (1) und Logistikberatung (1). Bei fünf dieser Unternehmen wurden zusätzlich Begehungen der intralogistischen Prozesse durchgeführt. Weitere Details zur Vorgehensweise bei Interviews und Begehungen finden sich in [20].

**Tabelle.** Einflussfaktoren für die Entwicklung und Einführung bedarfsgerechter AR-Assistenzsysteme in der Intralogistik [20].

| ID                 | Ergebnis  |
|--------------------|---|
| Nutzende           |   |
| A                  | Assistenzsystem muss Mehrwert bieten  |
| B                  | Akzeptanz der Nutzenden spielt eine besondere Rolle   |
| C                  | Hohe Gebrauchstauglichkeit (Usability), die über die tatsächlichen Nutzenden erhoben werden muss                    |
| D                  | Keine kognitive oder physische Belastung, zum Beispiel durch Bewegungseinschränkungen oder Schwindelgefühle         |
| System/Technologie |   |
| E                  | Niedriger Aufwand und Kosten für die Entwicklung  |
| F                  | Kurze Amortisierungszeiten (werden für AR als länger bewertet)  |
| G                  | Einfache Datenpflege und Wartung in Verbindung mit dem Assistenzsystem  |
| H                  | Hohe Verlässlichkeit  |
| I                  | Niedriger Aufwand, um die Daten innerhalb der bestehenden IT-Landschaft für ein neues Assistenzsystem aufzubereiten |
| Prozess            |   |
| J                  | Assistenzsystem muss die Prozessgeschwindigkeit in der Intralogistik verbessern                                     |
| K                  | Funktionen des Assistenzsystems müssen zu den bestehenden Prozessen passen und diese sinnvoll unterstützen          |
| Implementierung    |   |
| L                  | Graduelle Einführung von Assistenzsystemen, um Akzeptanz zu fördern   |
| M                  | Niedrige Implementierungskosten   |

Es ergaben sich im Kern Einflussfaktoren folgender Kategorien: Nutzende, System/Technologie, Prozess sowie Implementierung des einzuführenden Systems, siehe **Tabelle** [20].

Zudem konnten durch die Fallstudie diejenigen intralogistischen Arbeitsprozesse identifiziert werden, die besonderes Potenzial für eine AR-Unterstützung aufweisen. Für diese Prozesse wurden zudem in Zusammenarbeit mit den Fachkräften aus der Praxis mögliche Funktionen ermittelt, die mittels AR angezeigt werden könnten (**Bild 4**).

## 4.2 Ableitung und Entwicklung des Testaufbaus für Nutzerstudien

Aufbauend auf den Ergebnissen der Fallstudie wurden die ermittelten intralogistischen Arbeitsprozesse sowie die Einflussfaktoren rund um die Entwicklung und Einführung dieser Systeme in die Planung und Umsetzung eines Testaufbaus überführt. Der Testaufbau besteht im Kern aus den intralogistischen Arbeitsprozessen, die wiederholt im Rahmen der Interviews genannt oder im Rahmen der Begehungen angetroffen wurden: Wareneingang, Qualitätssicherung, Kommissionierung sowie Verpackung.

Aus Funktionsicht ergaben sich für die Arbeitsprozesse Wareneingang und Qualitätssicherung Überschneidungen innerhalb der mittels AR-Assistenzsystemen sinnvoll umsetzbaren Unterstützungsfunktionen (zum Beispiel in Form einer visuellen Zustandsprüfung, die in beiden Prozessen auftreten kann). Es wurde daher entschieden, für den Testaufbau auf einen gesonderten Aufbau der Qualitätssicherung zu verzichten.

Der Testaufbau besteht folglich aus drei Arbeitsstationen, die jeweils einen der drei Arbeitsprozesse Wareneingang, Kommissio-

nierung und Verpackung abbilden und ein realitätsnahe intralogistisches Arbeitsumfeld erzeugen. Der Testaufbau sieht die durchgehende Bearbeitung logistischer Teilaufgaben an einem (fiktiven) Produkt vor. Das Produkt ist eine einfache Wetterstation. Diese Wetterstation wird zunächst in Einzelteilen im Warenaeingang angeliefert und geprüft. Die gelieferten Teile werden an dieser Stelle einer manuellen Eingangsprüfung unterzogen, die im Ergebnis alle korrekten Teile für die Einlagerung vorbereitet und defekte oder falsche Teile aussortiert. Anschließend wird im zweiten Arbeitsprozess der Kommissionierung – die Wetterstation ist bereits montiert und funktionsfähig, die Montage wird nicht betrachtet – zusammen mit Zubehörteilen aus einem Regal auftragsgerecht entnommen. Neben den eigentlichen Wetterstationen handelt es sich bei diesen Zubehörteilen zum Beispiel um passende Netzteile oder Befestigungsmaterialien. Im abschließenden Prozess der Verpackung werden die Aufträge (das heißt Wetterstationen und Zubehör) für den Versand vorbereitet. Dies umfasst zunächst eine Vorverpackung der Zubehörteile, etwa mittels Schutzfolien, und die Anordnung der verschiedenen Auftragsbestandteile als festgelegtes Packmuster im Paket. Diese Prozesse sollen wie folgt in Form repräsentativer Arbeitsaufgaben innerhalb einer Nutzerstudie abgearbeitet werden (**Bild 5**).

Für die Arbeitsstationen wurden aus den ermittelten möglichen Unterstützungsfunktionen (siehe Bild 4) eine Auswahl zur Umsetzung getroffen. Dabei wurde sich an der Nennungshäufigkeit in der Fallstudie und an einer Priorisierung in Diskussion mit den Fachkräften aus der Praxis orientiert. Der Wareneingang wird durch eine automatische Fehlererkennung unterstützt, die den Mitarbeitenden eine Entscheidungshilfe für die Weiterleitung der Bauteile bietet (Unterscheidung in falsche Artikel, visuell er-

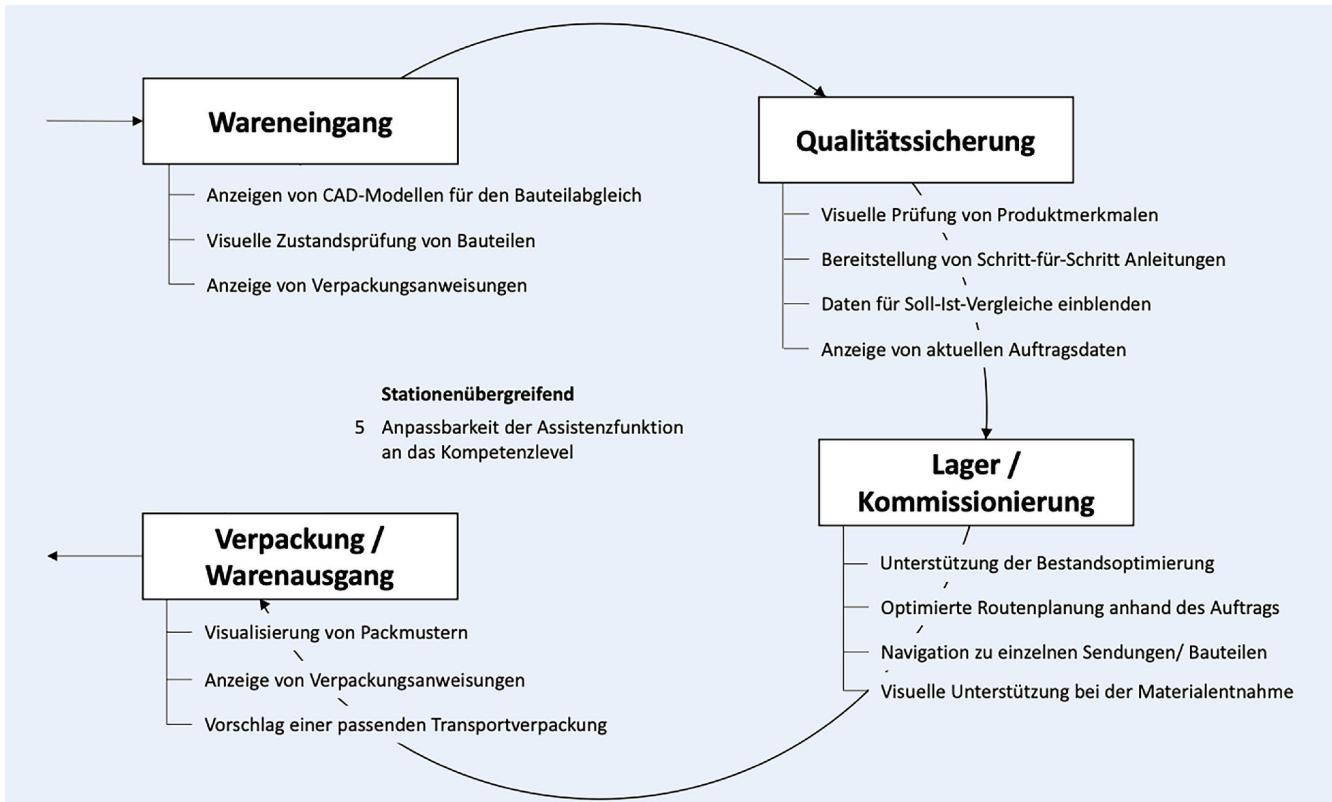


Bild 4. Arbeitsprozesse der Intralogistik mit Potenzialen für intelligente AR-Assistenzsysteme und entsprechende mögliche Unterstützungsfunktionen.  
Grafik: BIBA

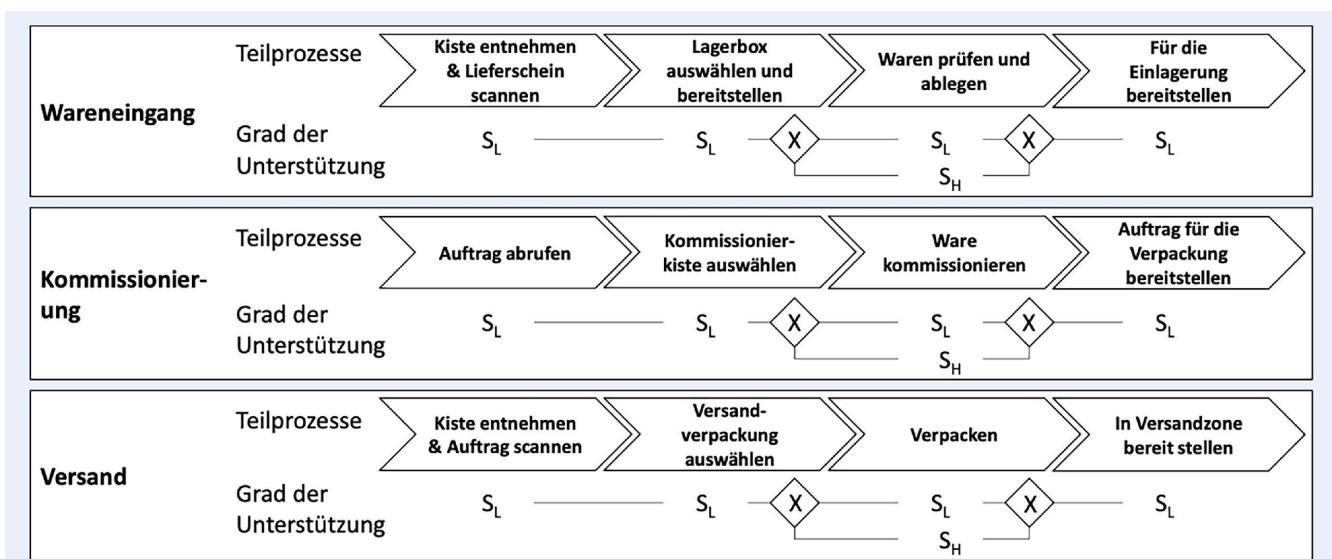


Bild 5. Im Testaufbau umgesetzte intralogistische Arbeitsprozesse mit Angabe der jeweiligen Arbeitsaufgaben innerhalb der Nutzerstudie. Grafik: BIBA

kennbare Fehler, fehlerfreie Artikel). Die Kommissionierung wird durch die visuelle Hervorhebung von Lagerplätzen unterstützt, die sowohl die Fehleranzahl als auch Suchzeiten reduzieren soll. Der Verpackungsprozess wird durch die passgenaue Einblendung virtueller Packmuster in eine Versandverpackung unterstützt.

Zur Untersuchung der Eignung verschiedener Grade der Unterstützung mittels AR-Funktionen wurden je zwei Abstufungen abgeleitet, die jeweils eine niedrige Unterstützung (englisch: low support, S<sub>L</sub>) und eine hohe Unterstützung bieten (englisch:

high support, S<sub>H</sub>). Dieser Grad der Unterstützung ergibt sich aus der Tiefe der Integration von Verfahren der künstlichen Intelligenz (KI) und/oder AR. Im Detail ergeben sich die folgenden Unterstützungsfunktionen bezüglich der Arbeitsstationen, die im Rahmen der Nutzerstudie untersucht werden:

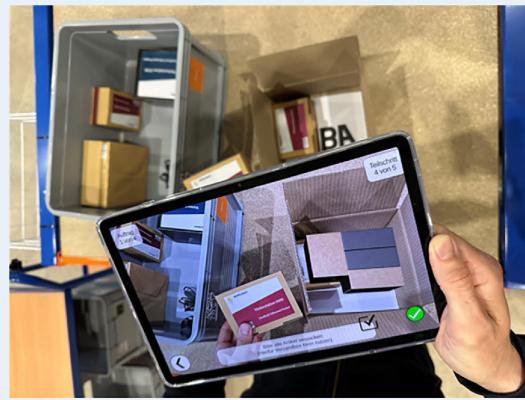
- Warenausgang:
  - S<sub>L</sub>: unterstützte Zustandsprüfung mittels Anzeige von 3D-Modellen
  - S<sub>H</sub>: unterstützte Zustandsprüfung mittels KI-Bilderkennung



Arbeitsprozess Wareneingang (links mit Tablet, rechts mit AR-Brille)



Arbeitsprozess Kommissionierung



Arbeitsprozess Verpackung

**Bild 6.** Testaufbau der intralogistischen Arbeitsprozesse unter Einbezug der AR-Assistenzsysteme (Tablet und AR-Brille). Foto: BIBA

#### - Kommissionierung:

- S<sub>L</sub>: unterstützte Navigation zu einzelnen Komponenten für die Entnahme anhand einer schematischen Darstellung der Lagerfläche
- S<sub>H</sub>: KI-unterstützte Navigation zu einzelnen Komponenten für die Entnahme mit virtueller Einblendung an der realen Lagerumgebung

#### - Verpackung:

- S<sub>L</sub>: unterstütztes Packen durch Visualisierung von Packmustern mit 3D-Modellen ohne Ortsbezug
- S<sub>H</sub>: unterstütztes Packen durch Visualisierung von Packmustern mittels AR in der Versandverpackung

Um die Abhängigkeit der Eignung der Unterstützungsfunktionen von der verwendeten Hardware zu untersuchen, erfolgt die Umsetzung auf verschiedenen Systemen: einem Tablet (Samsung Galaxy S9) sowie einer AR-Brille (Microsoft HoloLens 2). Diese Geräte sind verschiedenen Hardwaretypen zuzuordnen, die unterschiedliche Vorteile aufweisen (zum Beispiel Vorteil der freihändigen Bedienung bei AR-Brillen oder Vorteil der weitverbreiteten Touchinteraktion bei Tablets). Ziel ist es, diese Vorteile in die Nutzerstudie mit einfließen lassen zu können.

Die für den Testaufbau zentralen AR-Assistenzsysteme werden softwareseitig durch iterative Entwicklung der AR-Assistenzfunktionen auf dem Tablet und auf der AR-Brille umgesetzt. Für beide Geräte wird eine entsprechende App mittels „Unity/C#“ entwickelt mit weitgehend ähnlichem Aufbau, jedoch angepasst auf das Gerät (reguläre „Fensteransicht“ auf dem Tablet, freischwebende

UI-Elemente auf der HoloLens). Ein zusätzlicher Python-Server, mit dem sich die Apps verbinden, führt die komplexeren KI- und/oder Bildverarbeitungsalgorithmen aus, wie etwa die Fehlererkennung im Wareneingang oder die Regaleinblendung im Kommissionierprozess. AR-Funktionalitäten werden entweder über die „Vuforia“-Bibliothek oder die HoloLens-eigenen AR-Funktionen umgesetzt. KI-basierte Funktionen wurden durch neuronale Netze umgesetzt. **Bild 6** illustriert die drei Arbeitsstationen, zeigt die jeweils geplante Ausstattung zur Durchführung der Arbeitsaufgaben sowie die einzusetzenden AR-Assistenzsysteme.

### 4.3 Weitere Schritte zur Ableitung des Leitfadens

Entsprechend der in Bild 3 dargestellten Methodik ist der nächstfolgende Forschungsschritt die Entwicklung, Durchführung und Auswertung von Nutzerstudien. Dieser baut auf dem entwickelten Testaufbau auf und befindet sich derzeit in Bearbeitung. In diesem Schritt ist vorgesehen, auf der theoretischen Grundlage des Design of Experiments einen Versuchsplan für die Durchführung der Nutzerstudien abzuleiten, der die systematischen Tests der entwickelten AR-Assistenzsysteme beziehungsweise Unterstützungsfunktionen innerhalb des Testaufbaus ermöglicht. Eine Festlegung der Messgrößen wie Durchlaufzeit, Fehlerrate oder körperliche Belastungen, erlaubt dabei 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 erlauben zusätzlich die Erhebung qualitativer Daten zu subjektiven Einschätzungen der Testnutzenden. Unterstützt durch die Fachkräfte aus der Praxis sollen Testpersonen akquiriert werden, welche die realen Nutzergruppen repräsentativ abbilden. Insgesamt sind verschiedene Testdurchläufe bestehend aus den beiden verschiedenen AR-Hardwaretypen (zum Beispiel Tablet und HMD) und den drei aufgebauten Arbeitsstationen beziehungsweise den zugrunde liegenden intralogistischen Prozessen (Wareneingang, Kommissionierung, Verpackung) vorgesehen.

Aufbauend auf die Nutzerstudien wird abschließend ein interaktiver Leitfaden entwickelt, der als Entscheidungsgrundlage für die Auswahl, die Gestaltung und den Einsatz von bedarfsgerechten AR-Assistenzsystemen in der Intralogistik dienen soll. Da bisher derartige Richtlinien und Guidelines fehlen, werden aus den Nutzerstudien die bestmöglichen Konfigurationen für AR-basierte Assistenzsysteme auf Basis der Inputparameter und der Studienergebnisse sowie der hier beobachteten Effekte ermittelt. Die Umsetzung des Leitfadens ist als interaktives, webbasiertes Tool geplant, das eine geführte Abfrage von Input-Parametern erlaubt, eine Präsentation von Begleitinformationen und Erläuterungen zur Entscheidungsunterstützung bietet und Alternativkonfigurationen aufzeigt.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag beschreibt die Ableitung eines Versuchsaufbaus für den systematischen Test der Potenziale intelligenter Augmented Reality (AR)-basierten Assistenzsysteme in der Intralogistik im Rahmen des Projektvorhabens „AR Improve“. Im Zuge einer Fallstudie wurden intralogistische Arbeitsprozesse mit hohem AR-Unterstützungspotenzial identifiziert und die Anforderungen sowie Potenziale der Praxis an AR-Assistenzsysteme ermittelt. Basierend auf den Ergebnissen der Fallstudie wurde ein Testaufbau entwickelt, welcher die intralogistischen Arbeitsprozesse Wareneingang, Kommissionierung und Verpackung abbildet. Verschiedene AR-Unterstützungsfunktionen wurden für die Arbeitsstationen abgeleitet, die auf Tablet und AR-Brillen umgesetzt wurden.

Weiterhin sind Nutzerstudien geplant, um die Systeme zu testen und qualitative sowie quantitative Daten zu erheben. Ein interaktiver Leitfaden soll auf Basis der Ergebnisse entwickelt werden, um die Auswahl und Gestaltung von AR-Assistenzsystemen in der Intralogistik zu unterstützen.

### FÖRDERHINWEIS

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und dem DLR-Projekträger (DLR-PT) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) für die Unterstützung im Projekt „AR Improve – Entwicklung eines Leitfadens für den bedarfsgerechten Einsatz von AR-basierten Assistenzsystemen in der Intralogistik“ der Bundesvereinigung Logistik (BVL) mit dem Förderkennzeichen 22458 N sowie der Universität Bremen für die Förderung des eigenständigen Postdoc-Projekts „Human Factors in Hybrid Cyber-Physical Production Systems“ durch die Zentrale Forschungsförderung der Universität Bremen.

### L iteratur

- [1] Mehler-Bicher, A.; Steiger, L.: Augmented Reality. Theorie und Praxis. 2. Auflage. Oldenbourg: Berlin 2014
- [2] Wang, W.; Wang, F.; Song, W. et al.: Application of Augmented Reality (AR) Technologies in inhouse Logistics. E3S Web Conf. 145 (2020), doi.org/10.1051/e3sconf/202014502018
- [3] Kim, S.; Nussbaum, M.; Gabbard, J.: Influences of augmented reality head-worn display type and user interface design on performance and usability in simulated warehouse order picking. Applied Ergonomics 74 (2019), pp. 186–193
- [4] Stoltz, M.-H.; Giannikas, V.; McFarlane, D. et al.: Augmented Reality in Warehouse Operations: Opportunities and Barriers. IFAC-Papers OnLine 50 (2017) 1, pp. 12979–12984
- [5] Schwerdtfeger, B.; Reif, R.; Günther, W. A. et al.: Pick-by-vision: There is something to pick at the end of the augmented tunnel. Virtual Reality 15 (2011) 2–3, pp. 213–223
- [6] Reif, R.; Günther, W.: Pick-by-vision: augmented reality supported order picking. The Visual Computer 25 (2009) 5–7, pp. 461–467
- [7] Knapp AG: Ergonomische Arbeitsstationen und belegloses Kommisionieren. Internet: [www.knapp.com/loesungen/technologien/moderne-arbeitsstationen-fuer-zufriedene-mitarbeiter/](http://www.knapp.com/loesungen/technologien/moderne-arbeitsstationen-fuer-zufriedene-mitarbeiter/). Zugriff am 13.06.2024
- [8] TeamViewer Germany GmbH: Logistikprozesse und Lagerhaltung mit Augmented Reality transformieren. Internet: [www.teamviewer.com/de/products/frontline/solutions/xpick/](http://www.teamviewer.com/de/products/frontline/solutions/xpick/). Zugriff am 13.06.2024
- [9] Barreto, L.; Amaral, A.; Pereira, T.: Industry 4.0 implications in logistics: an overview. Procedia Manufacturing 13 (2017), pp. 1245–1252
- [10] Baechler, A.; Baechler, L.; Autenrieth, S. et al.: A Comparative Study of an Assistance System for Manual Order Picking – Called Pick-by-Projection – with the Guiding Systems Pick-by-Paper, Pick-by-Light and Pick-by-Display. 49th Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE, 2016, pp. 523–531
- [11] Marks, A.: Wirtschaftliche Mitarbeiterqualifizierung durch lernorientierte Montagesystemgestaltung. Aachen: Apprimus Wissenschaftsverlag 2019
- [12] Guo, A.; Wu, X.; Shen, Z. et al.: Order Picking with Head-Up Displays. Computer 48 (2015), 6, pp. 16–24
- [13] Hanson, R.; Falkenström, W.; Miettinen, M.: Augmented reality as a means of conveying picking information in kit preparation for mixed-model assembly. Computers & Industrial Engineering 113 (2017), pp. 570–575
- [14] Lorenz, M.; Knopp, S.; Klimant, P.: Industrial Augmented Reality: Requirements for an Augmented Reality Maintenance Worker Support System. 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (IISMAR-Adjunct), Munich, Germany, 2018, pp. 151–153
- [15] Gattullo, M.; Evangelista, A.; Uva, A. E. et al.: What, How, and Why are Visual Assets used in Industrial Augmented Reality? A Systematic Review and Classification in Maintenance, Assembly, and Training (from 1997 to 2019). IEEE transactions on visualization and computer graphics 28 (2020) 2, pp. 1443–1456
- [16] Dey, A.; Billinghurst, M.; Lindeman, R. W. et al.: A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability Studies. 2005 to 2014. Frontiers in Robotic and AI 5 (2018) pp. 1–28
- [17] Stern, H.; Becker, T.: Concept and Evaluation of a Method for the Integration of Human Factors into Human-Oriented Work Design in Cyber-Physical Production Systems. Sustainability 11 (2019) 16, #4508
- [18] Dünser, A.; Billinghurst, M.: Evaluating Augmented Reality Systems. In: Furht, B. (Hg.): Handbook of augmented reality. New York: Springer 2011, pp. 289–307
- [19] Egger, J.; Masood, T.: Augmented reality in support of intelligent manufacturing – A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering 140 (2020), #106195
- [20] Quandt, M.; Stern, H.; Kreutz, M.: Challenges in Designing and Implementing Augmented Reality-Based Decision Support Systems for Intralogistics: A Multiple Case Study. In: Alfnes, E. (ed.): Advances in Production Management Systems. Heidelberg: Springer 2023, pp. 803–817
- [21] Yin, R. K.: Case study research and applications: Design and methods. Los Angeles: Sage 2018



Dipl.-Ing. Moritz Quandt

Foto: BIBA

qua@biba.uni-bremen.de

Tel. +49 421 / 218-50133

Markus Kreutz, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Michael Freitag

BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik

an der Universität Bremen

Hochschulring 20, 28359 Bremen

www.biba.uni-bremen.de

Dr.-Ing. Hendrik Stern

Prof. Dr.-Ing. Michael Freitag

Universität Bremen, Fachbereich Produktionstechnik

Badgasteiner Str. 1, 28359 Bremen

#### LIZENZ



Dieser Fachaufsatzt steht unter der Lizenz Creative Commons  
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)