

**BACHELORTHESIS**  
Svetlana Golovanev

# **Entwicklung eines ERP gestützten Kommissionierungs- assistenten mit Augmented Reality**

Für den Einsatz in kleinen  
und mittleren Unternehmen

---

**FAKULTÄT TECHNIK UND INFORMATIK**  
Department Informatik

Faculty of Computer Science and Engineering  
Department Computer Science

Svetlana Golovanev

Entwicklung eines ERP gestützten  
Kommissionierungsassistenten mit Augmented Reality:  
Für den Einsatz in kleinen und mittleren Unternehmen

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung  
im Studiengang *Bachelor of Science Angewandte Informatik*  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Olaf Zukunft  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Axel Wagenitz

Eingereicht am: 31. August 2023

**Svetlana Golovanev**

## **Thema der Arbeit**

Entwicklung eines ERP gestützten Kommissionierungsassistenten mit Augmented Reality –  
Für den Einsatz in kleinen und mittleren Unternehmen

## **Stichworte**

Augmented Reality, Logistik, Kommissionierung, KMU, ERP

## **Kurzzusammenfassung**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Machbarkeit von Entwicklung eines Augmented Reality (AR) Assistenzsystems zur Kommissionierung. Diese ist eine der wichtigsten Aufgaben der innerbetrieblichen Logistik eines Unternehmens. Hierbei wurden als Zielgruppe der Umsetzung kleine und mittlere Unternehmen (KMU) gewählt. Neben AR wird als eine weitere Digitalisierungsgrundlage eine Anbindung zu einem ERP-System, das als Lagerverwaltungssystem dient, sichergestellt.

Nach dem Erläutern grundlegender Begrifflichkeiten der Thematik, wird auf den Stand der Technik bei der Informationsbereitstellung der manuellen Kommissionierung eingegangen und die Vorteile bei der Kommissionierung mit AR näher beleuchtet. Für die Umsetzung wird anhand eines Modellaufbaus ein Kommissionierprozess abgebildet. Anschließend werden für das Assistenzsystem im Modellaufbau Anforderungen formuliert. Auf dieser Grundlage wird ein Softwaresystem entwickelt, welches mit minimalen Kosten für Anschaffungen der Hard- und Software realisierbar ist. Diese Umsetzung wird hinsichtlich Einsatzkriterien wie Latenzen und Genauigkeit untersucht.

Die Ergebnisse der Forschung bilden sich aus Messungen der Antwortzeiten von Interaktionen mit dem System, sowie Beobachtungen, die bei der Entwicklung entstanden sind. Die Resultate zeigen im untersuchten Rahmen einige Einschränkungen hinsichtlich zentraler Funktionen bei der Entwicklung des Systems auf, sowie Chancen zur Verbesserung.

---

**Svetlana Golovaney**

**Title of Thesis**

Development of an ERP aided order picking assistant with Augmented Reality –  
For deployment in small and medium-sized enterprises

**Keywords**

Augmented Reality, Logistics, order picking, SMEs, ERP

**Abstract**

The objective of this thesis is to investigate the feasibility of developing an augmented reality (AR) assistance system for order picking. This is one of the most important tasks of a company's internal logistics. Small and medium-sized enterprises (SMEs) were chosen as the target group for the implementation. In addition to AR, a connection to an ERP system, which serves as a warehouse management system, is to be ensured as a further basis for digitization.

After explaining the basic terminology of the topic, the state of the art in the provision of information for manual order picking is discussed and the advantages of picking with AR are examined in more detail. For the implementation, an order picking process is laid down using a model setup. Subsequently, requirements are formulated for the assistance system in the model setup. On this basis, an attempt will be made to implement a software system that manages with minimal costs for hardware and software purchases. This implementation is examined regarding application criteria such as latencies and accuracy.

The results of the research spring from measurements of response times of interactions with the system, as well as observations made during the development. The results show some limitations in the studied framework regarding key functions in the development of the system, as well as opportunities for improvement.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>ix</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>xi</b>
<b>Listings</b> .....	<b>xii</b>
<b>Formeln</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Glossar</b> .....	<b>xviii</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation und Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung .....	2
1.3 Vorgehen .....	3
1.4 Aufbau .....	4
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>6</b>
2.1 Kleine und mittelständische Unternehmen .....	6
2.1.1 Definition .....	6
2.1.2 Herausforderungen .....	8
2.2 Kommissionierung .....	9
2.2.1 Begriffserklärung .....	9
2.2.2 Kommissioniersystem .....	9
2.2.3 Aufbau und Ablauf .....	11
2.2.4 Bedeutung der Kommissionierung .....	14
2.2.5 Einflussfaktoren des Erfolges .....	15
2.3 Enterprise Resource Planning-Systeme .....	21
2.3.1 Begriffserklärung .....	21

2.3.2	ERP-System-Einsatz in KMU .....	22
2.3.3	Nutzen von ERP-Systemen .....	22
2.4	Augmented Reality-Technologie .....	25
2.4.1	Begriffserklärung .....	26
2.4.2	Trackingverfahren .....	27
2.4.3	Hardwareeigenschaften .....	28
<b>3</b>	<b>Stand der Technik bei der manuellen Kommissionierungstätigkeit .....</b>	<b>32</b>
3.1	Aktuelle Technik der Informationsbereitstellung und Kontrolle .....	32
3.1.1	Pick-by-Paper: Pickzettel/-listen .....	33
3.1.2	Pick-by-Display: Digitale Picklisten/ Mobile Datenterminals (MDT).....	34
3.1.3	Pick-by-Light: Regal-Lichtsysteme .....	35
3.1.4	Pick-by-Voice: auditive Pickanweisungen.....	36
3.1.5	Pick-by-Vision .....	37
<b>4</b>	<b>Einsatzszenario.....</b>	<b>39</b>
4.1	Geschäftsprozesse des Szenarios .....	39
4.1.1	Kommissioniersystem im Einsatzszenario.....	40
4.1.2	Lagerstruktur des Szenarios .....	42
4.2	Anbau der AR-Funktionalität.....	45
4.2.1	Ablauf des Pickprozesses mit AR .....	46
4.2.2	Auftragsstruktur .....	46
4.3	Anforderungsanalyse.....	47
4.3.1	Anforderungen Assistenzanwendung.....	47
4.3.2	Anforderungen Hardware.....	48
4.4	Untersuchungskriterien .....	49
4.4.1	Technische Umsetzbarkeit .....	49
4.4.2	Latenz.....	49
4.4.3	Kosten .....	50
4.4.4	Möglichkeiten und Genauigkeit der visuellen Darstellung und Interaktion....	50
<b>5</b>	<b>Umsetzung des Prototyps .....</b>	<b>51</b>
5.1	Randbedingungen des Systems .....	51
5.1.1	Hardwareauswahl ERP-System.....	51

5.1.2	Hardwareauswahl AR-System .....	51
5.1.3	Softwaresysteme.....	54
5.2	Anwendungsentwurf .....	56
5.2.1	Systemaufbau .....	56
5.2.2	Programablaufplan .....	57
5.2.3	Positionserkennung über Bilderkennung.....	58
5.3	Benutzerschnittstellen-Interaktionen.....	59
5.3.1	Visualisierung der Entnahmestelle .....	59
5.3.2	Grafische Oberflächen.....	59
5.4	Implementierung .....	63
5.4.1	Softwaredesign .....	63
5.4.2	ERP-Schnittstelle .....	64
5.4.3	OdooClient .....	65
5.4.4	ItemTracking .....	68
5.4.5	Interaction .....	71
5.4.6	Zeitmessung .....	74
5.4.7	Weitere Komponenten.....	75
<b>6</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>76</b>
6.1	Ergebnisse hinsichtlich der Untersuchungskriterien .....	76
6.1.1	Technische Umsetzbarkeit .....	76
6.1.2	Latenzen .....	77
6.1.3	Kosten .....	79
6.1.4	Möglichkeiten und Genauigkeit der Darstellung und Interaktion.....	81
6.2	Interpretation .....	82
6.2.1	Vergleich der Kommissioniermethoden.....	82
6.2.2	Auswertung der Untersuchungskriterien.....	83
6.3	Limitationen .....	86
6.4	Empfehlungen für weitere Forschungen .....	87
<b>7</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>89</b>
7.1	Zusammenfassung.....	89
7.2	Ausblick .....	91

<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>92</b>
<b>A Anhang .....</b>	<b>99</b>
A.1 Unternehmen in Deutschland .....	99

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Interne FuE-Aufwendungen in der Wirtschaft 2009-2019 in Deutschland nach Unternehmensgröße (in Mio. € sowie KMU-anteil in %)	8
Abbildung 2: „Klassifizierung der elementaren Kommissioniersysteme“	12
Abbildung 3: Realistische Annäherung für eine Verteilung der Kommissionierzeit	17
Abbildung 4: Kostenmäßiger Stellenwert der Kommissionierung	18
Abbildung 5: Anteil der Fehlerarten an Gesamtfehlerquote	20
Abbildung 6: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum	26
Abbildung 7: Eigene Darstellung des Prozesses des physikalischen Materialflusses	39
Abbildung 8: Eigene Darstellung des Informationsflusses der Aufträge	40
Abbildung 9: Bereitstellungseinheit (links) und Kommissionierwagen (rechts)	43
Abbildung 10: Eigene Darstellung des Aufbaus des AR-Systems im Szenario	45
Abbildung 11: Eigene Darstellung des Pick-by-Vision Prozessablauf	46
Abbildung 12: Modell aufeinander aufbauender Systemschichten	55
Abbildung 13: Eigenes Verteilungsdiagramm des Systems bei Ausführung in der Recheneinheit	56
Abbildung 14: Eigenes Aktivitätsdiagramm der Auftragsabwicklung	57
Abbildung 15: Eigenes Aktivitätsdiagramm für die Positionsbearbeitung	58
Abbildung 16: Eigene Darstellung des Startmenüaufbaus	61
Abbildung 17: Eigene Darstellung des Pick-/Kommissioniermenüaufbaus	61
Abbildung 18: Eigene Darstellung des Hauptmenüaufbaus	62
Abbildung 19: Eigene Darstellung des Nulldurchgangmenüaufbaus	63

*Abbildungsverzeichnis*

---

Abbildung 20: Eigene Darstellung der Blackbox-Sicht der Anwendung .....	63
Abbildung 21: Eigene Darstellung des Klassendiagramms der OdooClient-Komponente.....	67
Abbildung 22: Eigene Darstellung des Klassendiagramms der ItemTracking-Komponente.....	69
Abbildung 23: Eigene Darstellung des Klassendiagramms der Interaction-Komponente .....	72
Abbildung 24: Zeitmessungen der Bilderkennung in min:s,ms .....	77
Abbildung 25: Box-Plot der Bilderkennungsmessung.....	78
Abbildung 26: Zeitmessungen zur Latenz der Pickaktion in Millisekunden .....	79
Abbildung 27: Box-Plot zur Messung der Pickaktion in Millisekunden .....	79
Abbildung 28: Eigene Darstellung des Bereichs guter Elementen-Platzierung (grün) und schlechter (rot) .....	81

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: KMU-Abstufungen nach Beschäftigtenanzahl und Jahresumsatz, beziehungsweise Jahresbilanz.....	7
Tabelle 2: Unternehmenskategorisierung nach Beteiligungsanteil an fremden Unternehmen .	7
Tabelle 3: Funktionen des Kommissionierprozesses .....	11
Tabelle 4: Chancen und Risiken beim Einsatz von Standardsoftware .....	24
Tabelle 5: Informationssystem des Szenarios .....	40
Tabelle 6: Organisationssystem des Szenarios.....	41
Tabelle 7: Materialflusssystem des Szenarios.....	42
Tabelle 8: Gegenüberstellung von AR-Hardwareeigenschaften .....	52
Tabelle 9: Kosten der Anschaffung und Betrieb mit einem:einer Nutzer:in.....	80
Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungskriterien.....	90

# Listings

Listing 1: Inhalt der Methode RequestRPCResponse .....	66
--------------------------------------------------------	----

# Formeln

Formel 1: Berechnung der Kommissionierleistung .....	16
Formel 2: Spezifische Kommissionierkosten aus Betriebskosten pro Leistungsdurchsatz.....	19
Formel 3: Betriebskosten eines Kommissioniersystems .....	19
Formel 4: Berechnung der Positionsfehlerquote pro Kommissionierer:in.....	21
Formel 5: monokulare Berechnung des Field of View Displays .....	31
Formel 6: Vector für Positionsbestimmung im Regal.....	70

# Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
API	Application Programming Interface, zu Deutsch Programmierschnittstelle
AR	Augmented Reality, zu Deutsch Erweiterte Realität
CMD	Cart-mounted Displays, wörtlich übersetzt: „am Wagen befestigte Anzeige“
CPU	Central Processing Unit, zu Deutsch zentrale Verarbeitungseinheit
CRUD	„Create, Read, Update, Delete“, zu Deutsch Erstellen, Lesen, Aktualisieren, Löschen
DoF	Degrees of Freedom, zu Deutsch Freiheitsgrade
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERP	Enterprise Resource Planning, zu Deutsch Ressourcenplanung eines Unternehmens
FoV	Field of View, zu Deutsch Blickfeld

## Abkürzungsverzeichnis

---

FuE	Forschung und Entwicklung
GB	Gigabyte, Speichereinheit
GPS	Global Positioning System, zu Deutsch Globales Positionsbestimmungssystem
HMD	Head-mounted Displays, wörtlich übersetzt: „am Kopf befestigte Anzeige“
HTTP	Hypertext Transfer Protocol, ist ein zustandsloses Protokoll zur Übertragung von Daten
HUD	Head-up Displays, wörtlich übersetzt: „Kopf-oben-Anzeige“, eine am Kopf angebrachte Anzeige
HWD	Head-worn Displays, wörtlich übersetzt: „am Kopf getragene Anzeige“
ID	Identifikator
IEM	Institut für Entwurfstechnik Mechatronik
JSON	JavaScript Object Notation, ein textbasiertes Format für den Austausch von Daten
KMU	Kleines und/oder mittleres Unternehmen
MDT	Mobiles Daten-Terminal

## Abkürzungsverzeichnis

---

Mio.	Millionen
MR	Mixed Reality, zu Deutsch Gemischte Realität
NFC	Near Field Communication, zu Deutsch kontaktlose Datenübertragung, Übertragungsstandard auf Basis von RFID-Technologie
OST	Optical-See-Through, zu Deutsch optische Durchsicht
PbL	Pick-by-Light
PbV	Pick-by-Vision
QR	Quick Response, zu Deutsch schnelle Antwort
RAM	Random-Access Memory, zu Deutsch Speicher mit wahlfreiem/direktem Zugriff bzw. Direktzugriffsspeicher
RFID	Radio Frequency Identification, zu Deutsch Identifizierung über elektromagnetische Wellen
RGB	Rot-Grün-Blau, Farbraum der durch Mischen der drei Farben entsteht
RoI	Return on Investment, zu Deutsch Kapitalrendite
RPC	Remote Procedure Call, zu Deutsch Aufruf einer fernen Prozedur
SaaS	Software-as-a-Service, zu Deutsch Software als Service und meint ein cloudbasiertes Softwarebereitstellungsmodell

SDK	Software Development Kit ist eine Sammlung von Programmierwerkzeugen und Programmbibliotheken
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping, zu Deutsch Simultane Positionsbestimmung und Kartierung
UI	User Interface, zu Deutsch Benutzerschnittstelle
URL	Uniform Resource Locator, zu Deutsch „einheitlicher Ressourcenver- orter“
USB-C	Universal Serial Bus Typ C, ist ein Datenübertragungssystem zur Ver- bindung von externen Geräten an Computer
VR	Virtual Reality, zu Deutsch Virtuelle Realität
VRD	Virtual Retinal Display, zu Deutsch virtuelle Netzhautanzeige
VST	Video-See-Through, zu Deutsch Video-Durchsicht
WLAN	Wireless Local Area Network, zu Deutsch drahtloses lokales Netz- werk
WMS	Warehouse Managements System, zu Deutsch Lagerverwaltungssys- tem
XML	Extensible Markup Language, ein textbasiertes Format für den Aus- tausch von Daten

# Glossar

Canvas (Unity)	Unity-Element, beschrieben als Bereich, in welchem UI-Elemente platziert werden können zum Erstellen von Menüs.
Container (Docker)	Aktive Instanz in der ein Betriebssystem virtualisiert wird und in der die Anwendung vom Image läuft
Docker	Docker ist eine freie Software zur einfacheren Bereitstellung von Anwendungen. Das erfolgt über Container in denen die Anwendung mit allen nötigen Paketen als standardisierte Einheiten verpackt ist. Dadurch wird der Transport und die Installation vereinfacht.
ERP-System	Softwaresysteme zur Ressourcenplanung eines Unternehmens in Bereichen, wie Personal, Kapital, Betriebsmittel und zur Information- und Kommunikationstechnik.
Image (Docker)	Das gespeicherte Abbild eines Docker Containers aus dem heraus Container gestartet werden können.
Latenz	Oder auch Latenzzeit ist ein Zeitintervall, um das ein Ergebnis verzögert wird, wie beispielsweise die Zeit bis eine Anwendung auf eine Eingabe reagiert.

Nulldurchgang	Im Bereich der Lagerlogistik: Zustand bei dem der Entnahmebedarf eines Artikels an einer Entnahmestelle größer oder gleich der Bestandsmenge des betreffenden Artikels ist.
Open Source	Software deren Quelltext öffentlich einsehbar, veränderbar und meist kostenfrei nutzbar ist
picken	Das gezielte Herausnehmen von Artikeln an einer Entnahmestelle des Lagers nach erhaltener Position eines Auftrags.
Prefab (Unity)	Unity-Element, beschrieben als vorgefertigtes Objekt mit bestimmten Einstellungen und Komponenten, die gespeichert sind und bei Bedarf in die Szene hinzugefügt werden können.
QR-Codes	Ist eine zweidimensionale Darstellung einer quadratischen Matrix mit kodierten Informationen, bestehend aus schwarzen und weißen Flächen, welche Daten binär abbilden. Spezielle Markierungen an den Ecken sorgen für die Angabe der Orientierung.
Releasefähigkeit	Möglichkeit der automatischen Verfügbarkeit alter individueller Anpassungen nach dem Einspielen der nächsten Veröffentlichung eines Programms
RFID-Chip	Speichermedium mit Informationen, welche über Funk von einem Lesegerät ausgelesen werden können.

Software-as-a-Service	Cloudbasiertes Softwarebereitstellungsmodell, bei dem der Anbieter Anwendungen mit zusätzlichen Angeboten wie Wartung nach Bezahlung in der Cloud zu Verfügung stellt.
Szene (Unity)	Unity-Element, beschrieben als Bereich der virtuellen Welt, in dem Objekte platziert werden können, um den Aufbau der Welt zu definieren.
Vector (Unity)	Unity-Umsetzung eines Vektors aus der analytischen Geometrie, einem Element zur Darstellung der Verschiebung zweier Punkte angegeben durch Koordinaten, also Einheiten entlang definierter Achsen im Raum.

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Problemstellung

„Während Großunternehmen oftmals keine Probleme haben, ihre Prozesse zu digitalisieren, also Informations- und Kommunikationstechnik zur Erreichung der Unternehmensziele geschickt einzusetzen, leiden kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) meist darunter, dass sie die Möglichkeiten der Digitalisierung nicht kennen oder die hohen Investitionen scheuen, die mit der Digitalisierung einhergehen.“ (Albayrak and Gadatsch, 2017, p.152) Die Kosten sind für die Unternehmen oft schwer einschätzbar und das Wissen der Mitarbeiter zu neuen Technologien nur begrenzt vorhanden (Kugler and Anrich, 2018). Wenn KMU den immer weiter fortschreitenden Wandel der Digitalisierung und die damit einhergehenden Chancen vernachlässigen, kann das zum Risiko des Zurückfallens dieses Unternehmens gegenüber der Konkurrenz führen (Lichtblau et al., 2018).

Die überwiegende Mehrheit der Unternehmen in Deutschland gehört zu den KMU (Destatis, 2022a). Deshalb hat das Thema Digitalisierung in KMU eine große Bedeutung für die deutsche Wirtschaft. Speziell der Bereich Handel hat durch den größten Anteil im statistischen Unternehmensregisters mit 572.219 von insgesamt 3.390.704 Unternehmen im Jahr 2021 einen großen Einfluss auf die Wirtschaft. Im Anhang A.1 sind Daten der anderen Bereiche zu finden. Das verarbeitende Gewerbe liegt mit 217.076 Unternehmenseinheiten im oberen Mittelfeld (Destatis, 2022b). In diesen beiden Bereichen spielt die Logistik eine wichtige Rolle bei den Einnahmen.

Der Teilbereich Logistik kann bis zu 15 Prozent des Umsatzes eines Unternehmens generieren (Nave, 2009). Da Kommissionierung mit seinem großen Bedarf an manuellen Arbeitskräften ein komplexer Kernprozess der Logistik ist und großem Einfluss auf die innerbetrieblichen Prozesse hat, bietet er sich an als Grundlage zum Vorantreiben der Digitalisierung und Verbesserung von Arbeitsleistung. Eine mögliche Digitalisierungsmaßnahme im Bereich der

Kommissionierung kann mit der Technologie Augmented Reality (AR), welche die Realität um Darstellungen virtueller Objekte erweitert, durchgeführt werden. Mit dem Einsatz von AR-Technologie kann eine Integration in viele Arbeitsprozesse erfolgen, um diese zu vereinfachen und zu beschleunigen (Jumahat et al., 2022).

Derzeit haben die vorwiegend eingesetzten Kommissioniertechniken einige Nachteile. Viele KMU verwenden die Kommissionierung per Papierlisten, die als nachteilig angesehen wird, weil diese fehleranfällig sind und lange Kommissionierzeiten entstehen (Günthner et al., 2009). Andere Kommissioniertechniken sind mit hohen Investitionskosten, oder anderen Einschränkungen, wie der eingeschränkten Bewegungsfreiheit der Hände oder Isolation zu anderen Mitarbeiter:innen, verbunden (Reif, 2009; Bächler, 2017). Der Einsatz von AR-Technologie in der Kommissioniertechnik ist vielversprechend und verfügt nur über geringe Nachteile (Günthner et al., 2009).

Eine weitere Technologie, die in diesem Bereich die Arbeitsabläufe in eine digitale Form bringt und sie optimieren kann, sind Enterprise Resource Planning-Systeme (ERP-Systeme). Diese können durch die beim Einsatz erfolgende Automatisierung Arbeitsprozesse vereinfachen und vereinheitlichen, was gleichbleibende Qualitätsstandards garantiert und personelle Ressourcen entlastet (Fueglistaller et al., 2016). Deshalb könnten Module des ERP-Systems, die als Warehouse Managements System (WMS), also zur Lagerverwaltung, genutzt werden können, die Chance für den Einsatz in der Kommissionierung bieten.

Es besteht durch die Kombination von AR und ERP-Systemen als Digitalisierungsmaßnahmen für KMU ein vielversprechendes Potenzial den Kommissionierprozess zu verbessern.

## **1.2 Zielsetzung**

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Kommissionierassistenten auf Basis der AR-Technologie mit Verbindung zu einem ERP-System, welches als WMS genutzt wird. Diese Umsetzung soll mit minimalen Kosten durchgeführt werden, um den Ansprüchen von KMU zu entsprechen. Für dieses Ziel ist es notwendig ein Grundverständnis für die Themen Kommissionierung, AR und ERP-System zu schaffen.

Mit dieser Arbeit soll diese zentrale Fragestellung beantwortet werden:

F0: Welche Herausforderungen und Feststellungen können bei der Entwicklung eines AR-Assistenzsystems mit Anbindung an ein ERP-System für den Einsatz in KMU ermittelt werden?

Bei der Entwicklung und mit dem nötigen Verständnis sollen zusätzlich die folgenden Fragen beantwortet werden:

- F1: Was sind die Randbedingungen und der Ablauf, um ein Kommissioniersystem bestmöglich als AR-Assistenzsystem im Kontext der Anwendung bei KMU zu realisieren?
- F2: Kann durch eine kostengünstige Variante einer AR-Brille die Umsetzung eines Assistenzsystems für die Kommissionierabläufe realisiert werden?
- F3: Welche Darstellungs- und Interaktionsmöglichkeiten bietet die AR-Brille im Kommissionierprozess?
- F4: Ist eine Anbindung des AR-Systems zum ERP-System bei der Umsetzung möglich?
- F5: Erfüllt die Umsetzung notwendige Voraussetzungen im Hinblick auf die Funktionalität der Software und kann dadurch im realen Einsatz erfolgreich genutzt werden?

### **1.3 Vorgehen**

Die Beantwortung der Fragen wird anhand einer exemplarischen Fahrradfabrik durchgeführt, wobei die Montage von Fahrrädern durch Klemmbausteine umgesetzt wird. In der Fabrik ist ein Teilelager vorhanden, in dem die Bausteine zum Bereitstellen für die Montage kommissioniert werden. In diesen Aufbau wurde ein ERP-System integriert und kann somit bei der Untersuchung als Warehouse Management Systeme genutzt werden.

In Anbetracht der Anwendung in kleinen und mittleren Unternehmen wird als AR-System ein Verbrauchermodell gewählt. Dieses bietet mehr Funktionalitäten an, die für weitere Einsatzbereiche neben der Kommissionierung genutzt werden können, welches durch zukünftige technische Erweiterungen in Form von anderen Anwendungen Kosten einsparen kann.

Um die Frage der Umsetzbarkeit zu beantworten, wird der Prototyp eines Kommissionierassistenten mit ERP zur Anwendung im Bereich KMU als Proof of Concept entwickelt. Dabei wird den Anforderungen der KMU entsprechend ein geeignetes AR-System verwendet, welches eine Anbindung zu einem ERP-System ermöglicht.

Im Verlauf der Arbeit werden Eigenschaften der Umsetzung mittels Messungen von Latenzen wiederkehrenden und zentraler Aktion und Beobachtungen der Einschränkungen genutzter Funktionen ermittelt und diskutiert. Eine häufige Aktion in der manuellen Kommissionierung ist die Bestätigung der Entnahme von Artikeln aus dem Lager. Diese Aktion hat durch ihre Häufigkeit einen großen Einfluss auf die Kommissionierzeit und wurde deshalb als relevanter Untersuchungsparameter gewählt. Weiterhin wurde zum Untersuchen des AR-Systems die zentrale Funktion für das Finden einer Startposition im Raum auf ihre Zeit gemessen. Diese ist relevant da alle Positionierungen von virtuellen Objekten auf ihr aufbauen.

## **1.4 Aufbau**

Die Bachelorarbeit ist wie folgt aufgebaut:

1. Grundlagen zu KMU, ERP und AR
2. Stand der Technik zu den bestehenden Kommissioniermethoden
3. Beschreibung des exemplarischen Szenarios
4. Anforderungen und Untersuchungskriterien
5. Umsetzung des Prototyps
6. Diskussion der Ergebnisse
7. Fazit

Um ein einheitliches Verständnis der Begrifflichkeiten zu ermöglichen, werden die Grundlagen der Themen KMU, Kommissionierung, sowie ERP-Systeme definiert und erläutert. Dann wird der Einsatz und Nutzen von ERP-Systemen in KMU thematisiert. Anschließend wird die Augmented Reality Technologie mit den wichtigsten Funktionen und Hardwaremöglichkeiten erklärt.

Nachfolgend wird der aktuelle Stand von Kommissioniertechniken und der Informationsbereitstellung beim Kommissionieren verglichen, um die Vor- und Nachteile einer Umsetzung mit AR gegenüber anderen Methoden festzustellen und den Nutzen der Methoden erfassen zu können.

Mit diesem Wissen wird das Einsatzszenario in der exemplarischen Fahrradfabrik beschrieben und Software- und Hardwareanforderungen definiert. Es werden Untersuchungskriterien der Umsetzung festgelegt.

Anhand der Anforderungen wird im Prototyp die Wahl der genutzten Systeme begründet und ein Entwurf der Implementierung gestaltet sowie Benutzerschnittstellen für die Interaktion ausgearbeitet. Infolgedessen wird die Realisierung der Implementierung und die darin eingebauten Messungen zum Analysieren der Funktionalität beschrieben.

Die Messungen und Feststellungen des Implementierungsprozesses werden bezogen auf die Untersuchungskriterien dokumentiert. Die Ergebnisse werden hinsichtlich der Forschungsfrage betrachtet, diskutiert und Schlussfolgerungen gezogen.

Im Fazit wird die Arbeit zusammengefasst und ein möglicher Ausblick beschrieben.

## 2 Grundlagen

Dieses Kapitel beschreibt die wichtigsten Begriffe zum Verständnis der Arbeit. Nach einer Definition von KMUs und Kommissionierung sowie der wichtigsten Begriffe, die zur Entwicklung eines unterstützenden Kommissionierungssystems notwendig sind, wird ein Überblick über relevante ERP-Systeme gegeben und deren Nutzen beleuchtet. Hier werden begründet auf dem Kostenfaktor für KMU Open Source Anwendungen näher betrachtet. Dann werden der Begriff Augmented Reality, sowie dazu relevante Trackingverfahren und Hardwarekomponenten erklärt.

### 2.1 Kleine und mittelständische Unternehmen

Nach dem statistischen Bundesamt Destatis (2022a) zählte 2020 die überwiegende Mehrheit (99,4 %) der deutschen Unternehmen zu den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) und ungefähr die Hälfte (55%) aller in Unternehmen Beschäftigten arbeiteten dabei in KMU. Deshalb sind diese ein wichtiger Erfolgsfaktor für die deutsche Wirtschaft.

#### 2.1.1 Definition

Der Begriff der KMU, also kleiner und mittelständischer Unternehmen, wird in dieser Arbeit nach Definition der europäischen Kommission verstanden (Europäische Kommission, 2020). Dafür werden im Hinblick auf die Größe der Unternehmen Kriterien wie Anzahl Beschäftigter und Jahresumsatz, beziehungsweise Jahresbilanz betrachtet. Alle Unternehmen mit weniger als 250 beschäftigten Personen und einem Jahresumsatz unter 50 Mio. € oder alternativ einer Jahresbilanzsumme unter 43 Mio. € werden als KMU bezeichnet. Dabei kann zwischen den Kategorien Kleinstunternehmen, kleinen Unternehmen und mittleren Unternehmen unterschieden werden. Diese Abstufungen können wie in Tabelle 1 aufgeführt verstanden werden:

Tabelle 1: KMU-Abstufungen nach Beschäftigtenanzahl und Jahresumsatz, beziehungsweise Jahresbilanz (vgl. Europäische Kommission, 2020, p.11)

<i>Unternehmensklasse</i>	<b>Anzahl Beschäftigte</b>	<b>Jahresumsatz ODER Jahresbilanzsumme</b>	
<i>Kleinstunternehmen</i>	< 10	≤ 2 Mio. €	≤ 2 Mio. €
<i>Kleines Unternehmen</i>	< 50	≤ 10 Mio. €	≤ 10 Mio. €
<i>Mittleres Unternehmen</i>	<250	≤ 50 Mio. €	≤ 43 Mio. €

Um den Begriff der KMU anhand des Zugriffs auf verfügbare Ressourcen weiter einzugrenzen, wird im Benutzerleitfaden der Europäischen Kommission (2020) außerdem zwischen den in Tabelle 2 aufgeführten Kategorien unterschieden. Diese Kategorien werden von der Beteiligung mit anderen Unternehmen bestimmt.

Tabelle 2: Unternehmenskategorisierung nach Beteiligungsanteil an fremden Unternehmen (vgl. Europäische Kommission, 2020, pp.16–21)

<i>Unternehmenskategorien</i>	<b>Beteiligungsanteil an fremden Unternehmen</b>
<i>Eigenständiges Unternehmen</i>	< 25 %
<i>Partnerunternehmen</i>	25 - 50 %
<i>verbundenes Unternehmen</i>	> 50 %

Je nach Kategorie ist es notwendig für die Berechnung der Unternehmensklasse Daten der Unternehmenspartner einzubeziehen. Wird die Beteiligung beachtet, kann wie in Tabelle 1 kategorisiert werden.

Abgesehen von der Unternehmensgröße weisen KMU andere gemeinsame Merkmale auf, wie beispielsweise ähnliche hierarchische Strukturen (Pfohl, 2021) und müssen sich aufgrund dessen gleichartigen Herausforderungen stellen.

### 2.1.2 Herausforderungen

Begründet durch die digitale Transformation der letzten Jahre sind Herausforderungen im Mittelstand laut Kugler und Anrich (2018):

- Veränderung der Märkte und der Gesellschaftssysteme
- Steigende Entwicklungsgeschwindigkeit
- Veränderungen durch neue Technologien
- Steigende Komplexität und Wettbewerb
- Reduktion kompetenter Mitarbeiter:innen
- Häufung von Veränderungen in Gesellschaft, Ökologie und Wirtschaft
- Zunehmende weltweite Transparenz

Die Transformation führt zu Generationenkonflikten aufgrund der sich drastisch verändernden Technologien. Hier neigen KMU immer noch oft zu traditionellen Vorgehensweisen (Lichtblau et al., 2018). Diese traditionellen Faktoren haben auch Einfluss auf ihre Investitionen. Das führt zu weniger Ausgaben in neue, sich noch etablierende Technologien (Albayrak and Gadsch, 2017). Wenn darauf gewartet wird, dass eine Technologie sich etabliert und eine Einführung dieser ins Unternehmen vernachlässigt, so ist das Zurückfallen des Unternehmens im Wettbewerb eine mögliche Folge (Lichtblau et al., 2018).

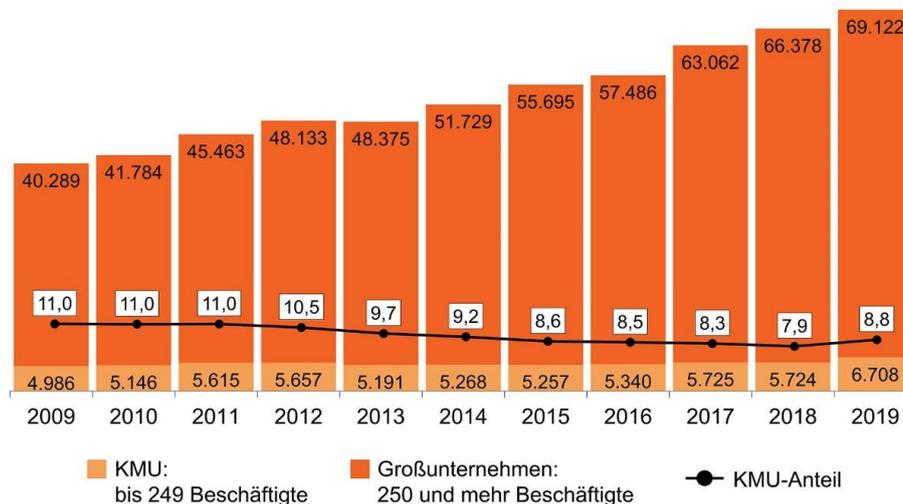


Abbildung 1: Interne FuE-Aufwendungen in der Wirtschaft 2009-2019 in Deutschland nach Unternehmensgröße (in Mio. € sowie KMU-anteil in %) (IfM Bonn, 2023)

Bei klassisch flachen Hierarchien in der Organisationsstruktur von KMU sind Mitarbeiter:innen oft Generalisten und entwickeln somit auch weniger Spezialistenwissen (Pfohl, 2021). Dieses müssten über Schulungen oder neue spezialisierte Fachkräfte erworben werden (Lichtblau et al., 2018). Während durchschnittliche finanzielle Kapazitäten großer Unternehmen im Bereich Forschung und Entwicklung in den letzten Jahren tendenziell steigen, ist bei KMU laut Abbildung 1 eine Stagnation zu erkennen.

## **2.2 Kommissionierung**

Für ein einheitliches Verständnis bei den Begriffen werden alle zum Verständnis entscheidenden Begriffe der Kommissionierung erläutert. Für eine bessere Einordnung des Prozesses in den Produktionsablauf werden damit die Begriffe Materialfluss und Informationsfluss erläutert. Im Fokus steht der Aufbau eines Kommissionierungssystems und Einflussfaktoren für den Erfolg bei der Kommissionierung.

### **2.2.1 Begriffserklärung**

Kommissionierung ist ein komplexer Teilbereich der innerbetrieblichen Logistik. Er kann unter anderem als Bestandteil der Produktionslogistik gezählt werden. Der Begriff steht für „das Zusammenstellen von Waren aus einem bereitgestellten Artikelsortiment nach vorgegebenen Aufträgen“ (Gudehus, 2010, p.659). Dazu gehören Fertigungs-, Montage- und Kundenaufträge (Martin, 2016). Laut Gudehus (2010) entsteht die Schwierigkeit des Kommissionierens zum einen aus der Vielzahl der Verfahren, Techniken und Kombinationsmöglichkeiten der unterschiedlichen Strategien aus denen Kommissionierungssysteme bestehen und sich organisieren. Zum anderen aus vielen Einflussfaktoren für Auswahl, Dimensionierung, Investition und Kosten. Ein Kommissioniersystem besteht prinzipiell aus drei Teilsysteme: Informations-, Materialfluss- und Organisationssystem (VDI-Richtlinie 3590, Blatt 1).

### **2.2.2 Kommissioniersystem**

Für eine bessere Verständnis des Kommissionierungsvorgangs hinsichtlich der Einordnung in den Produktionsablauf werden die Teilsysteme eines Kommissioniersystems näher betrachtet.

### **Informationssystem**

Als Teil des Produktionssystems hat das Informationssystem die Aufgabe die Abläufe des Materialflusses zu initiieren und zu kontrollieren. Informationselemente sind Kundenaufträge, Kommissionierungsaufträge und Positionen der Artikel (Bächler, 2017). Die wesentlichen Vorgänge eines Informationssystems sind die Auftragserfassung, die Auftragsaufbereitung, die Weitergabe von Auftragsinformation und die Quittierung der erfolgreichen Aufträge (VDI-Richtlinie 3590, Blatt 1). Für die technische Bereitstellung der Informationen ans Materialflusssystem gibt es verschiedene Ansätze, wie Warehouse Management System (WMS). Für diese Arbeit betrachten wir die Möglichkeit der ERP-Systeme als Informationssystem, welche in Kapitel 2.3 erklärt werden.

### **Materialflusssystem**

Ziel des Materialflusses ist die Verknüpfung von Fertigungs- und Montageeinheiten, wie auch die Sicherstellung von Versorgung und Entsorgung. Die Aneinanderreihung innerbetrieblicher Vorgänge für ein erfolgreiches Endprodukt definiert den Materialfluss (Martin, 2016). Dabei soll ein Transformationsprozess erfolgen, bei welchem der Systemzustand von Gütern sich hinsichtlich Zeit, Ort, Menge, Zusammensetzung sowie Qualität verändert (Bächler, 2017). Die Kommissionierung ist eine zentrale Komponente des Materialflusses. Laut Martin (2016) sind Bestandteil des Materialflusses alle Vorgänge deren Aufgabe die Beschaffung, Produktion und Distribution umfasst. Objekte, die hierbei verwendet werden, sind Roh-, Hilfs-, und Betriebsstoffe, Halbfabrikate, Fertigungsprodukte und Werkzeuge. Die Versorgung und Entsorgung der Produktion werden dabei sichergestellt durch die Funktionen: Transportieren, Umschlagen, Lagern und Kommissionieren (Martin, 2016). Materialflussvorgänge, die innerhalb des Kommissioniersystems existieren stehen im Zusammenhang mit der Bereitstellung, Entnahme, Abgabe von Gütern und der dazugehörigen Bewegung der Kommissionierer:innen (VDI-Richtlinie 3590, Blatt 1).

### **Organisationssystem**

Das Organisationssystem wird in drei Teilsysteme unterteilt: Aufbau-, Ablauf- und Betriebsorganisation. Die VDI-Richtlinie 3590 (Blatt 1) beschreibt die Teilsysteme folgendermaßen:

Aufbauorganisation wird durch Eigenschaften von Artikeln bestimmt und nach Ähnlichkeit werden diese in verschiedene Kommissionierzonen räumlich unterteilt. Die Ablauforganisation bestimmt das Durchlaufen der Kommissionierzonen infolge der Struktur eines Kommissionierauftrages und ist von Kommissionierart und Zonenorganisation abhängig. Die Betriebsorganisation existiert zur Verbesserung des Gesamtsystems durch Anstreben von bestimmten Zielgrößen. Die Aufgabe ist die Bestimmung einer guten zeitlichen Reihenfolge von Kommissionieraufträgen.

### 2.2.3 Aufbau und Ablauf

#### Elemente

Zentrale Elemente eines Kommissioniersystems sind Bereitstellungseinheiten, Auftragsablagen und Kommissionierer:innen. Ein:e Kommissionierer:in kann sowohl eine Person, ein Palettierautomat, ein Roboter, als auch eine Abzugsvorrichtung sein. Teil der Arbeit eines Kommissionierers oder einer Kommissioniererin ist der Pickvorgang, also der des Greifens zu kommissionierender Waren. Dieser Vorgang ist schwer zu automatisieren und einer der zeit- und somit kostenaufwändigsten der innerbetrieblichen Prozesse (Gudehus, 2010). Als Bereitstellungseinheiten werden alle möglichen Lagervorrichtungen bezeichnet, auf denen die Waren nach ihrer Beschickung lagern. Eine Auftragsablage ist der Ablageort der Waren nach dem Picken des Auftrages. Hierunter fallen Sammelbehälter, Fördersysteme oder Transportgeräte.

#### Funktionen

Der Kommissionierprozess ist laut Gudehus (2010) eine Zusammensetzung der folgenden Teile, hier Funktionen genannt:

Tabelle 3: Funktionen des Kommissionierprozesses (vgl. Gudehus, 2010)

<b><i>Funktionen</i></b>	<b>Beschreibung</b>
<i>Bereitstellung</i>	Waren werden in Bereitstellungseinheiten wie Lagern bereitgestellt
<i>Fortbewegung</i>	Der:die Kommissionierer:in bewegt sich zum Bereitstellplatz, also zum Ort des Pickvorganges
<i>Entnahme</i>	Picken der im Auftrag angegebenen Warenmenge aus Bereitstellungseinheiten wie Regalen



Die Begriffe der Funktionen und ihre Zustände lassen sich nach Gudehus (2010) wie folgt beschreiben:

*Bereitstellung:* Ob diese statisch oder dynamisch ist, hängt davon ab, ob die Bereitstellungsvorrichtungen unbeweglich an einem Ort fixiert sind oder sich aktiv zum:zur Kommissionierer:in bewegen.

*Fortbewegung:* Es wird von eindimensional gesprochen, wenn sich der:die Kommissionierer:in nur horizontal zum Bereitstellungsort bewegen muss, um die Ware zu picken. Sobald der:die Kommissionierer:in sich in der vertikalen bewegt, sowie mit Regalbediengeräten, so wird von einer zweidimensionalen Fortbewegung gesprochen.

*Entnahme:* Diese kann manuell erfolgen, wenn der:die Kommissionierer:in keine weiteren Hilfsmittel außer die Arme benutzt. Mechanisch ist die Entnahme, wenn Greifhilfen zum Einsatz kommen.

*Ablage:* Als zentral wird dieser Vorgang bezeichnet, wenn die entnommene Ware vom Kommissionierer oder der Kommissioniererin mittels einer Auftragsablage, wie beispielsweise einem Kommissionierwagen, zu einer fixen Ablagestation gebracht wird. Dezentral ist der Vorgang, wenn die Auftragsablage sich in der Nähe des Kommissionierers oder der Kommissioniererin befindet und Waren nach Ablage von einem System zu einem Sammelpunkt befördert werden.

Außerdem wird von einer einstufigen Kommissionierung gesprochen, wenn beim Picken der Waren ein Kommissionierauftrag abgearbeitet wird. Wird für mehrere Aufträge stapelweise, als ganze Batches, gepickt, so handelt es sich um eine zweistufige Kommissionierung, da die kommissionierten Waren daraufhin nach Aufträgen sortiert werden müssen.

### **Kommissionierungsstrategien mit statischer Artikelbereitstellung**

Ist eine statische Artikelbereitstellung der Ausgangspunkt, so kommt bei der konventionellen Kommissionierungsstrategie der:die Kommissionierer:in mit den Aufträgen zur Bereitstellungseinheit. Im Gegensatz dazu steht die dezentrale Kommissionierungsstrategie. Hier kommen die Aufträge zu den Kommissionierern bzw. Kommissioniererrinnen, welche sich bereits bei den Bereitstellungseinheiten befinden.

Laut Gudehus (2010) bestehen Vor- und Nachteile der ersten Strategie, also der konventionellen Kommissionierung, wie im folgenden Absatz beschrieben:

Einige Vorteile sind einfache Umsetzung des Verfahrens, kurze Durchlaufzeiten der Aufträge und die Möglichkeit mehrere verschiedene Aufträge gleichzeitig zu bearbeiten. Darum ist es auch heute noch das am weitesten verbreitete Vorgehen. Nachteile dieser Strategie können wiederum sein, dass entsprechend mehr Kommissionierer:innen benötigt werden, abhängig vom Wachstum des Warensortiments und der damit verbundenen Länge der Transportwege. Werden außerdem die Bereitstellungseinheiten größer, so werden Geräte zur vertikalen Kommissionierung unerlässlich. Zusätzlich wird weitere Fläche, wie Gänge, für den Zugriff auf die Bereitstellungseinheiten erforderlich. Ein weiteres Problem stellt die Nachschubbereitstellung mit folgender Situation dar: Das letzte Objekt einer bestimmten Ware wird gepickt, aber für den Auftrag sind noch weitere Objekte notwendig. Die darauffolgende Art der Entsorgung von Ladehilfsmitteln wie Kartons ist ebenfalls nachteilig, da diese im Verlauf des Auftrages mitgeführt werden müssen. Jedoch lassen sich der Großteil der Nachteile durch Optimierungsstrategien und technische Lösungen vermindern oder beseitigen. Somit bleibt die konventionelle Kommissionierungsstrategie eines der gängigsten Verfahren. Insbesondere für ein breites Sortiment kleiner Artikel auf Bogenregalen oder Durchlaufkanälen ist diese Strategie geeignet.

Für die Umsetzung der dezentralen Strategie befinden sich die Kommissionierer:innen in dezentralen Arbeitsbereichen mit einem begrenzten Artikelsortiment. Die Aufträge kommen über eine Fördertechnik in den Arbeitsbereich des Kommissionierers oder der Kommissioniererin. Diese:r bearbeitet den in seinem Bereich durch Artikelauswahl begrenzten Auftrag und legt die Waren für den nächsten Bereich auf dem Förderband ab, bis diese zu den Auftragsammelplätzen befördert werden. Laut Gudehus (2010) ist diese Strategie allerdings wegen der speziellen Einsatzvoraussetzungen wenig verbreitet und daraus folgend im Kontext der KMU kaum relevant.

### **2.2.4 Bedeutung der Kommissionierung**

Die Effizienz der innerbetrieblichen Logistik spiegelt zum großen Teil den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens wider, ist aber auch eine der größten Herausforderungen (Scholz-

Reiter et al., 2008). Nach Bächler (2017) ist die Kommissionierung ein wichtiger Teil der Logistik, da sie durch ihren großen Personalanteil und den Einfluss des Prozesses auf die Leistung und Zufriedenheit der Kunden auch in Zukunft ihre Relevanz behält. Der große Personalanteil ergibt sich aus den komplexen Prozessen, die auch weiterhin manuelle Arbeiter:innen notwendig machen. Die Komplexität der Prozesse begründet sich aus der Vielzahl der Größen der zu entnehmenden Artikel und verhindert somit eine komplette Automatisierung dieses Bereiches (Martin, 2016).

### **2.2.5 Einflussfaktoren des Erfolges**

So wie bei allen wirtschaftlichen Vorgängen, die am Ende ein Produkt oder eine Leistung hervorbringen, ist laut Martin (2016, p.463) auch im Produktionsprozess die Optimierung der drei Faktoren Zeit, Geld und Qualität für den Erfolg maßgebend. Auf den Kommissionierungsprozess bezogen wird im folgenden Abschnitt die Bewertung der Kommissionierleistung beschrieben und die drei Faktoren in Bezug auf Kommissionierung erklärt.

#### **Kommissionierleistung**

Die Arbeitsleistung eines Kommissionierers bzw. einer Kommissioniererin ist auf verschiedene Arten messbar. Dabei ist das Resultat der Leistung stark von der Struktur der Aufträge (Borries and Fürwentsches, 1975), dem Kommissioniersystem, der Sortimentgröße, sowie der Kapazität der Bereitstellungs- und Versandeinheiten abhängig (Gudehus, 2010).

Nach Gudehus (2010) sind mögliche Leistungsgrößen zum Messen:

- Kommissionierleistung: Bearbeitete Positionen (Auftragszeilen) pro Zeiteinheit (h)
- Pickleistung: Gepickte und abgelegte Artikeleinheiten pro Zeiteinheit (h)
- Sammelleistung: Befüllte Versandeinheiten pro Zeiteinheit (h)

Die Wahl der Leistungsgröße ist frei zu wählen. Wobei sich Sammelleistung als eher ungeeignet erweisen, da die Versandeinheiten uneinheitliche Eigenschaften, wie beispielsweise Größe, aufweisen (Gudehus, 2010).

$$\text{Kommissionierleistung [Pos/h]} = \frac{\text{Anzahl bearbeiteter Positionen [Pos]}}{\text{Zeiteinheit [h]}}$$

Formel 1: Berechnung der Kommissionierleistung (Hompele et al., 2011, p.129)

### **Kommissionierzeit**

Die Kommissionierzeit ist ein Faktor bei der Leistungsberechnung und hat Einfluss über verschiedenen Leistungsgrößen bzw. Leistungseinheiten. Sie ergibt sich aus der Gesamtheit von Wegzeiten, Greifzeiten, Basiszeiten und Rüstzeiten bzw. Totzeit. (Gudehus, 2010; Martin, 2016) Diese verschiedenen Zeiten beschreibt Martin (2016) folgendermaßen:

#### *Wegzeit:*

- Ergibt sich aus der Zeit für Basis-, Kommissionier- und Gangwechselwege
- Sie wird rechnerisch beschrieben als die durchschnittliche Zeit zwischen zwei Entnahmestellen pro Entnahmestellen eines Auftrages
- Eine Reduktion bei statischer Bereitstellung ist möglich durch: EDV-Wegoptimierung, Verstärkung der Mobilität des Kommissionierers bzw. der Kommissioniererin oder Ordnung des Sortiments nach Umschlaghäufigkeit oder ähnlichen Metriken.

#### *Greifzeit:*

- Entspricht der zusammengesetzten Zeit aus Hinlangen, Aufnehmen, Befördern und Ablegen
- Ihre Dauer ist abhängig von Artikelform und Gewicht, Greifhöhe und -tiefe, der Menge der Entnahmeeinheiten und den Fähigkeiten des Kommissionierers bzw. der Kommissioniererin

#### *Basiszeit:*

- Beschreibt die Zeit administrativer Tätigkeiten, wie der Auftragsaufnahme und Abgabe, Koordinierung der Belege sowie deren Informationsaufnahme
- Verbesserung der Zeit sind möglich durch eine Organisationsoptimierung von Vorbereitung, Personal und Bereitstellung, beispielsweise durch die Nutzung von Kommissionierbehältern

*Totzeit:*

- Ergibt sich aus der Summe der Vorgänge des Suchens, Lesens und Kontrollierens, sowie anderen Arbeitsschritten, welche nicht in die anderen Kategorien fallen.
- Eine Senkung ist möglich durch Informations- und Suchhilfen oder einer Verbesserung der Umstände und Fähigkeit des Kommissionierers bzw. der Kommissioniererin durch andere technische Hilfen, die beispielsweise das beleglose Kommissionieren ermöglichen

Dabei ist die Verteilung der Kommissionierzeit durch Martin (2016) annäherungsweise in folgender Form beschrieben:

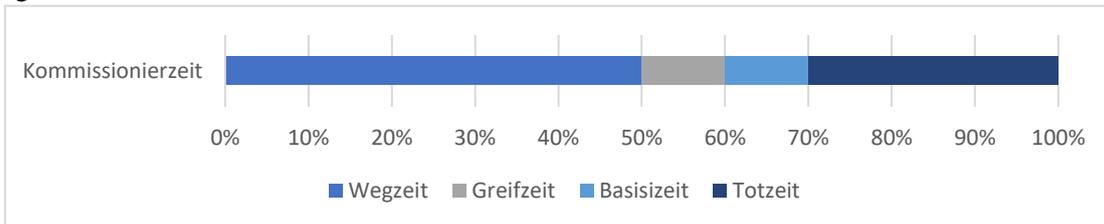


Abbildung 3: Realistische Annäherung für eine Verteilung der Kommissionierzeit nach Martin (2016)

Die Wegzeit hat einen ungefähren Anteil zwischen 30-50 Prozent, die Greifzeit und Basiszeit einen zwischen 5-10 Prozent und die Totzeit 10-35 Prozent (Martin, 2016).

## Kommissionierkosten

Da Kommissionierung ein Kernprozess im Bereich der innerbetrieblichen Lagerlogistik darstellt, ist dieser entsprechend für einen bedeutenden Teil der Umsätze verantwortlich. Die Abbildung 4 zeigt die ungefähre Menge der Kommissionierkosten in Zusammenhang zu den Lagerkosten und dem Umsatz (Nave, 2009).

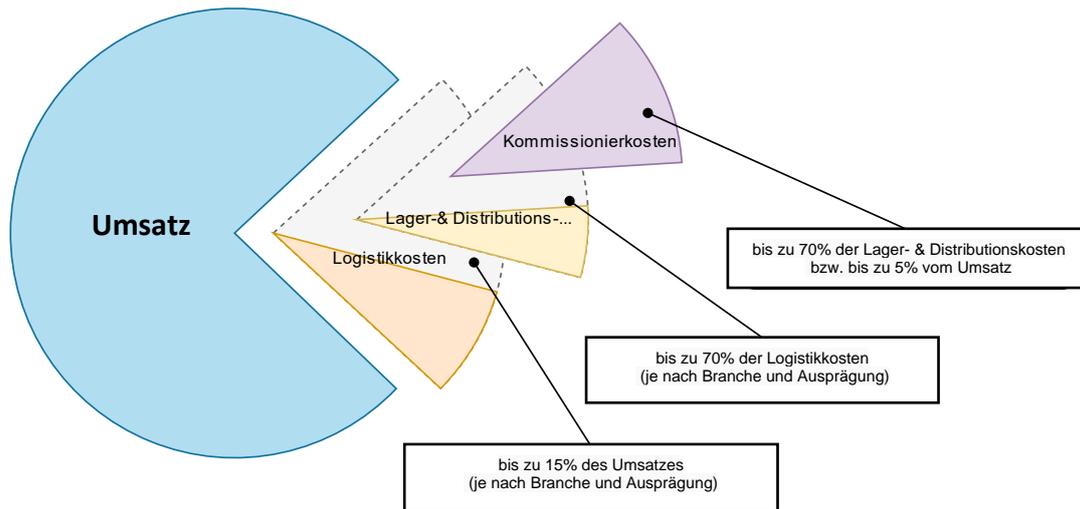


Abbildung 4: Kostenmäßiger Stellenwert der Kommissionierung (vgl. Nave, 2009, p.17)

Die Kommissionierung sollte Kosten verursachen, die von den Umsätzen gedeckt werden. In diesem Absatz nach Gudehus (2010) werden die Kommissionierkosten und Betriebskosten des Kommissioniersystems folgendermaßen beschrieben:

Kosten der Leistung des Kommissionierprozesses werden alternativ als Pickkosten bezeichnet. Diese Kosten sind Betriebskosten ( $K_{BKom}$ ) des Kommissioniersystems unterteilt auf Leistungseinheiten ( $LE$ ) innerhalb einer bestimmten Zeitperiode ( $ZP$ ), siehe Formel 2. Von den Leistungseinheiten abhängig wird die Arbeit des Kommissionierens gemessen. Sie werden in Mengen pro Zeiteinheit betrachtet, als Durchsatzgrößen bezeichnet und bilden den Leistungsdurchsatz  $\lambda_{LE}$  ab. Die Leistungseinheiten sind: Auftrag, Position, Artikeleinheit, Bereitstelleneinheit, Versandeinheit. Zum Messen der Kommissionierkosten ( $k_{LE}$ ) reicht es grundsätzlich sich auf nur eine der fünf Leistungseinheiten zu beziehen, wenn Auftragsstruktur und Kapazitäten von Ladeinheiten bekannt sind, da sich die anderen Durchsatzgrößen aus den Beziehungen

zueinander errechnen lassen. Allerdings kommen zu den berechneten Kommissionierkosten weitere Zuschläge für Verwaltung, Vertrieb, Risiko und Gewinn, die nicht in Formel 2 enthalten sind.

$$k_{LE} \left[ \frac{\text{€}}{LE} \right] = \frac{K_{BKom} \left[ \frac{\text{€}}{ZP} \right]}{\lambda_{LE} \left[ \frac{LE}{ZP} \right]}$$

Formel 2: Spezifische Kommissionierkosten aus Betriebskosten pro Leistungsdurchsatz (Gudehus, 2010, p.756)

Um die Betriebskosten zu berechnen können im Rückkehrschluss pro Leistungseinheit die Kommissionierkosten multipliziert mit dem Leistungsdurchsatz addiert werden. Das ist der variable Kostenanteil. Allerdings müssen zu dieser Summe, wie in Formel 3, auch noch die Fixkosten ( $K_{Fix}$ ) hinzugefügt werden.

$$K_{BKom} = K_{Fix} + \sum_{LE} k_{LE} \cdot \lambda_{LE}$$

Formel 3: Betriebskosten eines Kommissioniersystems (Gudehus, 2010, p.757)

Durch eine Optimierung des Kommissionierprozesses können aus dieser Beschreibung folglich auch die damit verbundenen Kommissionierkosten gesenkt werden.

### **Kommissionierqualität**

Die Kommissionierqualität wird gemessen als Anteil der fehlerfreien und zeitlich korrekten Anzahl an bearbeiteten Positionen oder Aufträgen in Verhältnis zur Gesamtanzahl dieser innerhalb eines Zeitabschnitts. Dabei wird je nach Fokus unterschieden zwischen einer Positionsfehlerquote und Auftragsfehlerquote (Gudehus, 2010).

Laut Gudehus (2010) haben folgende Aspekte der Kommissionierung einen negativen Einfluss auf die Qualität:

1. Nichtverfügbarkeit von Waren zum Zeitpunkt des Pickens. Die Warenverfügbarkeit wird durch die Nachschubdisposition mit verschiedenen Strategien sichergestellt.

2. Kommissionierfehler beim Pickprozess. Typische Fehler, die auftreten können, sind:

- Falsche Bereitstellungseinheit oder Anzahl wird entnommen
- Artikel wird verwechselt
- Position eines Auftrages wird ausgelassen
- Bereitstellungseinheit wird in falschen Auftragsbehälter abgelegt
- Pickaufträge werden übersehen und nicht bearbeitet
- Durch zu späte Fertigstellung eines Auftrages wird die Bereitstellung in der nächsten Station beeinträchtigt

Die Fehler in der Kommissionierung können nach Lolling (2003) in vier Fehlertypen unterteilt werden:

- Typfehler: (zusätzlicher) falscher Artikel wird entnommen
- Mengenfehler: Falsche Anzahl wird entnommen
- Auslassungsfehler: Artikel wird bei Auftragsbearbeitung ausgelassen
- Zustandsfehler: Zustand des Artikels ist nicht ansprechend (z.B. Beschädigung)

Dabei ist aus der Verteilung der Fehlertypen in Abbildung 5 zu erkennen, dass Typ- und Mengenfehler den Großteil ausmachen.

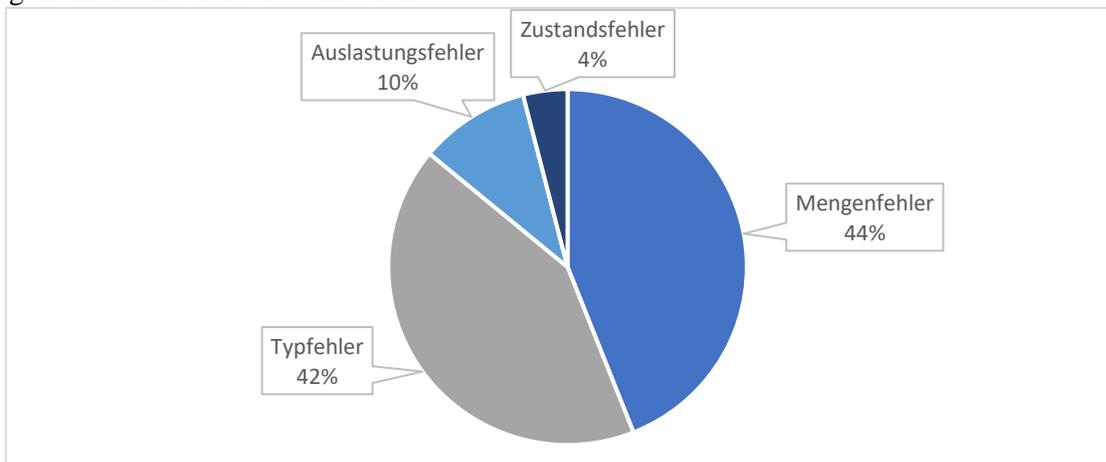


Abbildung 5: Anteil der Fehlerarten an Gesamtfehlerquote (vgl. Lolling, 2003, p.48)

Zur Sicherung der Qualität kann eine Qualitätskontrolle in später folgenden Arbeitsabschnitten durchgeführt werden. Jedoch ist das Vermeiden besser als das Korrigieren. Dafür können Mechanismen zum Anfordern zusätzlicher Informationen für den/die Kommissionierer:in zur

Kontrolle bereits Fehler vermindern. Beispielsweise durch Eingabe, Scannen und Quittieren bestimmter Informationen (Gudehus, 2010). Eine Möglichkeit zur Fehlerreduktion bildet die beleglose Kommissionierung als teilautomatisiertes Kommissionierungssystem (Martin, 2016). Mehr Informationen dazu folgen in Kapitel 3. Um die Fehlerwahrscheinlichkeit zu berechnen, oder den in der Praxis verwendeten Begriff Positionsfehlerquote, kann Formel 4 verwendet werden:

$$\text{Fehlerwahrscheinlichkeit [\%]} = \frac{\text{Anzahl fehlerhafter Positionen}}{\text{Anzahl Positionen}} \times 100\%$$

Formel 4: Berechnung der Positionsfehlerquote pro Kommissionierer:in (Lolling, 2003, p.18)

Sollen alle Kommissionierer:innen einbezogen werden, so wird ein Mittelwert gebildet. In Labortests ist zu beachten, dass die Quote deutlich höher ausfallen kann als in der Praxis, da dort ungeübte Personen zum Einsatz kommen (Lolling, 2003).

Ein anstrebenswertes Ziel bei der Sicherstellung der Qualität ist es keine der beschriebenen Fehler zu machen, auch als Null-Fehler-Kommissionierung bekannt (Gudehus, 2010). Sekundäres Ziel ist es auf Fehler vorbereitet zu sein. Die Qualität wird verbessert durch das Minimieren von Fehlern, Erhöhen von Qualitätsstandards und die Sicherstellung zuverlässiger Prozesse (Martin, 2016).

## 2.3 Enterprise Resource Planning-Systeme

Durch die Herausforderungen der Globalisierung der Märkte und sich schnell verändernde wirtschaftlichen Umstände, sind Unternehmen auf leistungsfähige Informations- und Kommunikationssysteme angewiesen. Dazu bilden ERP-Systeme eine standardisierte Form zur Unterstützung der Unternehmen bei ihren Geschäftsprozessen (Leyh, 2015).

### 2.3.1 Begriffserklärung

ERP kurz für Enterprise Resource Planning beschreibt ein System zur Planung und Steuerung von Ressourcen und Abläufen eines Unternehmens. Das Ziel ist ein effizienterer Einsatz betrieblicher Ressourcen (Martin, 2016). "Umgesetzt wird es als eine Anwendungssoftware, die Geschäftsprozesse u. a. aus den Bereichen Lagerhaltung, Vertrieb, Produktion, Einkauf,

Finanzbuchhaltung, Personalwirtschaft und Kostenrechnung eines Unternehmens koordiniert und abteilungsübergreifend unterstützt“ (Bosse and Zink, 2019, p.377). Die einzelnen Unternehmensaufgaben werden über Module realisiert. Dadurch können Unternehmen das System individuell anpassen oder erweitern, also die für sie relevanten Module nutzen. Diese Module arbeiten auf einer gemeinsamen Basis an Daten. Teil dieser Daten sind Identifikations- und Ordnungsdaten (Martin, 2016). Diese dienen beispielsweise zur Identifizierung von Produkten über die Artikelnummer oder Kategorisierung von Artikelgruppen durch Vergleichen und Auswerten der Daten. ERP-Systeme können demnach als IT-gestütztes Informationssystem bei der Kommissionierung verwendet werden.

### **2.3.2 ERP-System-Einsatz in KMU**

Es gibt verschiedene Arten von ERP- Systemen auf dem Markt. Individualsoftware und modulare Lösungen. Die Vielfalt der ERP-Lösungen stellt für KMU bei der Auswahl des „richtigen Systems“ eine Schwierigkeit dar, aber auch das Identifizieren von Einflussfaktoren bei der Einführung ist eine Herausforderung (Leyh, 2015). Laut Fueglistaller et al. (2016) existieren die folgenden Auslöser für die Einführung von ERP-Systemen:

- Optimierungspotenzial wird erwartet durch Reduktion von Inselfösungen und Medienbrüchen
- Veränderungen durch Wachstum des Unternehmens erfordert Anpassung
- Marktnotwendigkeit beispielsweise durch Kundennachfrage
- Veränderte Bedürfnisse des Unternehmens erfordern Anpassung

Der ERP-Markt ist von Großunternehmen gesättigt, doch KMU haben einen Aufholbedarf bei der Einführung von ERP-Systemen. Dabei stehen sie vor der Herausforderung einer großen Auswahl. Sie erhoffen sich mit der Einführung eine Verbesserung ihrer Wettbewerbsfähigkeit durch Senkung von Produktionskosten und der daraus resultierenden Umsatzsteigerung, um den steigenden Herausforderungen der Märkte gewachsen zu werden (Leyh, 2015).

### **2.3.3 Nutzen von ERP-Systemen**

Grundsätzlich lässt sich der betriebswirtschaftliche Nutzen eines ERP-Systems mit der Return-on-Investment-Analyse (RoI-Analyse) ermitteln (Gronau, 2021). Dabei beträgt die

Amortisation im Schnitt fünf bis sechs Jahre, was als ein langer Zeitraum verstanden werden kann (Fueglistaller et al., 2016). Durch die Einführung von ERP-Systemen erfolgt eine Sicherstellung von konstanter Qualität durch gleichablaufende, effiziente Durchläufe der Prozesse und es werden Voraussetzungen geschaffen auf denen andere Systeme aufbauen können (Fueglistaller et al., 2016). Die daraus folgende notwendige starke Standardisierung von Prozessen kann auch als Risiko verstanden werden, da dadurch die Anpassungsfähigkeit an unvorhergesehenen Faktoren eingeschränkt wird (Gronau, 2021). Eine Folge ist der Verlust von Initiative und Eifer zum Erforschen neuer innovativer Lösungsmöglichkeiten für eintretende Probleme durch das Entstehen einer formalen Organisationsstruktur und dem Verlust selbständigen Handelns (Gronau, 2021). Dagegen können anhand der Auseinandersetzung mit firmeneigenen Prozessen Kennzahlen erschlossen werden, was zur Erhöhung der Transparenz im Unternehmen führt (Fueglistaller et al., 2016). Es sprechen also genug Faktoren für eine Einführung von ERP-Systemen, jedoch muss analysiert werden, ob die wiederkehrenden Kosten für Lizenzen, Upgrades und externe Beratung sich rentieren (Fueglistaller et al., 2016). Um diese Kosten gering zu halten, bietet sich die Nutzung von Standardsoftware an. Allerdings sollte im Einzelnen entschieden werden, ob die standardisierte Variante dem Unternehmen im Wettbewerb mehr Nutzen oder Schaden bringt (Gronau, 2021).

### **ERP-Standardsoftware**

Soweit möglich, sollte bei der Auswahl von ERP-Systemen auf eine Standardsoftware gesetzt werden, da diese langfristig mehr Wert in der Wartung und Weiterentwicklung bietet (Fueglistaller et al., 2016). Für die Bewertung der Wettbewerbssituation bei Einführen einer Standardsoftware existieren Potthof (1998) und Gronau (2021) entsprechend, in der folgenden Tabelle beschriebene, Chancen und Risiken.

Tabelle 4: Chancen und Risiken beim Einsatz von Standardsoftware (Potthof, 1998, p.55; Gronau, 2021, p.14)

<i>Chancen</i>	<i>Risiken</i>
<p><i>Verbesserung der Strategie und der Wettbewerbsfähigkeit durch:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Standardisierung der Anwendungssysteme</li> <li>- Schnellere Verfügbarkeit</li> <li>- Realistischere Machbarkeit</li> <li>- Höhere Investitionssicherheit</li> <li>- Hilfestellung beim organisatorischen Wandel</li> <li>- Abbau des Anwendungsstaus</li> <li>- Konzentration auf wettbewerbsrelevante Aspekte</li> </ul>	<p><i>Einschränkung der Unternehmensstrategie:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kaum mögliche Individualisierung</li> <li>- Anpassung von Geschäftsprozessen an Standard</li> </ul>
<p><i>Qualitätssteigerung durch:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Umfassende Funktionalität und daraus entstehendes Know-How</li> <li>- Hohen Integrationsgrad</li> <li>- Hohen Reifegrad</li> <li>- Innovationen des Herstellers</li> <li>- Besserer Datenschutz und Datensicherheit</li> <li>- Eine umfangreiche Dokumentation für Benutzung</li> <li>- Eine einheitlichere Terminologie</li> <li>- Zusatzleistungen</li> <li>- Gewährleistung</li> <li>- Internationalität</li> </ul>	<p><i>Qualität leidet durch:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionsüberhang und Anforderungslücken</li> <li>- Schwierigere Einbindung von Fremdsystemen</li> <li>- Innovationsbremse wegen alter technischer Basis</li> <li>- Abhängigkeit vom Hersteller bezüglich der Geschwindigkeit von Innovation</li> <li>- Performance-/ Speicherprobleme</li> <li>- Unzureichende Dokumentation für IT</li> <li>- Unternehmensfremde Technologie</li> </ul>
<p><i>Flexibilität wird unterstützt durch:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Parametrisierung statt Programmierung</li> <li>- Mögliche Erweiterung</li> <li>- Unabhängigkeit von einzelnen Mitarbeitern/ Mitarbeiterinnen der IT</li> </ul>	<p><i>Flexibilität beeinträchtigt durch:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schwierige Systembeherrschbarkeit und -anpassung</li> <li>- Gefahr eines Verlustes der Releasefähigkeit</li> <li>- Abhängigkeit von Hersteller und Beratern</li> </ul>
<p><i>Produktivität wird verbessert:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abnahme von Stellenbrüchen, Medienbrüchen und manuellen Arbeitsschritten</li> </ul>	<p><i>Produktivität eingeschränkt durch:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ineffizienz der Systembedienung z.B. durch überflüssige Felder</li> </ul>

<i>Geringere Kosten bei:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- Anschaffung und Einführung gegenüber Individualsoftware</li><li>- Geringere Wartungs- und Pflegekosten</li></ul>	<i>Es entstehen hohe Kosten durch:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- Transaktionen</li><li>- Betrieb von Hardware (Cloud)</li><li>- Sprungfixe Lizenzkosten</li><li>- Schulungskosten</li><li>- Fremdleistungskosten</li></ul>
<i>Mitarbeiter:innen erhalten:</i>  Eine Brücke zwischen IT und Business	<i>Mitarbeiterprobleme:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- Akzeptanz gegenüber neuen Systemen</li><li>- Verlagerung von Problemen in Fachbereiche</li></ul>

### **Open Source ERP-Systeme**

In den letzten Jahren finden auch Open Source Systeme immer mehr Verwendung. Merkmal von Open Source Software ist der offene Zugriff in den Quellcode der Anwendungen (Gronau, 2021). Durch den Zugang zum Code können andere Softwareentwickler neue Features erzeugen und Fehler beseitigen (Gronau, 2021). Andere Open-Source Systeme legen nur den Applikationsteil offen in Kombination mit kommerziellen Datenbanken (Gronau, 2021) oder zusätzlichen Kosten für Installation, Anpassung und Wartung (Brehm et al., 2008). Allerdings ist die Funktionalität häufig beschränkt im Vergleich zu kommerziellen ERP-Systemen, die sich auf bestimmte Branchen spezialisieren (Gronau, 2021). So müssen für Unternehmen Kosten für die Weiterentwicklung notwendiger Features und das dafür nötige Knowhow mit einbezogen werden (Brehm et al., 2008).

## **2.4 Augmented Reality-Technologie**

Mit dem digitalen Wandel der Industrie eröffnen sich zahlreiche neue Möglichkeiten für den Einsatz von Augmented Reality als unterstützendes Element der Mensch-Maschine-Interaktion in der industriellen Produktion (Jeffery, 2022). Nach dem Fraunhofer IEM (2017) können heutzutage auch KMU durch die steigende Leistungsfähigkeit mit gleichzeitig sinkenden Kosten der AR-Technologie profitieren. Dabei werden folgende Nutzenpotenziale aufgelistet:

- Visuelle Unterstützung von Tätigkeiten durch eine erweiterte Wahrnehmung
- Zeitersparnis durch direkte Informationsbeschaffung

- Kostenersparnis durch Reduktion von Schulungsaufwänden und papierbasierter Dokumentation
- Qualitätssteigerung durch visuelle Kontrolle von Arbeitsabläufen
- Verfügbarkeit von Experten durch Remotezugriff über die Hardware

### 2.4.1 Begriffserklärung

Eine gängige Definition von Milgram et al. (1994) beschreibt die Augmented Reality (AR), zu Deutsch Erweiterte Realität, als Teil eines Kontinuums zwischen Realität und Virtualität, statt es nur als einen Gegensatz der Virtuellen Realität (VR) zu betrachten.

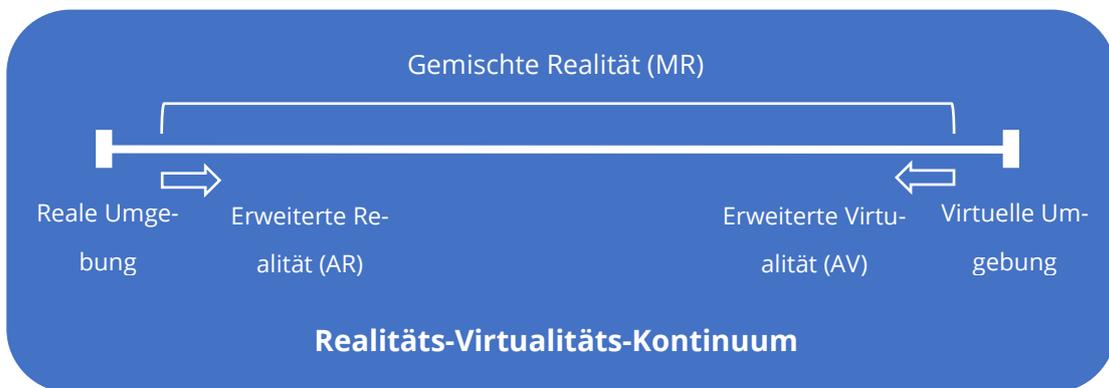


Abbildung 6: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (vgl. Milgram et al., 1994, p.283)

Bei VR ist eine Person komplett von einer künstlich erschaffenen und nicht notwendigerweise den Regeln der realen Physik unterworfenen Welt umgeben. Dagegen handelt es sich bei AR um unsere eindeutig reale Welt, die um virtuelle Elemente erweitert wird. Somit scheinen sie Antithesen zu sein, beschreiben aber Bereiche an sich gegenüber liegenden Enden des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums. Zwischen den beiden Extrema des Kontinuums kann eine Umgebung mit sowohl realen wie auch virtuellen Elementen innerhalb einer Darstellung als gemischten Realität (Mixed Reality, MR) bezeichnet werden (Milgram and Kishino, 1994). Nach dieser Definition wird AR, als Teil von MR verstanden. Das Verständnis der beiden Umgebungen wird allerdings oftmals unterschiedlich ausgelegt. So wird MR auch als eine Kombination von VR und MR, als Synonym zu AR oder als eine in der Interaktion verstärkte Form von AR verstanden (Speicher et al., 2019).

Eine andere häufig verwendete AR-Definition ist von Azuma (1997). Sie beschränkt sich nicht

nur auf eine Darstellungstechnologie, also auch nicht nur auf eine bestimmte Sinneswahrnehmung und beschreibt AR durch drei Eigenschaften:

- Kombinierte Darstellung von realen und virtuellen Objekten in einer realen Umgebung
- Darstellung über ein Interaktives Medium in Echtzeit
- Wahrnehmung von realen und virtuellen Objekten zusammen im dreidimensionalen Raum

In dieser Definition können über AR die Sinneswahrnehmungen des Sehens, Hörens, Fühlens und Riechens erweitert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Fokus auf die visuelle Wahrnehmung gelegt.

## **2.4.2 Trackingverfahren**

Die Arbeitsweise von AR-Systemen besteht aus Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe. Diese Vorgänge werden mit verschiedenen Technologien realisiert. Für die Registrierung von realen und virtuellen Objekten zusammen im dreidimensionalen Raum werden verschiedene Trackingverfahren benutzt. Über verschiedene Displayarten erfolgt eine Ausgabe in Form von virtuellen Objekten in einer realen Umgebung, sodass mit ihr interagiert werden kann. So können verschiedene Arten der Eingabe mithilfe der Trackingverfahren über die Bestimmung von Positionen im Raum verarbeitet werden. Bostanci et al. (2013) unterscheidet zwischen Trackingverfahren innerhalb und außerhalb von Gebäuden. Der Außenbereich ist schwerer abzuschätzen aufgrund der größeren Möglichkeiten für Position und Orientierung und arbeitet zum Ermitteln dieser mit Hardware-Komponenten.

Einige von Roland et al. (2001) beschriebene sind:

- GPS, Ultraschall oder optische Gyroskope
- Gyroskope oder Beschleunigungssensoren
- Kompass

Im Innenbereich können optische Trackingverfahren wegen einer einheitlichen Lichtumgebung besser genutzt werden (Bostanci et al., 2013).

## **Optische Trackingverfahren**

Dabei werden visuelle Informationen der Kameradaten verarbeitet. Hierfür gibt es zwei Ansätze: Das markerbasierte und markerlose Tracking. Marker sind im Vergleich zu anderen Objekten leicht erkennbare Elemente der Umgebung und dienen als Referenzpunkte im Raum (Bostanci et al., 2013). Üblicherweise werden für diese Art von Markern QR-Codes verwendet. Beim markerlosen Tracking, auch Spatial Mapping genannt, werden die Bilddaten der Kamera verarbeitet und nach natürlich erkennbaren Formen oder Flächen der Umgebung gesucht, die als natürliche Marker wie Referenzpunkte genutzt werden können (Piltz and Wohlgemuth, 2015). Das Spatial Mapping ist hoch, wenn Position, Abstände, Entfernungen und Größen von virtuell wahrgenommenen Objekten mit denen ihres realen Gegenstücks übereinstimmen (Pietschmann, 2015). Das Ermitteln von Position im Raum ist auch in der Robotik ein bekanntes Problem. Dort wurde an dessen Forschung der SLAM-Algorithmus zur Simultanen Positionsbestimmung und Kartierung entwickelt (Bostanci et al., 2013). Dieser lokalisierte den Standort eines Roboters auf einer Karte, welche er durch das Beobachten der Umgebung mittels Sensoren selbst entwickelt. Analog ist dies bei AR über ein am Kopf befestigtes Gerät mit Kamera umsetzbar (Bostanci et al., 2013).

### **2.4.3 Hardwareeigenschaften**

Für die technischen Umsetzungen von Hardwaremöglichkeiten existieren verschiedene Bezeichnungen in der Literatur:

- Smart Glasses oder Datenbrillen (Kretschmer et al., 2020): Brillenartige Displays
- Head-up Displays (HUD) (Guo et al., 2014): Eine statisch oberhalb des Kopfes befestigte Anzeige
- Head-mounted Displays (HMD) oder Head-worn Displays (HWD) (Jumahat et al., 2022): Eine am Kopf befestigte Anzeige, die sich mit dem Kopf bewegt. Das HMD ist auch als Helmet-mounted Display bekannt, spezialisiert auf helmartige Kopfbedeckungen

Diese Begriffe werden in den meisten Fällen bedeutungsgleich verwendet, können aber verschiedene Arten von Hardware, unterscheidbar durch ihre Größen und Funktionalitäten,

repräsentieren. Um verschiedene Arten von Hardware beschreiben zu können werden nachfolgend Eigenschaften von AR-Hardware geschildert.

### **Freiheitsgrade**

Es existieren 6-Freiheitsgrade (6DoF, 6 Degrees of Freedom), welche die Bewegungsfreiheit im Raum beschreiben. Liegen alle sechs vor, so kann die Position im Raum mittels Translation also Bewegung entlang der drei Achsen X, Y, Z getrackt werden, sowie die Orientierung im Raum durch die Rotation zwischen den drei Achsen. Es existiert auch Hardware, die nur 3-Freiheitsgrade (3DoF), nämlich nur die Orientierung, unterstützt. Das bedeutet, dass im Raum platzierte virtuelle Objekte, durch Neigen des Kopfes, in einem anderen Bildausschnitt betrachtet werden können, jedoch kein Herumgehen um die Objekte oder Annäherungen zum Objekt durch Bewegung im Raum möglich sind.

### **Okularität**

AR-Brillen lassen sich durch monokulare, biokulare und binokulare Displays unterscheiden, wobei alle gleichermaßen mit Nachteilen behaftet sind (Reif, 2009):

*Monokular:* Es gibt nur eine Bildquelle für ein Auge. Ein Vorteil ist eine Kostenersparnis und die mögliche volle Sehschärfe des zweiten Auges. Ein Nachteil ist keine Möglichkeit einer stereoskopischen Darstellung, da nur ein Auge genutzt wird. Deshalb können projizierte Objekte nicht in der Tiefe wahrgenommen werden und kurzzeitig, sekundenandauernde Störungen des Sehverständnisses, eine sogenannte binokulare Rivalität, der beiden Augen auftreten. Es wird dann im Gehirn abwechselnd nur die Wahrnehmung eines Auges priorisiert und das andere vernachlässigt. Eine Lösung für dieses Problem ist noch nicht bekannt (Reif, 2009).

*Biokular:* Hierbei gibt es nur eine Bildquelle für beide Augen. Aufgrund nur einer Bildquelle ist keine räumliche Wahrnehmung möglich. Es kann aber eine Tiefendarstellung erzeugt werden durch Darstellung von zwei monokularen Bildern auf jeder Augenseite. Hierbei gibt es das Problem der binokularen Rivalität nicht. Allerdings entsteht mehr Diskomfort wegen Erschöpfung der Augen beim Zusammenführen der Bilder und ein Doppelsehen der Bilder ist möglich (Ellis et al., 1997).

*Binokular:* Darunter sind zwei separate Displays an je einem Auge gemeint. Damit können echte 3D-Bilder mit Tiefe dargestellt werden. Die Bauweise ist komplex und die Geräte teuer. Oft bildet die Einschränkung des Sichtfeldes auf die reale Welt ein Problem. Der Abstand der beiden Displays muss für eine korrekte Tiefendarstellung an die tragende Person und deren Pupillenabstand angepasst werden (Oehme, 2004). Dafür muss eine Kalibrierung möglich sein.

### **Modell Art**

Die Bauweise der AR-Brillen kann nach Reif (2009) unterschieden werden in Look-Through (Durchsichtige) und Look-Around (Umschauende). Bei ersterem wird das Gesichtsfeld komplett verdeckt beim zweiten nur teilweise. Bei beiden Arten gibt es eine weitere Unterscheidung in Optical-See-Through (OST) und Video-See-Through (VST). OST funktionieren mit halbtransparenten Spiegeln auf die Darstellungen projiziert werden. Bei VST wird die Umwelt mit einer Kamera aufgenommen und verbunden mit weiteren Informationen in einem Display wiedergegeben. Bei Look-Around Systemen existiert eine Spezialform von OST die sich Virtual Retinal Display (VRD) nennt. Dabei werden grafische Informationen mittels Laserstrahl über einen halbdurchlässigen Spiegel direkt auf die Netzhaut abgebildet.

### **Blickfeld**

Wird aus dem englischen auch Field of View (FoV) bezeichnet und ist die maximale Größe des Bereiches auf die Informationen projiziert werden können. Über das FoV-Display kann durch die Diagonale und die Brennweite der Linse der horizontale und vertikale Winkel des Blickfeldes monokular angegeben werden. Damit wird der FoV für ein Auge berechnet. Die Überschneidung beider Augen sollte hinsichtlich der horizontalen berücksichtigt werden. Ein guter FoV beider Augen sollte so weit wie möglich gewählt werden. Jedoch wachsen mit dem FoV auch die Anforderungen für eine größere Auflösung. Als Orientierung: Bei einem horizontalen Winkel von 150 Grad und vertikalem von 60 Grad sollte die Auflösung 9000 x 3600 Pixel betragen (Patron, 2004). Desto kleiner das Blickfeld, umso mehr muss der Kopf bewegt werden, was zu Diskomfort und Schwindel führen kann.

$$FOVD [^\circ] = 2 \times \tan^{-1} \frac{\text{Displaydiagonale [mm]}}{\text{Brennweite der Linse [mm]}}$$

Formel 5: monokulare Berechnung des Field of View Displays (Reif, 2009, p.60)

Weiterhin ist zu beachten, dass Teile der Hardware durch ihre Geometrie das Blickfeld einschränken können.

### **Ergonomie**

Der Tragekomfort einer Hardware spielt eine wichtige Rolle, da diese über lange Zeit beim Kommissionieren getragen wird und somit die Benutzerakzeptanz beeinflusst. Die wichtigen Punkte dabei sind das Gesamtgewicht und die Verteilung des Gewichtes auf den Kopf. Gut ist ein nach hinten, zum Nacken verlagerter Schwerpunkt (Oehme, 2004). Außerdem ist eine Einstellung der Sehstärke und Justierungsmöglichkeiten für verschiedene Augenabstände für eine gleichberechtigte Nutzung relevant. Weiterhin ist ein stabiler Halt der Brille von Vorteil.

## 3 Stand der Technik bei der manuellen Kommissionierungstätigkeit

Hier wird der aktuelle Stand der Wirtschaft bei der Kommissionierungstechnik im Hinblick auf das Picken bei der manuellen Kommissionierung beleuchtet. Es werden unterschiedliche aktuelle teilautomatisierte Verfahren erläutert, sowie ihre Potenziale aufgezeigt. Hierbei werden die derzeitigen Fähigkeiten von AR-Hardware und der Einsatz der Technologie in der Logistik in den Fokus gesetzt.

### 3.1 Aktuelle Technik der Informationsbereitstellung und Kontrolle

Notwendige Informationen für die manuelle Kommissionierung sind beschrieben in Kommissionieraufträgen. Dort finden sich Angaben wie Entnahmeort, Artikelart, Menge und Ablageort einer Position. Um dem:der Kommissionierer:in diese Informationen zur Verfügung zu stellen, existieren laut Martin (2016) verschiedene Formen:

- *Mit Beleg*: Pickzettel/-listen oder Auftragsbelege
- *Beleglos*: Durch optische Anzeigen, Displays oder akustische Signale, also teilautomatisiert, sowie mit Elementen von Online-Kommunikation bei der Quittierung
- *Automatisch*: Arbeit wird von Maschinen übernommen (Kein Teil der manuellen Kommissionierung)

Um einen Auftrag erfolgreich abschließen zu können, erfolgen die Schritte Informationsaufnahme, Zugriff und Quittierung (Martin, 2016). Der Einsatz teilautomatisierter Kommissionierungssysteme kann dabei die Pickzuverlässigkeit verbessern (Gleißner and Femerling, 2008). Die Art der Informationsbereitstellung hat Einfluss auf Kosten, Zeit und Qualität des

Kommissionierens (Gudehus, 2010).

Verfahren, die sich bereits bewährt haben, sind angelehnt an Günthner et al. (2009):

- Pick-by-Paper Systeme: Pickzettel in Papierform
- Pick-by-Display Systeme: Mobile Datenterminals oder -endgeräte
- Pick-by-Light-Systeme: Fachbogenregale mit Lichtanzeigen
- Pick-by-Voice-Systeme: Sprachgesteuerte Endgeräte

Pick-by-Vision ist ein neuartiger Ansatz, der aktuell erforscht wird. Die aktuelle Forschung konnten aber bereits positive Resultate aufzeigen (Werning et al., 2020). Dabei handelt es sich um am Kopf fixierte AR-Systeme, die durch Erweiterung der Realität beim Kommissionieren assistieren.

### **3.1.1 Pick-by-Paper: Pickzettel/-listen**

Bei diesem Verfahren wird mittels einem Papierstück kommissioniert. Darauf ist ein Kommissionierauftrag in Listenform mit allen relevanten Informationen wie beispielsweise Lagerort, Artikelnummer, Entnahmemenge in tabellarischer Form dargestellt (Bächler, 2017). Es ist die billigste, am einfachsten einzuführende, sowie nach Baumann (2012) am weitesten verbreitete Methode, besonders in kleinen Lagern (Guo et al., 2014). Für KMU ist es meist die wirtschaftlichste Lösung (Reif, 2009). Die Liste sollte leicht verständlich und übersichtlich gestaltet werden, um Fehler beim Ablesen zu vermeiden (Günthner et al., 2009).

#### **Vorteile**

- Hauptvorteil ist eine einfache Ausfertigung und Umsetzung, und die damit verbundenen geringen Investitions- und Betriebskosten (Bächler, 2017)
- Die manuelle Abwicklungsformen bieten hohe Flexibilität gegenüber schwankenden Anforderungen. So können dadurch Eilaufträge schnell abgewickelt werden (Femerling, 2003).

### **Nachteil**

- Ein hoher Totzeitanteil wegen Handhabung der Liste und der Verschiebung des Blickes zum Identifizieren der Entnahmepositionen entsteht (Reif, 2009).
- Hoher Anteil von Typfehlern (55%) (Lolling, 2003).
- Eine eingeschränkte Bewegungsfreiheit der Hände (Günthner et al., 2009)
- Das Ablesen von der Liste ist fehleranfällig (Günthner et al., 2009)
- Erst nach Abgabe der bearbeiteten Auftragsliste, also beenden des Auftrages, kann eine Rückmeldung an ein Warehouse-Management-System (WMS) erfolgen, also nicht in Echtzeit (Bächler, 2017). Deshalb ungeeignet beim Sicherstellen einer durchgehenden Bestandskontrolle (Günthner et al., 2009).
- Es gibt keine Zeitgenauigkeit, da keine Anbindung ans WMS existiert (Reif, 2009)

### **3.1.2 Pick-by-Display: Digitale Picklisten/ Mobile Datenterminals (MDT)**

Zur Kommissionierung wird bei diesem Verfahren ein digitales Ein- und Ausgabegerät mit einer Verbindung zum WMS genutzt. Typische Bestandteile eines Geräts sind eine Anzeige, eine Eingabemöglichkeit und eine Datenübertragung (Bächler, 2017). Geräte, die in diese Kategorie fallen, sind Tablets und Displays mit Tastatur oder Scanner, sogenannte mobile Datenterminals (MDT). Häufige weitere Gerätebestandteile zum Quittieren sind Barcodescanner, RFID-Lesegeräte (Günthner et al., 2009), sowie Labeldrucker oder Waagen (Hompel et al., 2011). Mit der Scanfunktion sinkt die Fehlerrate, jedoch steigt der Zeitaufwand pro Arbeitsschritt (Günthner et al., 2009). Die Geräte werden in der Hand getragen und sind am Gürtel befestigbar oder sind fest auf Fördermitteln als Cart-mounted Displays (CMD) verbaut. Modernere Ansätze mit dem gleichen System werden mit Pick-by-Watch verfolgt und fallen aufgrund ihrer Ähnlichkeit auch unter diese Kategorie (Bächler, 2017).

### **Vorteile**

- Mit der Scanfunktion sinkt die Fehlerquote (Lolling, 2003; Günthner et al., 2009).

### **Nachteile**

- Mit der Scanfunktion steigt die Zeit pro Arbeitsschritt (Günthner et al., 2009).
- Höhere Fehlerquote als PbV und PbL (Lolling, 2003) bedingt durch kleine Displaygrößen und schlechte Lesbarkeit von MDT (Bächler, 2017).
- Beim Kommissionieren ist nur eine Hand frei (Reif, 2009).

### **3.1.3 Pick-by-Light: Regal-Lichtsysteme**

Hierbei handelt es sich um eine stationäre Technik. An Fachbogenregalen werden Lampen befestigt, die ober- oder unterhalb der Entnahmestelle leuchten und Auftragspositionen anzeigen (Bächler, 2017). Dafür ist die Installation von Signallampen und Displays zur Anzeige der Entnahmemenge notwendig (Martin, 2016), sowie eine Taste zum Quittieren und Korrigieren der Entnahme (Reif, 2009). Eine weitere Voraussetzung für die Lagerverwaltung in Echtzeit ist die Verbindung zu einem WMS (Martin, 2016). Es gibt auch Umsetzungen mit selbstständiger Quittierung des Pickprozesses durch automatische Erkennung der Entnahme im Regal (Gleißner and Femerling, 2008). Beim Abarbeiten eines Kommissionierauftrages wird nach Martin (2016) wie folgt vorgegangen:

Der Auftrag wird über Barcode im Regal eingescannt. Mittels der Lichtanzeige erfolgt die Entnahme an den angezeigten Positionen. Die Entnahme wird quittiert und das Regal wieder freigegeben. Dadurch ist keine Bearbeitung mehrerer Aufträge an einem Regal möglich, außer es werden Farbunterschiede in den Lichtquellen verbaut, durch die pro Farbe ein Auftrag erkannt werden kann (Martin, 2016).

### **Vorteile**

- Das System kann auch als Put-to-Light-System zur Anleitung des Ablageortes bei der Beschickung genutzt werden (Bächler, 2017).
- Es sind nur kurze Anlernzeiten notwendig (Reif, 2009).
- Auftragsstatus kann in Echtzeit erfasst werden, was zu hoher Transparenz bei Veränderung von Beständen führt (Bächler, 2017).
- Hohe Kommissionierleistung bei geringer Fehlerquote durch freie Hände und paralleles Arbeiten (Günthner et al., 2009).

- Totzeiten werden durch schnelleres Erkennen von Entnahme-/Ablagestellen verringert (Bächler, 2017).

### **Nachteile**

- Bei einfarbigen Lichtquellen nur ein Auftrag pro Regal möglich
- Die Auftragsreihenfolge ist von der Sequenz der Regale abhängig (Martin, 2016)
- Über Anzeigen ist nur eine einschränkende Darstellungsform von Informationen möglich (Martin, 2016)
- Anschaffung und Erweiterung sind durch Ausstattung der Regale mit Anzeigen pro Bereitstellungsplatz mit hohen Kosten verbunden (Bächler, 2017).
- Das System ist mit einem hohen Organisationsaufwand verbunden (Hompele et al., 2011)
- Ein übergeordnetes Leitsystem, wie Warehouse Management System (WMS) ist eine notwendige Voraussetzung (Hompele et al., 2011; Bächler, 2017).
- Die Funktionalität der Lampen ist immer sicherzustellen (Martin, 2016).

### **3.1.4 Pick-by-Voice: auditive Pickanweisungen**

Bei diesem Verfahren erfolgt die Auftragsübermittlung auditiv über ein Headset durch Anweisungen vom WMS über eine computergesteuerte Sprachausgabe (Bächler, 2017). Quittiert wird auch aktiv über Sprache (Gleißner and Femerling, 2008). Dabei wird zur Bestätigung eine am Regal angebrachte Kontrollziffer übermittelt (Bächler, 2017). Die Ausrüstung besteht aus einem am Tragegurt befestigten Talkman, also einem mobiles Sprachterminal, sowie Headset und Ladegerät (Martin, 2016). Inzwischen sind die Spracherkennung und das Filtern von Störgeräuschen besser geworden und das Verfahren ist auch in der Kälte beim Tragen von Handschuhen gut einsetzbar. Dort sind Tastatur und LCD- Displays wegen der Kälte problematisch (Martin, 2016).

### **Vorteile**

- Es gibt einen hohen Grad an Ergonomie durch freie Hände und Augen, somit ist der Fokus auf die Kommissionierfunktionen möglich (Bächler, 2017).
- Mitarbeiter:innen sind schnell angeleitet (Günthner et al., 2009).

## **Nachteile**

- Störgeräusche sind auch heutzutage noch nicht vollständig filterbar. Diese und undeutliche Sprache verursachen Zeitkosten und erhöhen das Stresslevel (Bächler, 2017).
- Kommunikation während Kommissionierung ist eingeschränkt. Das führt zur Abschottung zu anderen Mitarbeitern bzw. Mitarbeiterinnen, wodurch das Erfragen von Hilfe beim Kommissionieren von sperrigen Teilen erschwert wird (Günthner et al., 2009).
- Bei täglich gleichbleibender monotonen Sprachbefehlen und Abläufen kann eine Abneigung und Demotivation von Kommissionieren entstehen (Bächler, 2017).

### **3.1.5 Pick-by-Vision**

Hierbei handelt es sich um neues innovatives Verfahren, bei dem Displays am Kopf befestigt werden. Im Sichtfeld werden alle relevanten Daten des Auftrags auf diese Anzeige projiziert (Bächler, 2017). Das führt zu einer visuellen Erweiterung der Realität (AR). Der Vorgang läuft laut Jumahat et al. (2022) wie folgt ab:

Das Hinführen des Kommissionierers oder der Kommissioniererin zur Entnahmestelle, sowie die Position im Regal, wird mittels Pfeilsymbolen umgesetzt. Dann wird die Kommunikation der Anzahl zu pickender Items und bei Bedarf weiterer Informationen auf dem Display angezeigt. Zum Ausführen einer Aktion wie Quittieren wird eine Sprach-, Blick- oder Gestensteuerung benötigt.

Durch Einbinden von Barcodescanner, Spracherkennung und anderen Quittierfunktionen ist eine Erweiterung dieser Steuerungen möglich (Bächler, 2017). Durch die Neuartigkeit des Verfahrens ist die Ausführung der Kontrollfunktionen noch nicht ausgereift.

Beim Tragen von Head-mounted Displays (HMD) wird eine subjektiv höhere Beanspruchung empfunden. Visuelle Ermüdung und Kopf- und Nackenschmerzen durch mangelnden Komfort können die Folge sein (Ellis et al., 1997). Dies hat sich aber mit zunehmender Entwicklung der HMD verbessert (Bächler, 2017).

### **Vorteile**

- Grundsätzlich ist das Kommissionieren mit freien Händen möglich (Bächler, 2017).
- Es wird eine Fehlerminimierung durch visuelle Führung der Kommissionierer:innen erreicht (Jumahat et al., 2022).
- Während der Nutzung ist immer noch eine gute Kommunikation mit anderen Mitarbeitern bzw. Mitarbeiterinnen gewährleistet.
- Die Darstellung der Informationen ist an Bedingungen und Bedürfnisse anpassbar (Bächler, 2017)
- Es erfolgt eine Reduktion der Kommissionierzeit um 26-29 Prozent im Vergleich zu herkömmlichen Prozesszeiten (Günthner et al., 2009; Porter and Heppelmann, 2018).
- Es sind einfachere und schnellere Schulung von neuen Arbeitern und Arbeiterinnen, sowie einfachere Überwachung der Arbeitsprozesse möglich (Jumahat et al., 2022)
- Die Implementierung ist mit wenig Aufwand und Investitionskosten verbunden (Bächler, 2017)
- Bei zweistufiger Kommissionierung wird durch Picken von mehreren Aufträgen aufgrund von weniger Fehlern die Effizienz verbessert (Jumahat et al., 2022).
- Es besteht die Möglichkeit bei der Implementierung weiterer Hilfssysteme und Visualisierungen, wie beispielsweise Barcodescanner oder Tracking von Transportmitteln über RFID-Chips zu integrieren.

### **Nachteile**

- Es besteht eine Lichtempfindlichkeit bei den visuellen Trackingverfahren (Bostanci et al., 2013).
- Für die Nutzung ist ein WLAN-Netzwerk notwendig (Bächler, 2017).
- Die Arbeitsleistung ist geringer als bei Tablet-PCs (Bächler, 2017).
- Mögliche Kopf und Nackenschmerzen (Ellis et al., 1997).

## 4 Einsatzszenario

Dieses Kapitel dient der Ausarbeitung der Voraussetzungen für einen Kommissionierassistenten innerhalb eines KMU-Fallbeispiels. Repräsentativ hierfür existiert innerhalb des Forschungs- und Transferzentrum Business Innovation Labs (FTZ BIL) der HAW Hamburg ein Demoprozessaufbau einer KMU-Fahrradfabrik aus Legoblöcken. Zuerst werden die für die Kommissionierung notwendigen Geschäftsprozesse der Fabrik aufgezeigt und daraus Anforderungen an den Kommissionierassistenten gezogen. Anschließend werden existierende Hard- und Softwareprodukte auf ihre Eignung für den Einsatz hinsichtlich der Anforderungskriterien untersucht und Untersuchungskriterien aufgeführt.

### 4.1 Geschäftsprozesse des Szenarios

Da es sich um eine Demofabrik handelt, wird die Kommissionierung und Montage der Fahrräder mittels Legoblöcken realisiert. Dazu wird bei der inszenierten Bestellung eines Fahrrades ein Auftrag mit Positionen aus vormontierten Baugruppen erstellt. Diese Module werden in einem Teilelager bereitgehalten und kommissioniert. Um anschließend zu einem Montagearbeitsplatz transportiert und dort zu einem Endprodukt verarbeitet zu werden, damit sie für die Verpackung und den Versand fertig sind.

Prozess des physikalischen Materialflusses:



Abbildung 7: Eigene Darstellung des Prozesses des physikalischen Materialflusses

Der Informationsfluss wird im ERP-System in den Modulen Vertrieb, Produktion, Lager und Einkauf realisiert. Das Modul Lager dient als WMS mit dem der Informationsfluss der Aufträge überwacht und eingesehen werden kann. Die Erstellung und Ablauf der Aufträge

erfolgen, wie in Abbildung 8 angezeigt. Interessant für diese Arbeit sind die Pickaufträge. Der Nachschub und damit die Beschickung werden vernachlässigt.



Abbildung 8: Eigene Darstellung des Informationsflusses der Aufträge

#### 4.1.1 Kommissioniersystem im Einsatzszenario

##### Informationssystem

Im Folgenden wird die Spezifikation des Informationssystems im Szenario durch blaue Markierungen beschrieben und die genaue Umsetzung geschildert:

Tabelle 5: Informationssystem des Szenarios

Vorgang	Realisierungsmöglichkeiten				Szenario
<i>Vorbereitung der Kommissionierung</i>					
<i>Auftrags- erfassung</i>	manuell		manuell + automatisch	automatisch	Manuelle Eingabe der Be- stelldaten, automatische Auftragserstellung im ERP-System
<i>Auftrags- aufbereitung</i>	Teilauftrag		Einzelauftrag	Auftragsgruppen	Einstufige Kommissionie- rung des Auftrages ohne Veränderung des Aufbaus
	keine	manuell	manuell + automatisch	automatisch	Auftrag wird vom ERP- System aus Fertigungs-auf- trag erstellt
<i>Weitergabe</i>	ohne Beleg			mit Beleg	Informationen sollen über ein AR-System an Kom- missionierer:innen gegeben werden
	Einzelposition			mehrerer Positionen	Die nächste zu pickende Position wird in AR ange- zeigt

<i>Durchführung der Kommissionierung</i>				
<i>Quittierung</i>	je Entnahme-einheit	je Position	alle Positionen	Bestätigen der Entnahme von einer Position mit mehreren Einheiten in AR
	manuell	manuell + automatisch	automatisch	Über Gestensteuerung in AR

### Organisationssystem

Das Organisationssystem im Szenario ist im Folgenden blau markiert.

Tabelle 6: Organisationssystem des Szenarios

Teilsystem	Kriterien	Realisierungsmöglichkeiten		Szenario
<i>Aufbauorganisation</i>	<b>Zonenaufteilung</b>	einzonig	mehrzonig	Legoteile werden in gleicher Zone gehalten
<i>Ablauforganisation</i>	<b>Sammeln</b>	nacheinander	gleichzeitig	Positionen werden nach Reihenfolge gesammelt
	<b>Entnahme</b>	artikelorientiert	auftragsorientiert	Artikel werden pro Auftrag zusammen entnommen
	<b>Abgabe</b>	artikelorientiert	auftragsorientiert	Abgabe erfolgt in mehreren getrennten Aufträgen
<i>Betriebsorganisation</i>	<b>Auftragssteuerung</b>	ohne Optimierung	mit Optimierung	Optimierung der Wege wird nicht umgesetzt

### Materialflusssystem

Im Szenario erfolgt eine Kommissionierungsstrategie mit statischer Artikelbereitstellung. Die Vorgänge des Szenarios sind im Folgenden blau markiert:

Tabelle 7: Materialflusssystem des Szenarios

<i>Bereitstellung</i>	statisch	dynamisch
<i>Fortbewegung</i>	eindimensional	zweidimensional
<i>Entnahme</i>	manuell	mechanisch
<i>Abgabe</i>	zentral	dezentral

Die Bereitstellungseinheiten befinden sich zu Fuß erreichbar in einem Schrägbodenregal. Die Entnahme erfolgt manuell und die Abgabe zentral in der Fertigung.

#### **4.1.2 Lagerstruktur des Szenarios**

Der Aufbau des Lagers und Auftrages haben Einfluss auf die Einsatzmöglichkeiten von AR beim Kommissionieren. Deshalb wird hier der physikalische Aufbau des Lagers beschrieben.

##### **Lagereinheit**

Es wird im Schrägbodenregal gelagert, siehe Abbildung 9 (links). Es gibt nur eine Bereitstellungseinheit im Szenario. Entnahmeeinheiten sind Legokleinteile. Hier ist eine manuelle Kommissionierung sinnvoll, da die Teile in der Form und Größe nicht einheitlich sind und deshalb eine Automatisierung zu komplex ist. Durch die kleine Größe der Teile ist die Genauigkeit des Trackingsystems zur Fehlervermeidung stark relevant. Die Entnahmeeinheiten sind im WMS des ERP-Systems festen Lagerplätzen zugeordnet. AR bietet das Potenzial zur leichteren Identifikation der Auftragspositionen durch Darstellung des Artikelbildes im Display des AR-Gerätes. Dadurch können Typfehler verhindert werden. Sind die Teile zu gleichartig, so wie die Legosteine im Szenario, besteht die Möglichkeit die Position im Regal hervorzuheben. Besonders hilfreich ist dies bei Positionen der Artikel die seltener kommissioniert werden und dadurch dem:der Kommissionierer:in nicht im Gedächtnis bleiben.

##### **Transport**

Der Transport wird im Szenario über einen manuellen Kommissionierwagen aus Abbildung 9 (rechts) umgesetzt. Auf diesem befinden sich Kommissionierwannen. Diese werden pro Auftrag befüllt. Im Szenario gibt es nur einen Kommissionierwagen.



Abbildung 9: Bereitstellungseinheit (links) und Kommissionierwagen (rechts)

### **Lagertyp**

Das Lagersystem ist statisch, deshalb begibt sich der:die Kommissionierer:in zur Ware. Im Szenario wäre aber auch eine Umsetzung mit einem oder einer stationären Kommissionierer:in möglich, der seine Aufträge über das AR-System erhält, da das Teillager des Szenarios nur aus einem Regal besteht. Jedoch erfolgt der Abtransport der Waren manuell, deshalb wird von einer Mann-zur-Ware Kommissionierung ausgegangen. Dabei wird eine Unterstützung über AR beim Greifvorgang umgesetzt.

### **Lagergröße**

Umso größer ein Lager wird, desto wirksamer wird die Umsetzung einer Visualisierung der optimierten Kommissionierroute, da der Wegzeitanteil dann steigt. Auch können durch paralleles Anzeigen von Weg- und Auftragsinformation Totzeiten reduziert werden. Im Szenario besteht das Lager aus nur einem Schrägbodenregal. Deshalb ist die Unterstützung von AR zur Wegfindung für das Szenario nicht relevant. Es wird primär die Umsetzung des unterstützten Greifvorganges zur Verminderung der Totzeit priorisiert, da es für beide Möglichkeiten des statischen Kommissionierens wichtig ist.

### **Lagerverwaltung**

Die Verwaltung der Ressourcen erfolgt über ein ERP-System, das Anwendungen eines WMS zur Verfügung stellt. Hierbei handelt es sich um das Open Source System „Odoo“ mit den Modulen für Einkauf, Lager, Produktion und Vertrieb. Bestellte Endprodukte werden im System automatisch unter Berücksichtigung vom Materialbestand als Kommissionieraufträge zur Fertigung angelegt. Die Buchungsinteraktion mit dem ERP-System findet über eine Weboberfläche statt. Ein Zugriff auf die ERP-Daten ist über eine online API mittels XML- oder JSON-RPC Protokoll für den Echtzeitaustausch von Daten und die Registrierung über verschiedene Benutzerprofile zum Wechsel eines Kommissionierers bzw. einer Kommissioniererin möglich. Da das ERP-System für den Einsatz in einem KMU gewählt wurde, mussten bei der Wahl die Lizenzkosten berücksichtigt und ein entsprechendes Produkt gewählt werden.

## 4.2 Anbau der AR-Funktionalität

Auf Grundlage der Geschäftsprozesse und angelehnt an Reif (2009) wird in einer eigenen Darstellung der Aufbau des AR-Systems in Abbildung 10 beschrieben. Die Hauptkomponenten dabei sind das Trackingsystem, der Szenengenerator, die Datenhaltung, die Visualisierung und ein Interaktionsmedium.

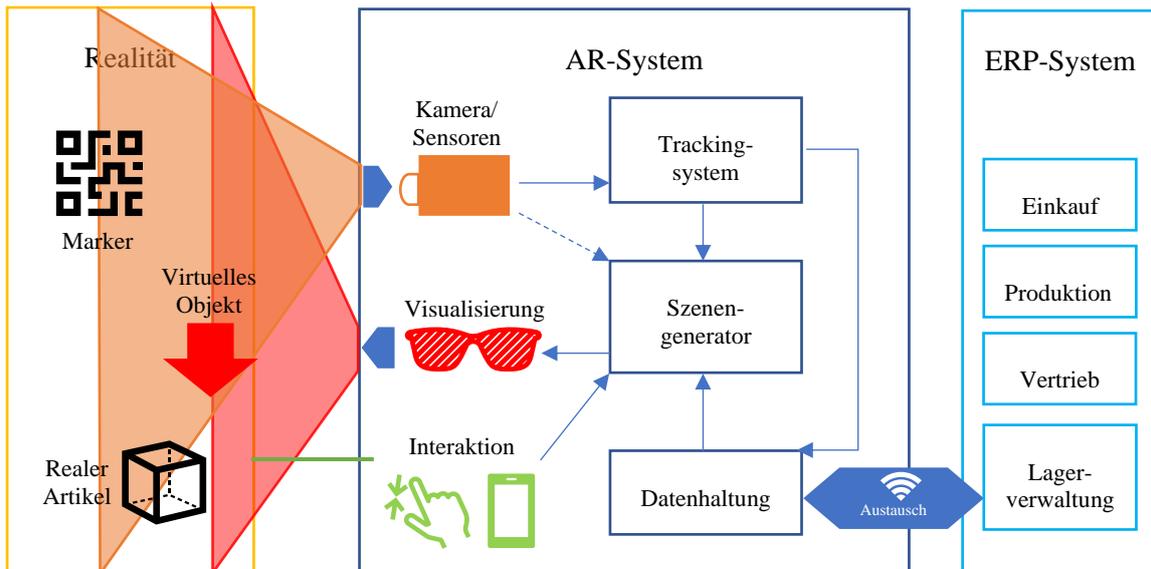


Abbildung 10: Eigene Darstellung des Aufbaus des AR-Systems im Szenario

Das Trackingsystem arbeitet mit den Daten aus der Kamera und anderen Sensoren, um Position und Orientierung von Objekten und dem oder der Nutzer:in zu ermitteln. Auf Grundlage dieser können virtuelle Objekte in der Realität platziert werden. Dieses Mischen der realen und virtuellen Elemente ist die Aufgabe des Szenengenerators. Die Visualisierung dafür ist die Schnittstelle zum:zur Benutzer:in, bei der Anweisungen in die Realität projiziert werden. Die dafür benötigten virtuellen Informationen sind in Form von Text, Bildern oder 3D-Modellen in der Datenhaltung gespeichert. Die für die Kommissionieraufträge erforderlichen Daten werden über eine Internetverbindung mit dem ERP-System aktuell gehalten. Für Echtzeitinteraktionen mit dem System, kann eine weitere Mensch-Maschinen-Schnittstelle erforderlich sein. Jedoch besitzen manche AR-Systeme auch die Möglichkeit einer Handgestenerkennung zur Interaktion ohne ein zusätzliches elektronisches Medium. Das ist eine notwendige Funktion für die Kommissionierung, damit die Hände zum Picken frei bleiben.

### 4.2.1 Ablauf des Pickprozesses mit AR

Ein grundlegender Ablauf der Pick-by-Vision Anwendung auf den Kommissionierprozess mit Hilfe einer AR-Technologie kann in folgenden Basisschritten beschrieben werden:

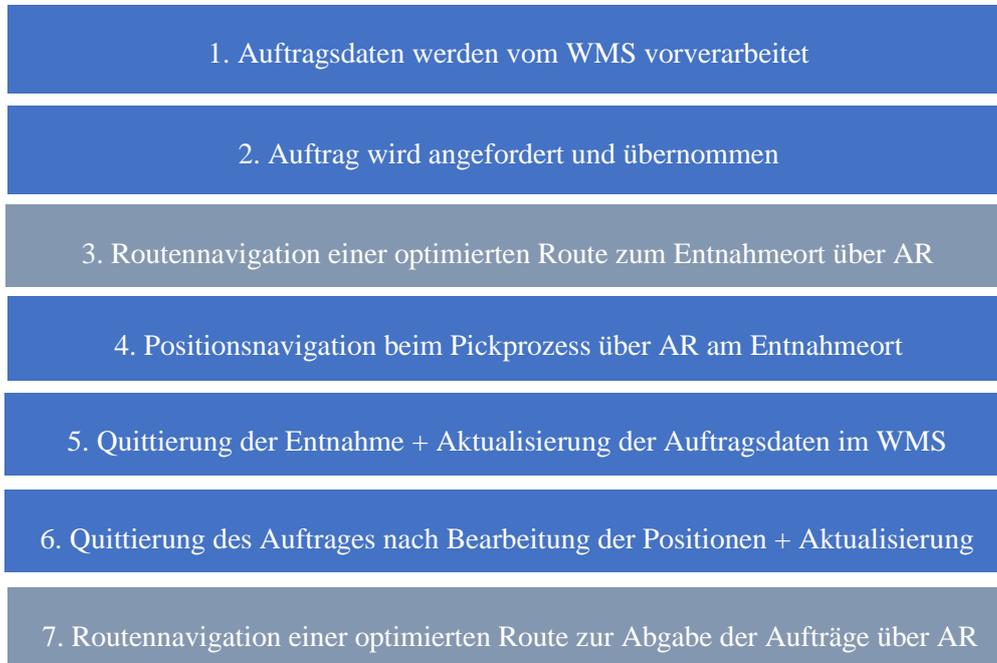


Abbildung 11: Eigene Darstellung des Pick-by-Vision Prozessablauf

Durch die Vernachlässigung der optimierten Routenfindung zur Entnahme und Abgabe sind diese Schritte in der Abbildung 11 ausgegraut.

### 4.2.2 Auftragsstruktur

Die Auftragsstruktur ergibt sich aus den Daten des ERP-Systems. Aus diesen Pickauftragsdaten sollen die für die Kommissionierung relevanten Informationen als Liste für die Kommissionierer:innen einsehbar sein bzw. die Informationen des aktuell zu pickenden Items dargestellt werden. Bei zu langen Listen, die Scrollbalken erfordern, kann dem oder der Kommissionierer:in der Überblick verloren gehen. Das verringert die Vorteile von AR unterstützter Kommissionierung. Durch Übersichtsprobleme wird die parallele Informationsaufnahme neben dem Picken erschwert und es können Fehler beim Kommissionieren entstehen. Um die Übersichtlichkeit sicherzustellen, wird primär nur die nächste zu pickende Position angezeigt. Zusätzlich kann für mehr Übersichtlichkeit mit Farben und Abständen zwischen den Informationen einer

Auftragszeile gearbeitet werden. Die wichtigsten Informationen sind je nach Leserichtung in der priorisierten Reihenfolge aufzulisten, also: Lagerort/-position, Artikelnummer/-name, Entnahmemenge, optionale Artikelbeschreibung.

### **4.3 Anforderungsanalyse**

Anhand des Einsatzszenarios werden Anforderungen an eine ERP gestützte Kommissionierungsassistentensoftware für AR ausgearbeitet. Diese werden von der vorgegebenen Hard- und Software, sowie dem oder der Anwender:in, also Kommissionierer:in, als Nutzer:in der Anwendung beeinflusst. Deshalb werden hier alle Anforderungen an die Assistentensoftware und die benötigte Hardware zusammengefasst.

#### **4.3.1 Anforderungen Assistentenanwendung**

Da der oder die Anwender:in bei der Assistentensoftware den größten Einfluss auf die Anforderungen hat, werden diese als User Stories gelistet. In Anlehnung an den bereits beschriebenen Pickprozess lauten die Anforderungen wie folgt:

Als Kommissionierer:in kann ich...

1. Mich Anmelden und Abmelden.
2. Anzahl offener Pickaufträge abfragen.
3. Einen offenen Pickauftrag reservieren und anfordern.
4. Die nächste Entnahmeposition durch Markierung erkennen.
5. Die wichtigsten Informationen der nächsten Artikelposition sehen.
6. Das Picken einer Artikelposition bestätigen.
7. Die komplette Liste des Auftrages zum Kontrollieren einsehen.
8. Einen ungeplanten Nulldurchgang beim Picken eingeben.
9. Einen fertigen Auftrag bestätigen.

Hilfe bei anderen Tätigkeiten der Kommissionierung wie Etikettieren, Verpacken und Beschriftung werden nicht in die Anforderungen aufgenommen. Außerdem wird die Routenfindung zum Entnahmeort und Abgabeort aufgrund der Szenariovorgaben vernachlässigt. Eine zusätzliche Anforderung ist eine Dokumentation der Latenzen bei der Kommunikation

mit dem ERP-System bei der Positionsberechnung im Regal für eine bessere Vergleichbarkeit mit der menschlichen Wahrnehmung. Sowie Zeitmessungen der Bilderkennung des Markers zum Finden der Startposition der Kommissionierung.

### **4.3.2 Anforderungen Hardware**

Die notwendige Hardware bildet sich aus einem AR-System mit einer mobilen Recheneinheit als Client und einem Rechner, der als Server für das ERP-System dient. Eine Anforderung an die AR-Hardware ist eine integrierte Möglichkeit für Interaktionen, damit keine weiteren Hardwarekomponenten notwendig werden. Einerseits um die Freiheit der Hände beim Pickprozess sicher zu stellen und zum anderen begründet auf dem Kostenfaktor aufgrund des Einsatzes im Bereich kleiner und mittlerer Unternehmen. Gleichmaßen soll bei der gesamten Wahl der Hardware die Kosten berücksichtigt werden.

#### **Anforderungen AR-Hardware**

Bei Betrachtung der möglichen Eigenschaften von AR-Hardware und dem Einsatzszenario lauten die Anforderung für die Wahl folgendermaßen: Monokulare Brillen werden wegen Einschränkungen in der visuellen Darstellung ausgeschlossen. Zusätzlich soll verbrauchertypische Optical-See-Through-Brillen (OST) als Vorgabe des Szenarios gewählt werden. Grundsätzlich gelten leichte monokulare Datenbrillen mit beschränkter Funktionalität als die Standardhardware in diesem Einsatzgebiet. Das liegt daran, dass verbraucherübliche HMD oft nicht den industriellen Anforderungen hinsichtlich Größe, Gewicht und darstellungsfähigem Blickfeld entsprechen (Reif, 2009). Explizite Gesetze oder Richtlinien für die Hardwarewahl existieren aber nicht. Trotzdem soll im Szenario im Hinblick auf zukünftige vielfältige Verwendungsmöglichkeiten eine kostengünstigere Verbraucher-Hardware mit mehr Funktionalität als eine spezialisierte Datenbrille gewählt werden, da mit dieser verschiedene andere Einsatzszenarien außerhalb der Kommissionierung in KMU realisiert werden könnten. Deshalb wird in dieser Arbeit ein Verbraucher-Headset mit mehr Funktionalität in den Bereichen der Darstellung und Interaktion eingesetzt als bei einer gewöhnliche Datenbrille vorhanden. Die Berücksichtigung des Preises ist dabei unerlässlich. Bei der Auswahl soll darauf geachtet werden das FoV des Displays so groß wie möglich zu wählen, um einen größeren Darstellungsbereich zu ermöglichen. Die Größe und somit das Gewicht sollen für eine gute Ergonomie so gering wie möglich

gewählt werden. Außerdem soll die Versorgung des Gerätes mit Strom über den Kommissionierprozess hinweg und eine mögliche WLAN-Verbindung gewährleistet werden. Schließlich ist für den langandauernden Einsatz über den Tag auch eine lange Akkulaufzeit oder eine austauschbare Energiequelle erforderlich.

### **Anforderungen stationärer Rechner**

Die Hauptanforderung ist, dass der Rechner für die Einrichtung der ERP-Software geeignet ist. Diese Systemanforderungen sind von der Anzahl aktiver Nutzer:innen des ERP-Systems abhängig. Für den prototypischen Einsatz in dieser Arbeit, kann hier mit einer Nutzeranzahl von einer bis maximal fünf Person/en ausgegangen werden. Für diese Einschränkung sind folgende Eigenschaften erforderlich: Der Server sollte 2 CPU-Kerne und mindestens 2 GB RAM, besser 8 GB RAM, besitzen (IFE GmbH, 2019). Die Voraussetzungen skalieren mit der Anzahl von Nutzern und Nutzerinnen, deshalb sollte die Hardware entsprechend der Größe eines Unternehmens gewählt werden.

## **4.4 Untersuchungskriterien**

### **4.4.1 Technische Umsetzbarkeit**

Es wird die Eignung der gewählten AR-Hardware für das Einsatzszenario betrachtet. Dabei ist die Funktionalität des Trackings zu untersuchen. Des Weiteren ist die Möglichkeit der Konnektivität der drahtlosen Verbindung zum ERP-System festzustellen. Außerdem ist zu überprüfen, ob der Funktionsumfang des gewählten ERP-Systems für das Einsatzszenario ausreicht. Bewertet werden die Einschränkungen, die sich bei der Umsetzung der Pick-by-Vision Technologie ins Szenario ergeben.

### **4.4.2 Latenz**

Vom Erfassen von Eingaben, bis zur Verarbeitung dieser Daten und Ausgabe in der AR-Überlagerung wird technisch begründet eine entsprechende Zeit benötigt. Diese Zeit wird als Latenz bezeichnet und ist von den Hardwarebedingungen oder softwarebegründeten Abläufen abhängig. Damit eine Interaktion in Echtzeit möglich ist und Diskrepanzen bei der Überlagerung von

virtuellen und realen Objekten nicht entstehen, wird eine möglichst kurze Latenzzeit gefordert. Ideal sind Zeiten kleiner als 70 ms, was ungefähr dem menschlichen kognitivem Verarbeitungszyklus entspricht (Bokranz and Landau, 2006). Einen Einfluss auf diese Latenz kann auch die Geschwindigkeit bei der Kommunikation mit dem ERP-System haben. Dabei kann darauf geachtet werden, ob es große Schwankungen bei den Rückgabezeiten der Anfragen gibt, um sicher zu stellen, wie zuverlässig das ERP-System antwortet.

#### **4.4.3 Kosten**

Für auf den Einsatz in KMU sollen die Kosten für die Hardware-Anschaffungen im Hinblick auf eine Einführung eines AR-Assistenzsystems einbezogen werden. Dabei sollte die Hardware minimale Voraussetzungen, wie Handtracking, 6DoF, ein leichtes Gewicht und ein groß gewähltes FoV, für den Einsatz im Kommissionierkontext erfüllen. Das ist besonders relevant, da der Großteil der Kosten eines Pick-by-Vision Systems in der Hardware steckt.

#### **4.4.4 Möglichkeiten und Genauigkeit der visuellen Darstellung und Interaktion**

Untersucht werden soll, welche Möglichkeiten existieren bei der visuellen Darstellung. Außerdem ist herauszufinden, welche Dimensionen dargestellt werden können, also 2D oder 3D, sowie, welche Farben, also RGB oder Graustufen. Das gewählte AR-Gerät ist auf die Genauigkeit der im virtuellen Raum platzierten Objekte hinsichtlich Position und Rotation zu untersuchen. Es ist zu untersuchen welche Interaktionsmöglichkeiten in AR bestehen. Außerdem ist die Genauigkeit bei der Interaktion zu beachten, da sonst Auslassungsfehler bei der Kommissionierung entstehen können.

# 5 Umsetzung des Prototyps

In diesem Kapitel werden die Randbedingungen für den Aufbau des Szenarios und des Assistenzsoftware-Prototyps festgelegt. Die Schnittstellen der AR-Hardware zur realen Welt werden beschrieben und das Software-Design und die Implementierung dokumentiert. Anschließend wird der Aufbau des Prototyps hinsichtlich der Untersuchungskriterien ausgewertet.

## 5.1 Randbedingungen des Systems

Für die Umsetzung des Szenarioaufbaus sind hier einige Randbedingungen der Hardware- und Softwarewahl festgelegt.

### 5.1.1 Hardwareauswahl ERP-System

Als Hardwaregrundlage für das ERP-System wurde Odoo über einen Docker-Container mit dem Fahrradfabrik-Image und der angebundenen Datenbank auf einem Rechner aufgesetzt, der die Anforderungen für den Aufbau erfüllt. Dieser ist im lokalen Netzwerk erreichbar. Die Kosten für einen neuwertigen Micro-Server mit den notwendigen Basisvoraussetzung beläuft sich auf ca. 980 Euro.

### 5.1.2 Hardwareauswahl AR-System

Für die Auswahl der Hardware wurden drei gängige Verbrauchermodelle für den Einsatz durch Vergleich mit den definierten Hardwareanforderungen auf ihre Eignung untersucht. Anhand dessen wurde ein geeignetes Modell für die Umsetzung ausgewählt. Monokulare Modelle, nicht Optical-See-Thought-Brillen, sowie Datenbrillen mit stark begrenzter AR-Funktionalität, wie beispielsweise „Google Glasses“, wurden bei der Gegenüberstellung außenvor gelassen. Die Spezifikationen folgender Modelle wurden betrachtet:

- Magic Leap 2
- HoloLens 2
- Xreal (ehemals Nreal) Light

Tabelle 8: Gegenüberstellung von AR-Hardwareeigenschaften

<b>Bezeichnung</b>	<b>Magic Leap 2</b>	<b>HoloLens 2</b>	<b>Xreal Light</b>
<i>Recheneinheit</i>	extern	integriert	extern
<i>Auflösung pro Auge</i>	1440 x 1760	1440 x 936	1920x1080
<i>FoV (diagonal)</i>	70°	52°	52°
<i>Gewicht</i>	260 g	566 g	106 g
<i>Speicherplatz</i>	256 GB	64 GB	64 GB Dev Kit/ Smartphone abhän- gig
<i>Tracking</i>	6DoF-Tracking Eye-Tracking Face-Tracking Hand-Tracking Tiefenkamera Ambient Light Sen- sor Trägheitsmesseinheit (IMU) mit: Akzelerometer, Gy- roskope, Magneto- meter, Altimeter	6DoF-Tracking Hand-Tracking Head-Tracking Eye-Tracking Tiefensensor Trägheitsmesseinheit (IMU) mit: Akzelerometer, Gy- roskop, Magnetome- ter	6DoF-Tracking Flächenerkennung Hand-Tracking Image-Tracking Tiefensensor Ambient Light Sen- sor Trägheitsmesseinheit (IMU) mit: Akzelerometer, Gy- roskop
<i>Energiequelle/ Akkulaufzeit (aktiv)</i>	In Recheneinheit/ 3 Stunden	In Recheneinheit/ 2-3 Stunden	Smartphone/ Re- cheneinheit abhän- gig
<i>WLAN</i>	ja	ja	ja

<i>Preis</i>	Ca. 3.700 Euro	Ca. 4.400 Euro	Mit Recheneinheit: Ca. 1.200 Euro  Ohne Recheneinheit: 800 Euro
--------------	----------------	----------------	-----------------------------------------------------------------------------

Beim Vergleich der Hardware-Eigenschaften ist erkennbar, dass die Magic Leap 2 und HoloLens 2 mehr Sensoren und andere Tracking Funktionalitäten besitzen als die Xreal. Das bedeutet aber nicht, dass die Xreal dadurch einen geringeren Funktionsumfang hat. Sie besitzt trotz ihres vergleichsweise niedrigen Preises ein 6 Degrees of Freedom (DoF) Tracking. Durch das Tracking von Position and Orientierung ist damit eine Fortbewegung mit Beibehalten fixierter Punkte im Raum möglich. Abgesehen vom Preis überzeugt das Gewicht der Xreal mit ihrer Leichtigkeit. Diese wird durch das Auslagern der Recheneinheit vom Kopf in die Hand oder eine Befestigung an einem Gürtel erreicht. Die Brille wird über ein Kabel mit der Recheneinheit verbunden. Durch das Verlagern des Gewichts weg vom Kopf wird mehr Tragekomfort ermöglicht. Dieses Design weist auch die Magic Leap 2 auf. Im Vergleich dazu beachte die HoloLens 2 diesen Effekt nicht und das Gewicht von 566 g wird zu ihrem Ausschlusskriterium. Insgesamt zeigen die Eigenschaften im Vergleich zu den Anforderungen, trotz einiger Abstriche gegenüber anderen Modellen, dass die Wahl der Xreal als Hardware des Szenarios, besonders in Anbetracht des Preises geeignet ist. Die dezentralen Recheneinheiten der Xreal benötigen minimal ein Android 8 Betriebssystem und können mit modernen Smartphones umgesetzt werden, die auch für andere Arbeiten genutzt werden können. Dadurch ist auch eine dauerhafte Versorgung mit Strom erreichbar durch einfachen Austausch der Geräte bei Bedarf. Zudem verfügen moderne Geräte meist über eine lange Akkulaufzeit. Durch das Nutzen von Smartphones mit WLAN-Möglichkeit und der im Development Kit mitgelieferte Recheneinheit, ist auch eine Internetverbindung mit dem Gerät möglich und somit auch eine Kommunikation im internen Netzwerk. Im Szenario wird die im Development Kit mitgelieferte Recheneinheit genutzt.

Im Kit ist außerdem ein Interaktionskontroller enthalten, der zur Navigation in der Software genutzt werden kann. Für das Freihalten der Hände beim Kommissionieren ist es möglich durch Handtracking softwareintern den Kontroller zu ersetzen. Nur eine direkte Tastatureingabe ist nicht in der Hardware umgesetzt, kann aber über ein Tastaturinterface in der Software realisiert werden.

### **5.1.3 Softwaresysteme**

#### **ERP-Software**

Die Wahl des ERP-Systems war bereits vom Szenario vorgegeben, wurde aber aus den folgenden Gründen hinsichtlich des KMU-Hintergrundes getroffen:

Es wurde eine Community Version von Odoo 14.0 für die Umsetzung gewählt. Diese ist als Open Source Variante der Software eine spezielle Form der Standardsoftware, die mithilfe von Modulen an die Anforderungen eines Unternehmens angepasst werden kann. Durch seinen offenen Code Aspekt wird die Software immer wieder angepasst und verbessert, was sie aktuell hält. Es gibt auch keine kommerzielle Beschränkung der dahinterliegenden Datenbank. Im Aufbau wird deshalb die Open Source Datenbank PostgreSQL 13 benutzt. Die Community Variante muss selbstständig vom Unternehmen auf eigenen Servern aufgesetzt und gewartet werden. Sie bietet nicht den vollen Funktionsumfang gegenüber der Enterprise Variante und ist so nur auf einzelne Module beschränkt, aber alle für den Szenarioaufbau notwendigen Basis-Module sind enthalten. Dadurch können Enterprise Kosten, beziehungsweise Kosten für die Nutzung von Odoo als Software-as-a-Service (SaaS) verhindert werden. Jedoch verursacht auch die Enterprise Version, mit ca. 360 Euro pro Nutzer:in im ersten Jahr, im Vergleich zu üblichen Industriesystemen nur geringe Kosten. Die Kosten der Installation für ein Unternehmen werden in diesem Aufbau außenvorgelassen, da im Einsatzszenario genug eigene Fachkräfte vorhanden sind. Für diese Entscheidung benötigt ein Unternehmen das notwendige Wissen der Arbeiter:innen im Umgang mit ERP-Software. Von diesem Wissen wird im Szenario ausgegangen. Dort sind speziell die Module für die Lagerverwaltung wichtig. In der Community Version existiert hierbei keine Barcodeverwaltung und Benutzeroberflächen sind nur für Desktop und Webbrowser ausgelegt. Das muss beim Entwurf der Assistenzsoftware beachtet werden. Allerdings ist der notwendige Datenzugriff auf Odoo über eine externe API möglich. Hierbei wird getestet, ob ein Echtzeitaustausch der Daten beim Kommissionieren realistisch umsetzbar ist. Ein weiterer positiver Punkt der Community Variante von Odoo besteht im unbegrenzten Anlegen von Benutzerinnen und Benutzern.

## AR-Software

Auf Basis der AR-Hardware entstehen Softwarevoraussetzungen für deren Nutzung. Für die Entwicklung einer Applikation auf dem Computer ist, wie in Abbildung 12 dargestellt, ein Windows Betriebssystem mit einer Installation der Unity Engine zur Entwicklung interaktiver 3D-Anwendungen Voraussetzung, sowie der Entwicklungsplattform NRS SDK als Schnittstelle zu den AR-Funktionen.

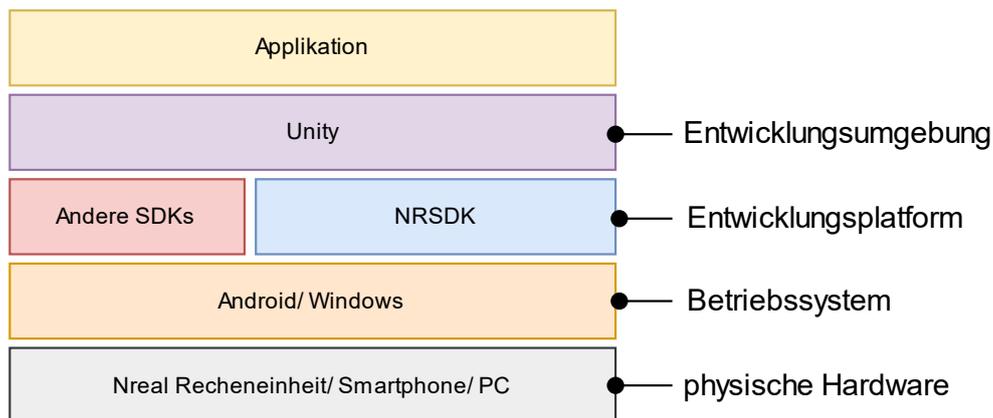


Abbildung 12: Modell aufeinander aufbauender Systemschichten (vgl. NRS SDK, 2022)

Die fertige Applikation kann als apk-Datei auf ein Android System, wie die Xreal Recheneinheit oder ein geeignetes Smartphone per Android Debug Bridge (adb) übertragen, installiert und dann mobil mit der Xreal-Brille genutzt werden. Bei der Nutzung optimiert das NRS SDK die Render-Leistung im Hintergrund zum Reduzieren von Latenzen und somit Rucklern. Dadurch wird der Tragekomfort verbessert, weil dies Schwindel minimiert.

Mindestvoraussetzungen der Entwicklungsumgebung ist die Version Unity 2018.2. Außerdem wird mindestens ein Android SDK 8.0 benötigt. Das NRS SDK unterstützt abgesehen von seinen bestehenden Fähigkeiten, wie die Berechnung von räumlichen Bewegungen, Erkennung von Flächen und Bildererkennung auch die Möglichkeit Daten der AR-Brille in Integrationen von Drittanbietern zu nutzen bzw. zu verarbeiten, womit sich in diesem Kontext nicht näher befasst wird. Zum Entwickeln und Testen liefert das NRS SDK in der Entwicklungsumgebung ein Tool zum Emulieren von AR-Vorgängen. Die üblicherweise von der Xreal aufgenommene Inputs werden dort als Tastatur- und Mauseingaben erkannt. Im NRS SDK sind bereits einige Demos mit den Basisfunktion aufgebaut anhand derer man sich bei der Umsetzung orientieren kann.

Durch die Nutzung von Unity wird mit C# programmiert. Um Unity nutzen zu dürfen, existieren verschiedene Preismodelle die abhängig von den Einkünften eines Unternehmens sind.

Für die Implementierung wurden folgende Softwareversionen gewählt: Unity Personal Version 2021.3.9f1 mit Android 8 als Zielsystem der Recheneinheit im Development Kit.

## 5.2 Anwendungsentwurf

Mit der ausgewählten Hardware und Software erfolgt der Entwurf der Assistenzsoftware.

### 5.2.1 Systemaufbau

Nach der Entwicklung des Assistenten in der Entwicklungsumgebung wird die Applikation zum Testen auf die Xreal Recheneinheit übertragen. Abbildung 13 beschreibt die Verteilungssicht der Systemkomponenten bei Ausführung der AR-Applikation.

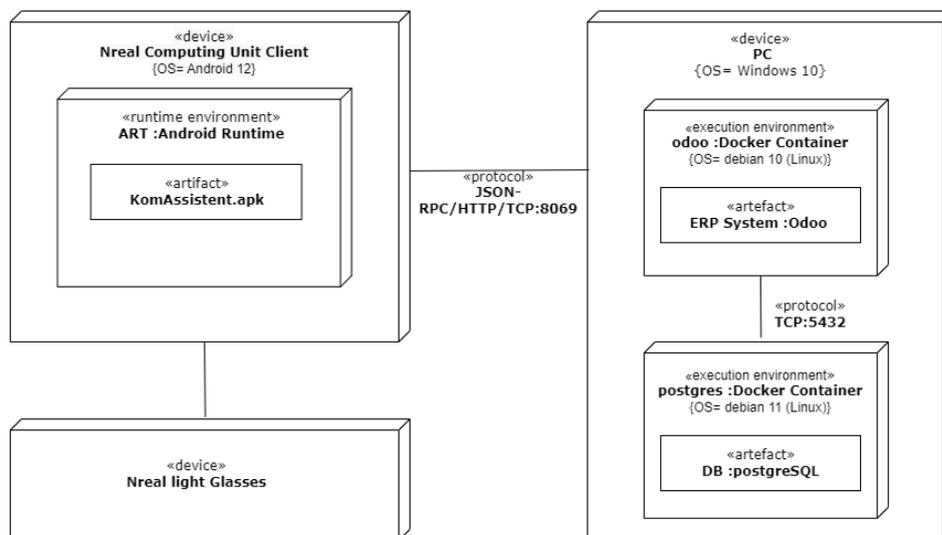


Abbildung 13: Eigenes Verteilungsdiagramm des Systems bei Ausführung in der Recheneinheit

Odoo ist als ERP-System im Docker-Container auf einem Server mit Verbindung zu einer postgresSQL Datenbank, die in einem separaten Container läuft und über den Port 5432 erreichbar ist, aufgesetzt. Die Docker-Technologie wird zur Schonung der Ressourcen der Server-Hardware eingesetzt. Außerdem wird damit eine leichtere Bereitstellung ermöglicht, wenn das ERP-System auf eine andere Hardware verlagert werden muss. Die Applikation des

Kommissionierungsassistenten wird nach der Implementierung auf der Xreal Recheneinheit installiert und über die Android Runtime ausgeführt. Dafür hat die Software einen Zugriff auf die Hardwarekomponenten der Xreal Brille, die über USB-C-Kabel mit der Recheneinheit verbunden ist. Für den Austausch der Kommissionierinformationen erfolgt die Kommunikation der Assistenzapplikation mit dem Odoo-System über JSON-RPC im lokalen Netzwerk.

## 5.2.2 Programtablaufplan

Für die Umsetzung der Anforderungen des Kommissionierassistenten wird ein Aktivitätsdiagramm erstellt, das eine Auftragsabwicklung durch Pick-by-Vision abbildet. Aus dem Konzept des Diagramms wird in Kapitel 5.3 die Benutzerschnittstellen-Interaktion entwickelt.

Der Prozess beginnt beim Start der Applikation an bestimmten Positionen im Raum, an denen Marker als Startpunkt für das Tracking angebracht werden. Durch einen Aufbau mit gleichmäßiger Verteilung der Bilder zum Berechnen der Position in der realen Welt, kann der Weg zu einer einzigen Basis vermieden werden und führt zudem zu kürzeren Wegzeiten. Dies und die Parallelisierung einiger Prozessschritte kann Kommissionierzeiten reduzieren.

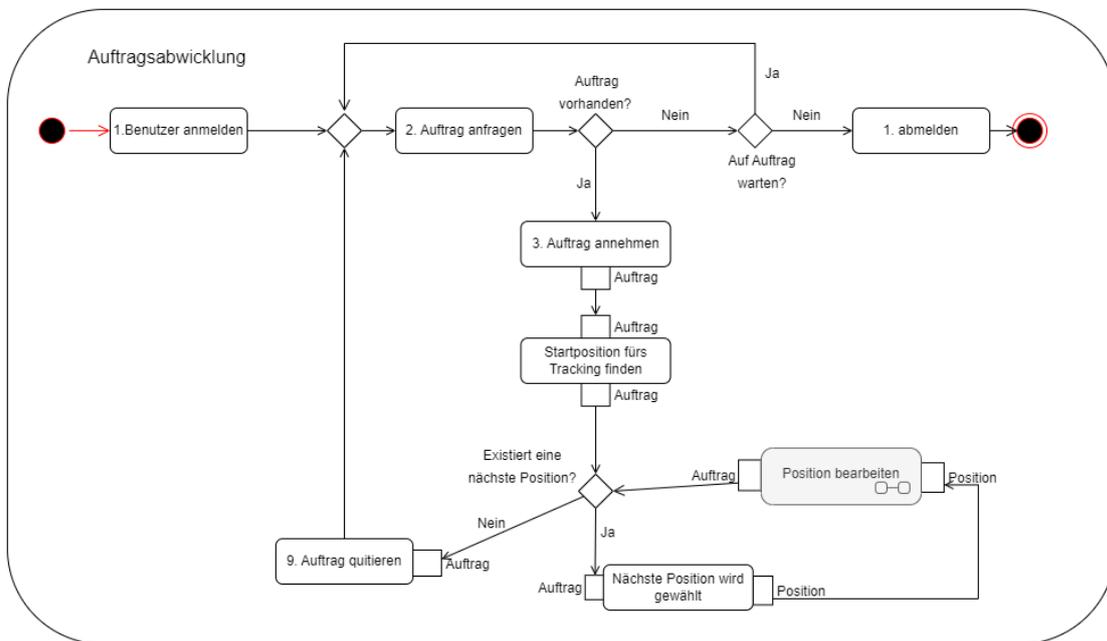


Abbildung 14: Eigenes Aktivitätsdiagramm der Auftragsabwicklung

In Abbildung 14 werden einige Anforderungen durch die Nummerierung gekennzeichnet in den Gesamtprozess integriert. Dabei wird die Aktion „Position bearbeiten“ für eine bessere Übersicht gesondert in Abbildung 15 dargestellt.

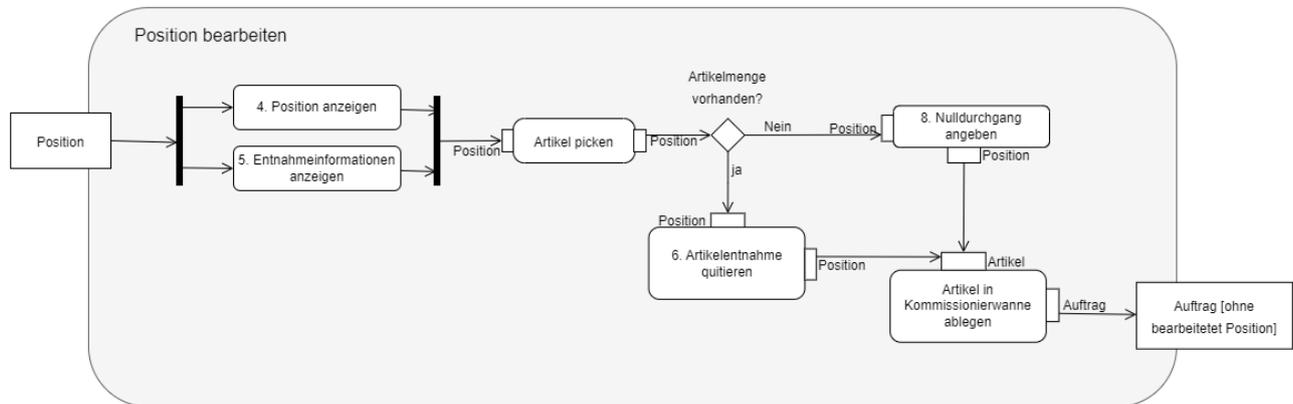


Abbildung 15: Eigenes Aktivitätsdiagramm für die Positionsbearbeitung

Abgesehen von der Auftragsbearbeitung wird auch die Angabe eines ungeplanten Nulldurchganges wegen seinem Einfluss auf die Kommissionierleistung und -qualität umgesetzt. Diese Angabe eines Nulldurchganges ist zusätzlich zur Quittierung die wichtigste Handlung beim Kommissionieren (Günthner et al., 2009). Ein ungeplanter Nulldurchgang entsteht wegen vorangegangene Mengenfehler und wird dann angegeben, wenn weniger Artikel an der Entnahmestelle vorhanden sind als im Pickauftrag des ERP-Systems gefordert. Nach der Angabe lässt sich der Auftrag nicht komplett vervollständigen und muss nach bearbeiten der anderen Positionen als unvollständig abgeschlossen werden. Dabei wird die korrigierte Bestandsmenge ans ERP-System übermittelt. Die Nachbearbeitung des halbfertigen Auftrages wird aus Zeitgründen nicht umgesetzt.

### 5.2.3 Positionserkennung über Bilderkennung

Mit der Positionserkennung wird das Festlegen eines Punktes im 3D-Raum beschrieben, um die Position von Entnahmeorten festzustellen und anzeigen zu können. Die Positionserkennung beschränkt sich nach den Anforderungen auf nur ein Regal. Für den Pickprozess bietet sich das Tracken der Position mit Markern an, da diese Marker feste Punkte im echten Raum markieren, anhand derer weitere Berechnungen möglich sind. Außerdem existiert mit dieser Methode bei Wachstum eines Lagers das Erweiterungspotenzial durch die Nutzung weiterer Marker für

neue Berechnungsstart-Positionen. Denn diese können als konkrete unterschiedliche Punkte wahrgenommen werden. Durch die konstant hellen Lichtverhältnisse der Räume des Szenarios sollte diese Art des Trackings auch nicht stark negativ beeinflusst werden. Darüber hinaus würden andere Trackingmethoden eine geringere Genauigkeit bieten

Aufgrund der im NRSDK enthaltenen Bilderkennung wurde das Tracking der Marker über dieses Feature umgesetzt. Beim Testen des Bildtrackings wurde festgestellt, dass die Zeit bis zur Erkennung, mit mehr als 10 Sekunden, bemerkbar hoch ist, weshalb auf das Markieren einzelner Artikel oder Regale verzichtet wurde und die Platzierung der Marker in Betrachtung späterer Erweiterungen raumweise gewählt wurde. Es wird zunächst anhand der Regalnummer über das Bild dessen Position berechnet und anschließend innerhalb des Regals die Position der unterschiedlichen Artikel mittels der Positionsangabe aus dem ERP-System.

### **5.3 Benutzerschnittstellen-Interaktionen**

Für die Menschen-Maschine-Interaktion werden in der Software realisierte Schnittstellen beschrieben und die Wahl begründet.

#### **5.3.1 Visualisierung der Entnahmestelle**

Die Visualisierung erfolgt nach Erkennen des Regals als Rahmen um dieses herum und für das Anzeigen des zu pickenden Artikels als Pfeil über der Pickposition. Diese Darstellung ist den meisten Menschen bekannt und deshalb schnell verständlich. Durch die Platzierung der Elemente über den Marker, bleibt auch bei möglicher Bewegung des Kopfes und des Trägers der AR-Brille im Raum ihre Position durch 6DoF-Tracking der AR-Brille fest in der Welt verankert.

#### **5.3.2 Grafische Oberflächen**

Alle grafischen Darstellungen können statisch an Positionen im Raum gebunden oder dynamisch der Position der AR-Brille folgend im vorderen Blickfeld des Kommissionierers bzw. der Kommissioniererin angezeigt werden. Für die Interaktion mit der grafischen Oberfläche besitzt das NRSDK mehrere Möglichkeiten. Dazu gehören der Xreal Light Controller, sowie das Handtracking der Software. Damit kann über eines dieser Medien ein Raycast, ein digitaler

Laserstrahl, der die Berührung mit bestimmten Objekten feststellt, eine Interaktion ermöglicht werden. Sobald eine Berührung festgestellt wurde, kann eine auf dem Objekt festgelegte Funktion über Bestätigung mittels Knopfdrucks, Touchscreen oder Handgeste erfolgen. Dabei ist das Tracking des Kontrollers nur in 3DoF möglich. Soweit möglich wird versucht die meisten Interaktionen über die Handgestensteuerung umzusetzen, da dadurch für die Kommissionierung die Hände frei bleiben.

### **Textdarstellungen**

Nicht jede Information kann intuitiv grafisch angezeigt werden. Textangaben helfen dem Verständnis und können mehr Informationen bereitstellen, werden jedoch langsamer verarbeitet. Deshalb werden die wichtigsten Auftragsinformationen als Text dargestellt. Die Entnahmeinformationen vom aktiven Artikel des Auftrages werden nummerisch beziehungsweise alphabetisch dynamische wechselnd zur Position angezeigt. Die Angabe der Lagerfachbezeichnung ist auch beim Prozess anderer Kommissioniermethoden typisch und wird hier in einer Vektorform dargestellt (X, Y, Z):

- X gibt die Spalte des Regals von links aus an
- Y gibt die Reihe des Regals von unten an
- Z gibt die Tiefe des Regals nach hinten an

Damit das Blickfeld nicht überladen erscheint und leicht lesbar bleibt, wird immer nur die Information des aktuell aktiven Artikels angezeigt. Die Informationen des gesamten Auftrags können bei Bedarf im Menü eingesehen werden. Zum Kommissionieren werden Daten, wie Entnahmeposition, Artikelnummer und -name, Entnahmemenge angegeben. Die einzelnen Informationen werden für eine schneller Erkennbarkeit in unterschiedlichen Grundfarben dargestellt.

## Menüs

Zu Beginn der Anwendung wird ein Startmenü angezeigt mit den Menüpunkten Login und dem ausgegrauten Punkt neuen Auftrag holen, der nach dem Login verfügbar ist. Beim Login wird eine Eingabe des Benutzernamens und Passwortes abgefragt. Die Eingabe erfolgt über eine projizierte Tastatur mit Hilfe der Gestensteuerung des Handtrackings. Nach dem Login besteht die Möglichkeit sich im Startmenü wieder abzumelden oder die Anzahl offener Aufträge abzufragen. Sofern ein Auftrag verfügbar ist, wird nach einer Bestätigung der Annahme des Auftrages gefragt. Diese Erfolgt in einem Popup-Menü über einen Bestätigungs-Button oder alternativ kann die Anfrage abgebrochen werden.

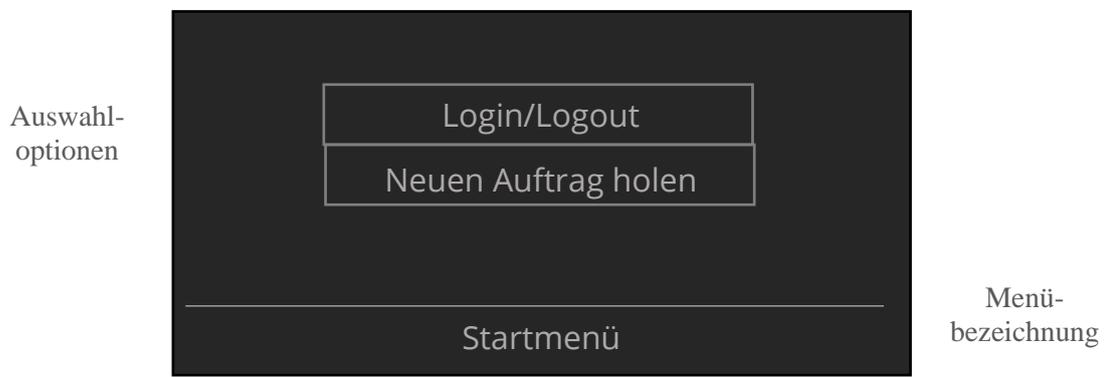


Abbildung 16: Eigene Darstellung des Startmenüaufbaus

Erfolgt eine Bestätigung des Auftrages, wird in das Kommissioniermenü gewechselt. Um das Blickfeld beim Kommissionieren nicht zu überladen, werden Funktionen wie Hauptmenü und Angabe von Mengenfehlern in Menüsymbolen versteckt.



Abbildung 17: Eigene Darstellung des Pick-/Kommissioniermenüaufbaus

Die Informationen des aktuell aktiven Artikels werden im unteren Bereich angezeigt. Die Bestätigung der Entnahme wird über einen Button im oberen, mittlern Bereich realisiert. Buttons werden genutzt, da sie für die meisten Menschen intuitiv verständlich sind. Alle Buttons befinden sich im oberen Bereich des Interfaces. Dies ist begründet in der Handerkennung und Gestensteuerung, aufgrund derer die Hand sich im Sichtfeld des Interfaces befinden muss. Um Fehlbestätigungen des Pickbuttons durch fehlerhafte Gestenerkennung vorzubeugen, wechselt der Button im oberen Bereich seine Position nach jedem zweiten Picken von der rechten zur linken Seite. Ist der letzte Artikel entnommen und bestätigt, werden unten keine neuen Informationen und kein Pickbutton mehr angezeigt. Dann kann mit dem linken, oberen Symbol das Hauptmenü geöffnet werden, wo die Bearbeitung des Auftrages nach abgeschlossener Kommissionierung zu quittieren ist. Dort kann auch bei Bedarf der gesamte Auftrag angezeigt werden. Mit einem Zurück-Button kann zurück ins Kommissioniermenü gewechselt werden.

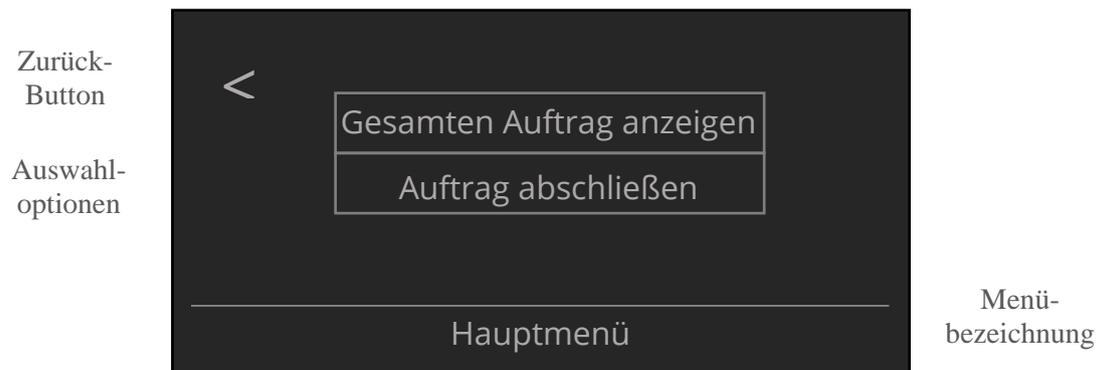


Abbildung 18: Eigene Darstellung des Hauptmenüaufbaus

Wird während des Kommissionierens das Fehlen von Artikeln an der aktuellen Entnahmeposition festgestellt und die Eingabe eines Nulldurchganges notwendig kann mit dem Ausrufezeichensymbol das erforderliche Menü geöffnet werden. Dort kann eine Nullmenge oder eine Fehlmenge über Pfeilbuttons eingegeben werden. Die Fehlmenge entspricht der zum Beenden des Auftrages noch notwendigen Anzahl des aktiven Artikels. Über Pfeile ist eine schnellere Angabe möglich als mit einer ganzen Tastaturanzeige. Mit dem rechten Button wird die Fehlmenge bestätigt.

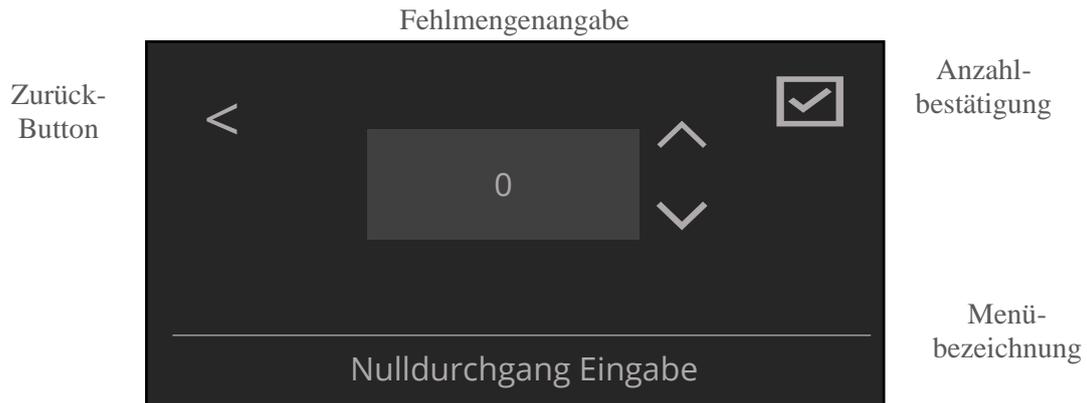


Abbildung 19: Eigene Darstellung des Nulldurchgangmenüaufbaus

Nach der Bestätigung des Nulldurchganges wird automatisch zurück zum Kommissioniermenü überleitet und der Rest des Auftrages bearbeitet.

## 5.4 Implementierung

In diesem Abschnitt wird die Implementierung des Prototyps anhand gängiger UML-Diagramme und Codeausschnitte erklärt.

### 5.4.1 Softwaredesign

Für eine Übersicht über den Aufbau der Anwendung des Kommissionierungsassistenten wird die Softwarearchitektur über Komponenten beschrieben. Dabei wird zunächst die Blackbox-Sicht betrachtet. Der konkrete Aufbau der Komponenten wird in folgenden Verlauf erläutert. Das System besteht aus drei Komponenten, die in Namespaces in C# abgebildet sind, siehe Abbildung 20.

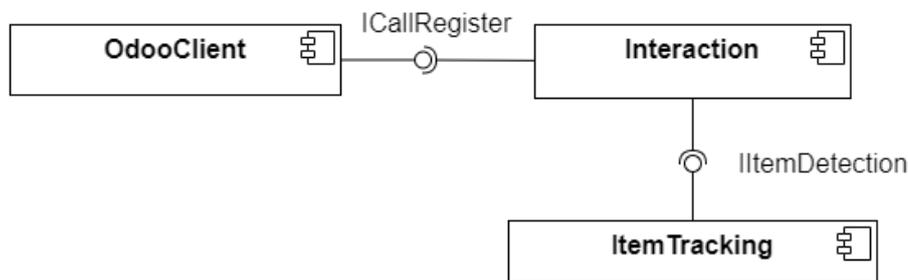


Abbildung 20: Eigene Darstellung der Blackbox-Sicht der Anwendung

Der OdooClient ist für die Kommunikation zur externen API des Odoo-Systems zuständig. Er baut eine Verbindung zum Odoo-Server auf und startet durch eine Authentifikation eine Session. Dadurch kann er notwendige Funktionen für den Austausch von Auftragsdaten mit der „Interaction“-Komponente im Interface „ICallRegister“ bereitstellen. Die „Interaction“-Komponente bildet das Bindeglied zwischen der User-Interaktion und der Verwaltung aktiver Aufträge. Dafür nutzt es die Schnittstelle „ItemDetection“ der „ItemTracking“-Komponente, welche die Funktionen des NRSDK zur Bilderkennung nutzt und die Platzierung der Positionsanzeiger an der richtigen Stelle implementiert.

### **5.4.2 ERP-Schnittstelle**

Die Kommunikation mit der externen API des Odoo-Systems ist mittels XML-RPC oder JSON-RPC möglich. Hier wurde eine Kommunikation mittels JSON-RPC umgesetzt, da es dafür in C# für Unity bereits externe Libraries gibt, die eine Implementierung vereinfachen. Dafür wird JSON.NET von Newtonsoft genutzt. Durch Annotationen können so Klassen in eine JSON-Struktur umgewandelt werden.

Um eine Verbindung zu einer Online-Instanz eines Odoo-Servers aufbauen zu können muss als erstes eine Authentifizierung erfolgen. Hierfür muss vorher in der Weboberfläche ein:Kommissionierer:in als Benutzer:in angelegt werden. Der:die Benutzer:in kann sich dann anhand dieser Zugangsdaten auch über die externe API einloggen. Es besteht aber auch die Möglichkeit API-Keys zu generieren, um diese statt einem Passwort als Zugang zu nutzen. Das macht in dieser Anwendung keinen Sinn, da zur Identifizierung eines Kommissionierers bzw. einer Kommissioniererin Zugangsdaten abgefragt werden müssen. Die Identifizierung unterschiedliche Accounts ist für die spätere Übersicht in Odoo für die Erkennung der Mitarbeiter:innen vorteilhaft. Abgesehen von der Authentifizierung stellt die API die Möglichkeit CRUD-Methoden auf verschiedene Models von Odoo anzuwenden, sowie erweiterte Funktionen wie „search“ und „count“. Models sind in Odoo implementierte Klassen, die Felder mit Informationen zu dem Model repräsentieren. Relevant für diese Anwendung ist speziell das Model „stock.picking“ zum Einsehen der Auftragsinformationen, das Model „stock.move.line“ zum Aktualisieren des Status kommissionierter Items und „stock.inventory“ zur Angabe von Fehlmengen bei versuchter Entnahme eines Produktes.

Im Model „stock.picking“ werden über die Weboberfläche neue Aufträge generiert, die dann für die Bearbeitung eingeholt werden können. Dafür müssen die Einträge des Models in der Weboberfläche den Status „waiting“ besitzen, beziehungsweise „confirmed“ im Code. Nachdem ein Eintrag für die Bearbeitung reserviert wurde und damit geprüft wurde, ob alle Produkte im Lager zum Picken vorhanden sind, wird der Status auf „ready“ gesetzt, beziehungsweise „assigned“. Nach Beenden des Pickvorhanges wird der Status auf „done“ gesetzt. Für die Umsetzung muss beachtet werden, dass Odoo einen Scheduler besitzt, welcher darauf eingestellt werden kann regelmäßig die Verfügbarkeit der Produkte selbstständig zu prüfen und damit den Status automatisch auf „ready“ zu verändern. Dies muss zur richtigen Funktionalität der Kommissionieranwendung ausgestellt werden.

Ein Auftrag besitzt ein Feld mit Identifiern für das Model „stock.move.line“ welches die zu Pickenden Items des Auftrages repräsentiert. Aus diesem Model können die Positionen der Produkte ausgelesen werden. Diese sind im Standortnamen eingebettet und haben die Form: <Lagername>/<ID Raum>-<ID Regal>-<ID Regalreihe>-<ID Regalspalte>-<ID Regaltiefe>. Die IDs im Regal werden ab der unteren, linken, vorderen Ecke des Regals gezählt und starten beim Wert 1. Ein Beispiel Standortnamen wäre: BIL/Stock/Teilelager/01-01-01-01-01. Diese Standortangabe kann innerhalb der Anwendung in einen Vector für die Position im Regal umgewandelt werden in der Form: V(<Regalspalte>, <Regalreihe>, <Regaltiefe>).

### **5.4.3 OdooClient**

Die Hauptfunktionalität der „OdooClient“-Klasse beinhaltet das Serialisieren und Deserialisieren von Klassen und JSON-Strings, sowie das Verschicken der JSON über HTTP- im lokalen Netzwerk. Die Kernmethode der Klasse ist „RequestRPCResponse“. Diese bekommt ein befülltes Objekt der Klasse „RequestModel“ übergeben mit allen relevanten Feldern zur Umwandlung in ein JSON. Durch eine Annotation der Klasse „RequestModel“, kann durch die Nutzung des externen Pakets „Newtonsoft.Json“ die Klasse als serialisierbar markiert werden, damit ein Objekt dieser Klasse zu einem JSON umgewandelt werden kann. Der gleiche Prozess wird auch beim Deserialisieren der JSON-Antwort in Objekte der inneren Klassen von „ResponseModels“ in umgekehrte Richtung durchgeführt. Wird das „RequestModel“ zu einem JSON-String umgewandelt, wie es in Listing 1 zu sehen ist, muss es in ein „StringContent“-

Objekt gepackt werden, um es über den „HttpClient“ asynchron zu posten. Allerdings erzwingt die Methode „Result“, welche auf die Antwort des Posts aufgerufen wird einen synchronen Ablauf.

Listing 1: Inhalt der Methode RequestRPCResponse

```
using (var httpClient = new HttpClient())
{
    httpClient.DefaultRequestHeaders.Accept.Add(new MediaTypeWithQualityHeaderValue("application/json"));
    string jsonString = JsonConvert.SerializeObject(requestModelObject);
    HttpContent content = new StringContent(jsonString, System.Text.Encoding.UTF8, m_Header);
    HttpResponseMessage result = httpClient.PostAsync(JsonRpcURL, content).Result;
    string jsonResult = result.Content.ReadAsStringAsync().Result;
    return jsonResult;
}
```

Das Ergebnis, welches die JSON-Antwort beinhaltet, wird als „String“ zurückgegeben und in einer anderen Methode von „OdooClient“ zu einem Objekt einer inneren Klasse von „ResponseModels“ umgewandelt. Diese Objekte werden an „CallRegister“ über die generische Methode „MethodCall<T>“ des „OdooClient“ zurückgegeben und es können relevante Informationen entnommen werden.

In „CallRegister“ werden die unterschiedlichen Methoden, welches das „ICallRegister“ anbietet, implementiert und können über diese Schnittstelle an die „Interaction“-Komponente bereitgestellt werden. Diese Methoden enthalten die Abläufe der notwendigen Aktionen, welche zum Abwickeln der Aufträge in Odoo durchgeführt werden müssen. Weitere Methoden existieren zum Befüllen des „RequestModels“ mit Parametern für jeweilige CRUD-Operationen. Da die „Delete“-Methode nicht benötigt wird, ist diese auch nicht umgesetzt. Mit einer zusätzlichen Suchmethode können bestimmte Felder, die mit einem logischen Ausdruck übereinstimmen, gefunden werden. Ansonsten gibt es eine Methode für spezielle Odoo-interne Aktionen, die ausgelöst werden sollen, sowie die Authentifikation. Einige der CRUD-Methoden haben mehrere Überladungen, die aus Übersichtlichkeitsgründen nicht im Klassendiagramm Abbildung 21 aufgeführt sind.

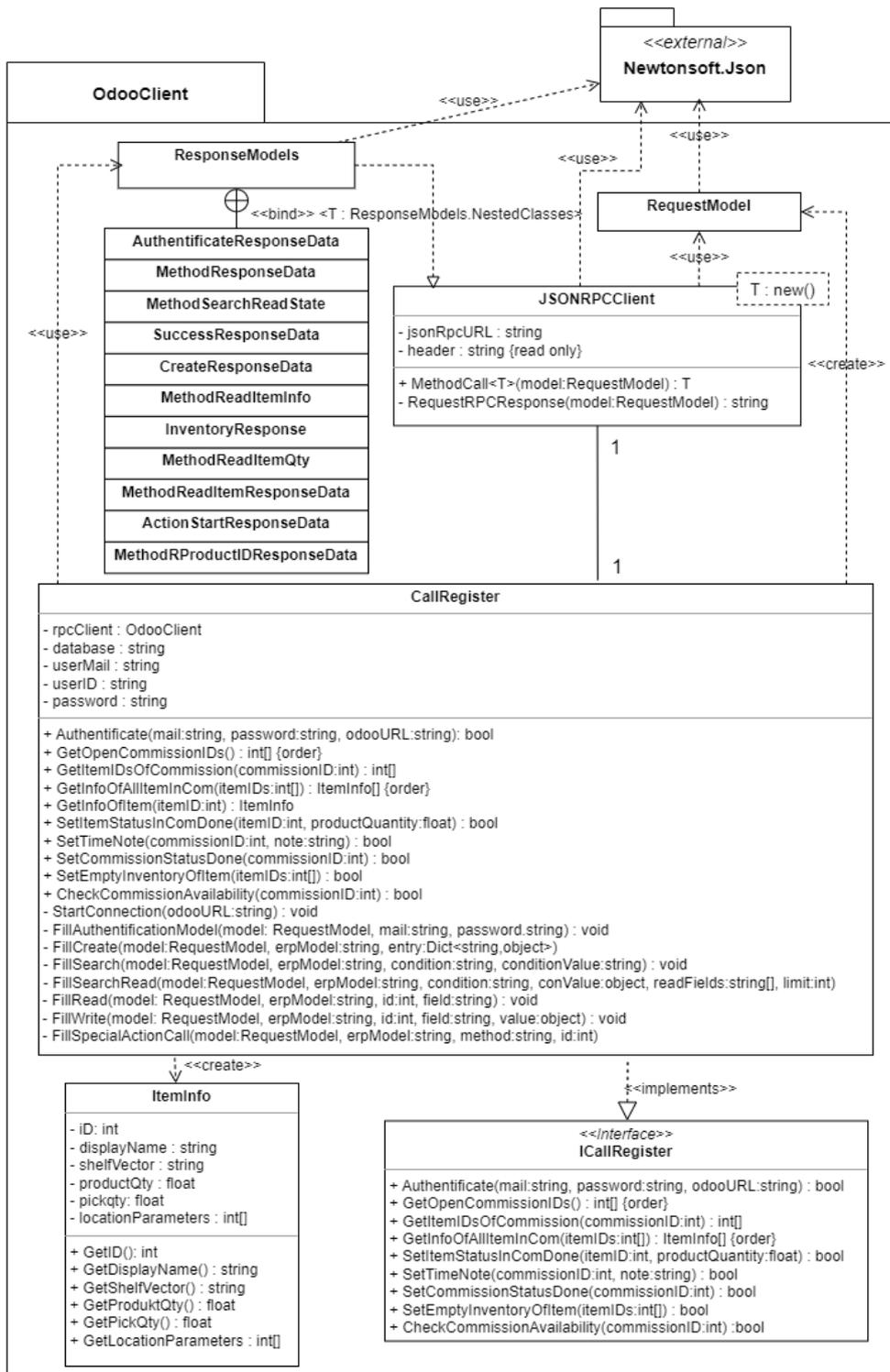


Abbildung 21: Eigene Darstellung des Klassendiagramms der OdooClient-Komponente

Für die Authentifikation im Odoo-Server werden über die „Interaction“-Komponente Zugangsdaten des Kommissionierers bzw. der Kommissioniererin abgefragt zum Losschicken mitsamt der IP-Adresse oder dem Rechnernamen inklusive des Ports des Odoo Servers, sowie dem Datenbanknamen des Odoo-Systems. Beispiel Authentifikation JSON-Anfrage:

```
{"jsonrpc":2.0,"method":"call","params":  
  {"service":"common","method":"authenticate","args":  
    [<Datenbankname>,<User Mail>,<User Password>,null]}
```

Bei erfolgreicher Authentifizierung wird ein User Identifier (uid) zurückgegeben, welcher bei jeder weiteren Anfrage mitgeschickt werden muss.

Die Klasse „ItemInfo“ ist als Behälter für die Informationen der zu pickenden Items vorgesehen und wird innerhalb einer Liste als Rückgabewert der Methode „GetInfoOfAllItemInCom“ an die „Interaction“-Komponente übergeben und auch im dortigen Kontext zum Auslesen der Informationen benutzt.

#### **5.4.4 ItemTracking**

Die Komponente „ItemTracking“ besitzt eine Schnittstelle „ItemDetection“. Dieses stellt Methoden für das Aktivieren und Beenden des Trackings bereit, sowie die Suche nach einem Bild, der als Marker fungiert. Außerdem bietet es eine Methode zum Anzeigen der nächsten Item-Position im Raum, durch Übergeben der Positionsdaten aus Odoo. Die Darstellung der Position im Raum erfolgt über Visualizer. Das sind 3-dimensionale Objekte, die in den Raum projiziert werden. Es werden zwei unterschiedliche Visualizer genutzt. Ein Visualizer markiert das aktive Regal mit einem blauen Rahmen und der Zweite bildet einen roten Pfeil ab, der zum schnelleren Picken die aktuelle Entnahmeposition markieren soll. Zum Einsparen von Rechenleistung werden die „Visualizer“ schon am Anfang der Anwendung einmalig außerhalb des Sichtfeldes instanziiert und bei Bedarf an die richtige Position verschoben. Für die richtige Positionierung der Visualizer können über die „Shelf“-Klasse alle möglichen Positionen eines Regals berechnet werden. Ein „Shelf“ besitzt einen Identifier als Nummerierung, die entsprechend der dritten Nummer des Standortnamens aus Odoo das Regal abbildet. Außerdem braucht ein „Shelf“ einen Typen und die ID eines Bildes aus der NRSDK-Datenbank verfolgbarer Bilder, sowie einen Abstand vom Mittelpunkt des Bildes zur unteren, linken,

vorderen Ecke des Regals, angegeben über einen Vector. Anhand der Position des Bildes im Raum wird über den Vector zunächst die Regalposition, mit Visualizer dargestellt, und ausgehend von dieser mit einem weiteren Vector die Entnahmeposition berechnet. Um die Entnahmeposition angepasst an die Regalart berechnen zu können, werden die Daten aus dem „Shelf-Type“ genutzt. Jedes Regal hat einen Typ mit Attributen für die Bezeichnung des Regaltyps über einen Namen, sowie Daten wie Höhe, Breite und Anzahl der Reihen und Spalten.

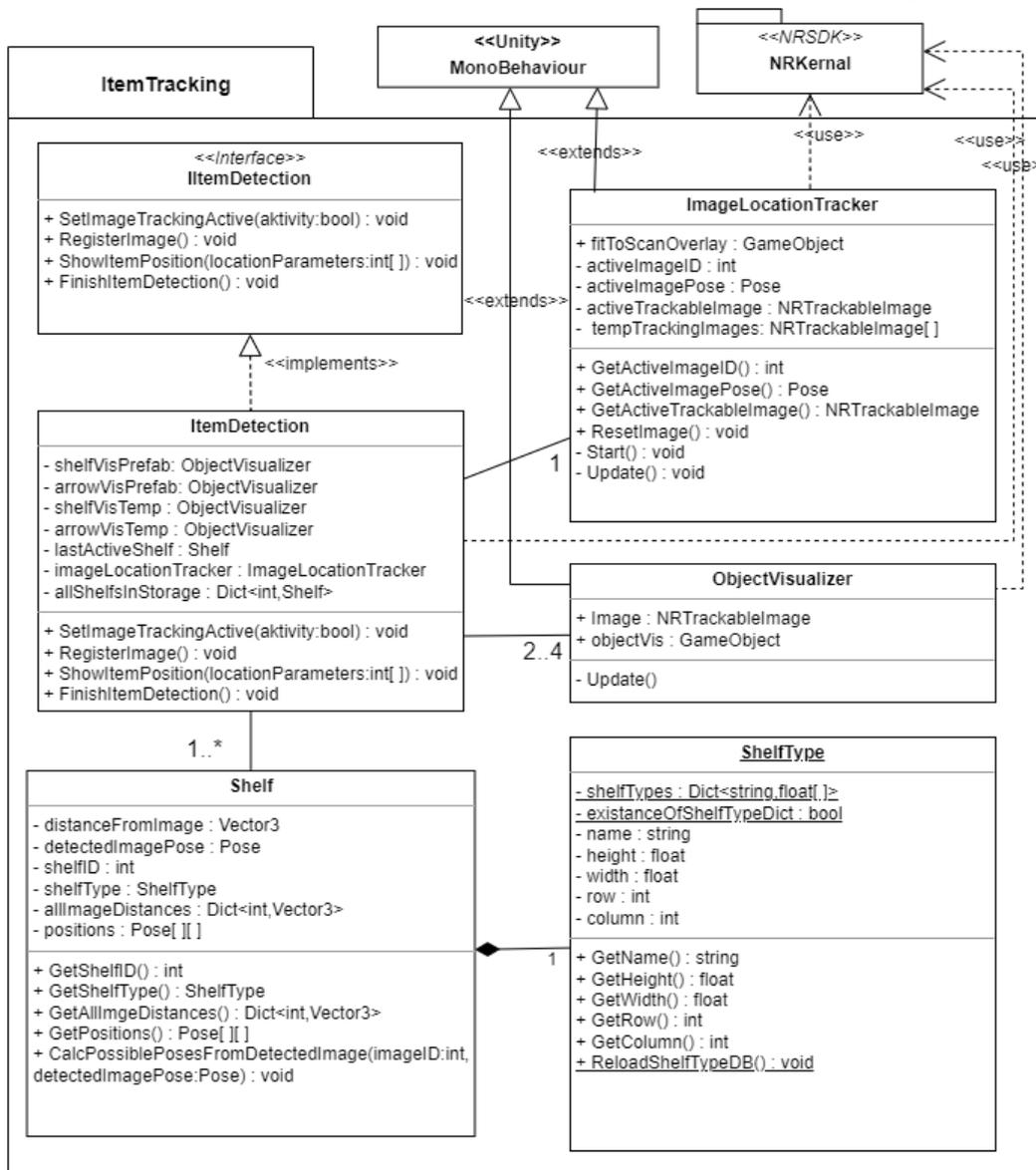


Abbildung 22: Eigene Darstellung des Klassendiagramms der ItemTracking-Komponente

Die Regaltypen und ihre Daten werden aus einem Textdokument innerhalb der Applikation, das als persistentes Medium für die Daten dient, eingelesen und können bei Bedarf während der Entwicklung im Dokument bearbeitet werden. Eine Bearbeitung der Daten über die Anwendung wurde nicht umgesetzt, da die Eingabe von Daten in AR zeitaufwändig und somit ungeeignet ist. Für eine spätere Produktivumgebung, also beim realen Einsatz in KMU, sollte ein anderes persistentes Medium, wie eine Datenbank, angebunden werden, da dieses die Bearbeitung der Daten außerhalb der Applikation ermöglicht.

Um alle Entnahmepositionen eines Regals mithilfe des Regaltyps zu berechnen, wird wie folgt vorgegangen: Ausgehend von der getrackten Position des Bildes wird der negative Vector des Bildabstandes zum Regal addiert, um die untere Ecke des Regals als Ausgangspunkt zu berechnen. Hinzu kommt, abhängig von der Unterteilung des Regals in ein Raster von Reihen ( $r$ ) und Spalten ( $s$ ), zusätzlich der Vector aus Formel 6, der den Mittelpunkt eines bestimmten Rasterfeldes im Regal abhängig von Höhe ( $h$ ) und Breite ( $b$ ) des gesamten Regals angibt.

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} \frac{b}{n_{Spalten}} * s - \left( \frac{b}{n_{Spalten}} * \frac{1}{2} \right) \\ \frac{h}{n_{Reihen}} * r - \left( \frac{h}{n_{Reihen}} * \frac{1}{2} \right) \end{pmatrix}$$

Formel 6: Vector für Positionsbestimmung im Regal

Da beim Testen festgestellt wurde, dass die Tiefe bei der Projektion mühsamer zu erkennen ist, wird das Raster und der Vector zweidimensional beschrieben. Eine dreidimensionale Umsetzung wäre bei Bedarf auch möglich. Der Vector zum Mittelpunkt eines Feldes setzt sich aus drei Aspekten zusammen. Zuerst werden die Maße für ein einzelnes Rasterfeld benötigt. Um die Breite und Höhe für ein einzelnes Feld zu berechnen, werden die Gesamtbreite und -höhe des Rasters durch die Anzahl horizontaler bzw. vertikaler Felder dividiert. Die Anzahl ist dabei vom Regaltyp vorgegeben. Als nächstes werden die Feldmaße mit der Position des zu berechnenden Feldes, anhand dessen Reihe und Spalte, multipliziert. Daraus ergibt sich der Abstand zur rechten bzw. oberen Kante des betrachteten Feldes innerhalb des Rasters. Um im dritten Aspekt die Mitte dieses Feldes zu berechnen, wird die Hälfte der Breite bzw. Höhe einer Feldgröße ermittelt. Nach Abzug dieser vom vorher berechneten Abstand, zeigt der Vector auf den Mittelpunkt des Feldes. Die Rotation im Raum wird auch anhand des getrackten Bildes

übernommen. Damit werden nach dem Finden des Bildes im Raum alle möglichen Entnahmeorte berechnet und für einen leichteren Zugriff den Positionen im Regal entsprechend in eine zweidimensionale Liste gepackt. Nun können in der Methode „ShowItemPosition“ von „Item-Detection“, über die Positionsangaben aus Odoo, die Position im Raum aus der Liste gelesen werden und die Visualizer dort platziert werden. Voraussetzung dafür ist das Tracking des Bildes im Raum. Das wird in der Klasse „ImageLocationTracker“ umgesetzt. Das Tracking wird pro Frame durchgeführt. Hierfür muss von der Unity-Klasse von „MonoBehaviour“ geerbt werden, um die Methode Update nutzen zu können, die im Lebenszyklus der Anwendung pro Frame aufgerufen wird und Änderungen in der Szene und somit der projizierten Welt vornimmt. Skripte wie „ImageLocationTracker“, die von „MonoBehaviour“ erben, müssen an Objekte in der Unity-Szene als Komponente hinzugefügt werden, damit sie richtig ausgeführt werden. In der „Update“-Funktion werden fürs Tracken eines Bildes Bedingungen abgefragt. Es wird geprüft, ob das Tracking über das NRDSK eingeschaltet ist. Wenn das zutrifft, wird eine Funktion „GetTrackables“ der „NRFrame“-Klasse aus dem „NRKernel“ aufgerufen. Es können nur Bilder getrackt werden, die vorher über eine Funktion des NRSDK in eine Tracking Datenbank hinzugefügt worden sind. Hierfür wurden die Standardtrackingbilder des SDKs genutzt, da diese mit einer guten Verfolgbarkeit beschrieben sind. Die Methode „GetTrackables“ übernimmt die Umsetzung des Trackens von Bildern über die AR-Brille. Bei der Methode muss festgelegt werden, ob alle verfolgbaren Bilder, welche im Verlauf einer Session getrackt worden sind als Rückgabewert erwartet werden oder nur neu gesuchte Bilder. Das Zurücksetzen des Bildes wurde versucht umzusetzen, musste jedoch aus diesen Gründen verworfen werden. Nach dem Prüfen dieser Funktionalität, hat sich nur das Aufrufen aller bis dato verfolgbaren Bilder in der AR-Brille als funktional erwiesen. Deshalb ist eine Änderung des Bildes als Ausgangspunkt für das Regal nur bei Neustart der Applikation möglich. Eine Möglichkeit, dies trotz dieser Einschränkungen umzusetzen, wurde aus Zeitgründen nicht verfolgt.

### **5.4.5 Interaction**

Die „Interaction“-Komponente bildet das Bindeglied zur Interaktion mit dem:der Benutzer:in. Hierfür wurden nur zwei Klassen umgesetzt, „XRKeyboardInput“ und „InteractionController“. Damit diese Interaktion möglich wird, müssen die Klassen auch von „MonoBehaviour“ erben und als Komponente in die Szene hinzugefügt werden. Alle öffentlichen Methoden ohne

Rückgabewert können so durch das Betätigen von Buttons auf Grundlage von Unity-Funktionalität über Events ausgelöst werden. Über Buttons angeordnet in einem Tastaturlayout ausgehend, werden in „XRKeyboardInput“ umgesetzte Aktionen ausgelöst, die ein Eingabefeld mit betätigten Eingaben aus dem Tastaturlayout füllen. Der Zweck dieser Klasse besteht darin die Felder beim Login mit Zugangsdaten zu füllen.

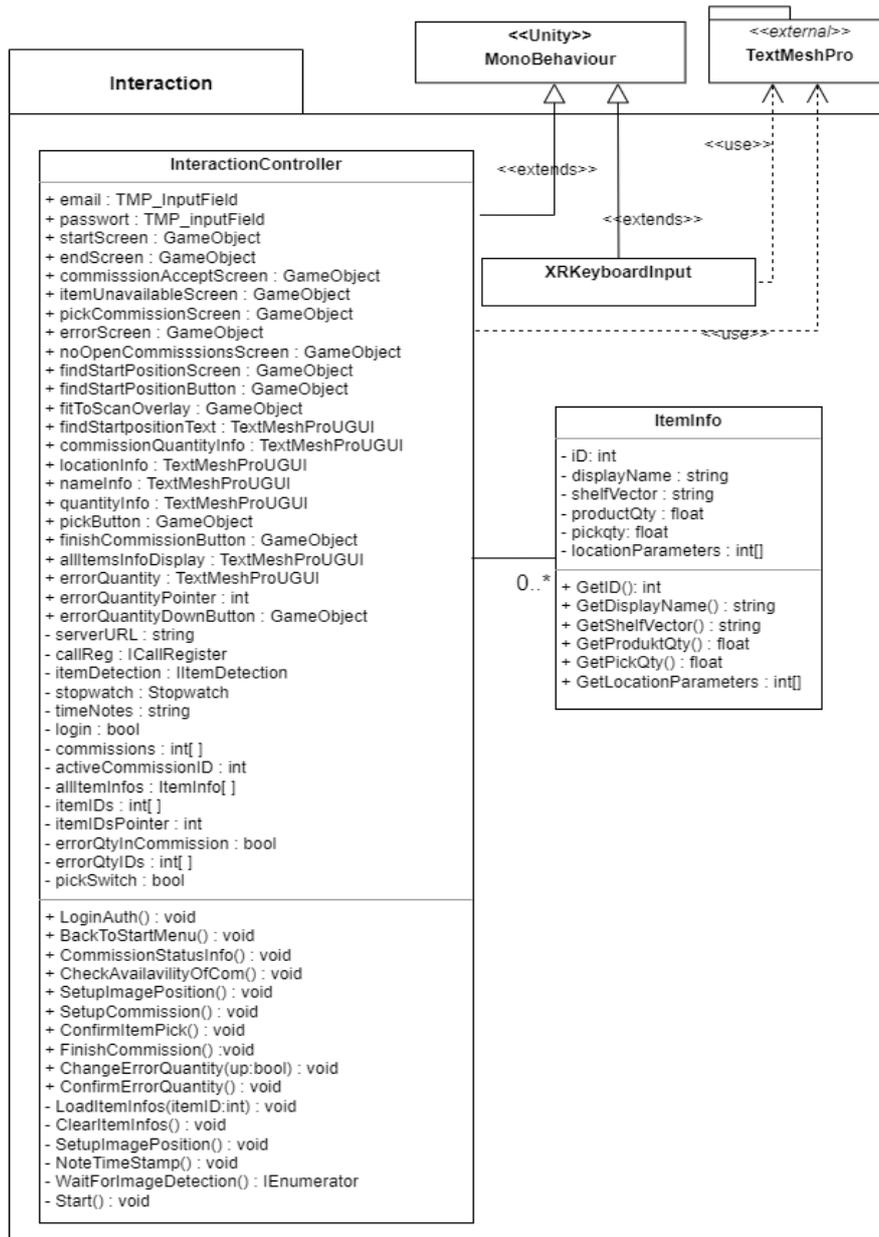


Abbildung 23: Eigene Darstellung des Klassendiagramms der Interaction-Komponente

Im „InteractionController“ sind alle anderen Methoden für die Interaktion mit den Buttons der Anwendung umgesetzt. Innerhalb dieser werden Abläufe der Anwendung beschrieben. Die „LoginAuth“-Methode wird beim Betätigen des Login-Buttons ausgelöst und schickt die Daten aus den Eingabefeldern, die über „XRKeyboardInput“ befüllt worden sind, mit der „Authenticate“-Methode von „ICallRegister“ zu Odoo. Der Rückgabewert wird in einem Bool-Attribut Login für weitere Abfragen gespeichert. Auch weitere Aktionen zur Interaktion mit Odoo werden über Abfragen, die in ICallRegister angeboten werden, realisiert. Auch die Methode „CommissionStatusInfo“ fragt dadurch IDs offener Aufträge aus Odoo ab und öffnet ein Fenster zum Ausgeben der Anzahl an den:die Benutzer:in. Durch Bestätigen der Übernahme eines Auftrages wird anschließend die Methode „CheckAvailabilityOfCom“ aufgerufen. Dort wird innerhalb der offenen Aufträge abgefragt, ob die dazugehörigen Items im Lager vorhanden sind. Sobald ein Auftrag mit verfügbaren Items gefunden wird, ist dieser als aktiver Auftrag angenommen und es wird das Menü zum Tracken der Imageposition geöffnet und das Tracking wird durchgeführt. Wurde ein Bild gefunden, kann mit einem Button ins Pickmenü gewechselt werden. Dabei wird die Methode „SetupCommission“ ausgeführt. Darin wird die Trackingfunktion des NRSDK deaktiviert und so beendet. Auch werden alle relevanten Informationen der Produkte über „ICallRegister“ als „ItemInfo“-Liste geholt. Mit diesen Informationen wird das Menü zum Ansehen aller Item-Informationen befüllt. Die Darstellung und die Daten der aktiven Pickposition im Pickmenü werden aktualisiert auf den ersten Eintrag des Auftrags. Im Pickmenü existieren drei Buttons. Ein Menübutton zum Ansehen aller Item-Informationen und Beenden des absolvierten Auftrages auf der linken Seite. Auf der rechten Seite ist ein Button für das Menü zur Eingabe von Fehlermengen im Inventar. Bei Betätigen dieses Buttons wird in dieses Menü gewechselt. Dort kann ein Fehlbestand des derzeit aktiven Items angegeben werden. Es sollte diejenige Anzahl von Items angegeben werden, welche verursacht durch den Fehlbestand nicht im Auftrag gepickt werden kann. Alternativ kann, mit Belassen der Zahl, null angegeben werden als Angabe, dass nach dem Picken der Entnahmemenge keine Items mehr im Bestand vorliegen. Dies erfolgt über eine Nummer-Anzeige und zwei Buttons zum Regulieren der Anzeige über die Methode „ChangeErrorQuantity“. Wird ein Fehlbestand mit dem rechten oberen Button bestätigt, wird die ID des Items in eine Liste gespeichert, um alle Fehlbestände eines Auftrages bis zum Beenden dieses zu sammeln. Die Menge des aktiven Items, welche noch zum Picken zur Verfügung stand, wird als entnommen bestätigt und als

entnommener Betrag im Auftrag aktualisiert. Dadurch ist die möglicherweise unvollständige Entnahme automatisch bestätigt und es wird ins Pickmenü mit den Informationen für die nächste Pickposition gewechselt. Der dritte Button in der oberen Mitte des Pickmenüs existiert für die Angabe der erfolgreichen Entnahme des angegebenen Items. Um Fehleingaben, wie Doppelbestätigungen, durch die fehlerbehaftete Handerkennung des NRSDKS zu vermeiden, wurde der Button so umgesetzt, dass er nach jedem Betätigen die Positionen von rechts nach links und umgekehrt verlagert. Nach Betätigen des Buttons wird die Messung der Latenzen für das Aktualisieren eines Items in Odoo über die Methode „ConfirmItemPick“ gemessen. Wird die Entnahme des letzten Items des Auftrages bestätigt, wird der Button im Menü zum Beenden des Auftrages aktiviert und kann betätigt werden. Es werden keine Item-Daten und kein Pickbutton mehr angezeigt. Außerdem werden die Visualizer mit der Methode „FinishItemDetection“ von „ItemDetection“ außer Sichtweite verschoben. Wird das Beenden des Auftrages bestätigt, wird der Auftragsstatus auf „Done“ geändert, sofern es keine Fehlbestandangabe gab. Bei erfolgten Fehlangaben bleibt der Auftrag in Bearbeitung, da für diesen ein Nachholauftrag für die unvollständig eingesammelten Items erfolgen müsste. Dies wurde nicht als Anforderung notiert und deshalb nicht in der Applikation umgesetzt, da diese Aktion auch über die Web-Oberfläche im Nachhinein erfolgen kann. Außerdem erfolgt ein Inventur Eintrag für die Item-Liste des Fehlbestandes. Der Bestand dieser Items wird in Odoo auf die Anzahl null aktualisiert. Zum Schluss werden noch die Zeitmessungen des Auftrages als Notiz an Odoo gesendet, dann wird der Auftrag beendet und es wird wieder ins Startmenü gewechselt, wo die Möglichkeit besteht einen weiteren Auftrag zum Bearbeiten anzufragen.

#### **5.4.6 Zeitmessung**

Die Zeitmessung wurde innerhalb des „InteractionController“, welche als zentrale Kontrolleinheit von Interaktionen zwischen den Komponenten dient, umgesetzt. Die Bilderkennung zum Finden eines Markers als Ausgangsposition ist notwendig für die weiteren Berechnungen zur Positionierung von Objekten im Raum. Die Messung dieser Zeit ist ein relevanter Faktor, aufgrund der deutlich wahrnehmbaren Zeit, die dafür mit der AR-Brille benötigt wurde und dem so entstehenden Einfluss auf die Kommissionierzeit. Umgesetzt wurde diese Messung mit Hilfe einer Koroutine die im „InteractionController“ parallel zum Tracking gestartet wird. Sie zählt während des Trackings die Millisekunden und bei erfolgreichem Finden eines Bildes in

der „ItemDetection“-Komponente wird über die Deaktivierung eines Objektes in der Szene und Abfragen des Zustandes dieses Objektes in der Koroutine die Messung beendet.

Eine weitere Zeitmessung startet im Code nach Betätigen des Bestätigungs-Buttons für das letzte Item bis zum Anzeigen der neuen Information des aktuellen Items und soll die Latenz dieser Aktion messen.

#### **5.4.7 Weitere Komponenten**

Weitere Komponenten, welche für die Umsetzung notwendig sind, aber vom NRSDK bereits fertig zur Nutzung bereitstehen, sind Prefabs, wie „NRCameraRig“ und „NRInput“, sowie eine Demoszene als Vorlage für das Handtracking. Die notwendigen Komponenten können mit einer Aktion zur Szene hinzugefügt werden und erfüllen die Bedingungen zur Nutzung der Kamera und dem Input in der AR-Brille. Außerdem muss an die Canvas, die für die Darstellung der Menüs zuständig sind, das Script „CanvasRaycastTarget“ aus dem NRSDK als Komponente hinzugefügt werden, sowie der „Render Mode“ der Canvas Komponente auf „World Space“ mit einer Kamera aus dem NRSDK für die Einstellung der Eventkamera umgeschaltet werden. Das ist notwendig damit die Buttons der Menüs auf die Eingaben der AR-Brille reagieren. Diesen Menüs wird weiterhin ein Script „MoveWithCamera“ hinzugefügt, welcher die Bewegung der Menüs zusammen mit der Kopfbewegung umsetzt. Relevant ist das für die andauernde Darstellung wichtiger Information wie Texte und Buttons des Menüs im Blickfeld des Kommissionierers bzw. der Kommissioniererin, sodass diese nicht an einer bestimmten Position im Raum verankert sind und gesucht werden müssen. Anderenfalls könnte die Suche dieser Informationen unnötige Kommissionierzeit kosten.

## 6 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Messungen der Untersuchung festgehalten und anhand dieser Rückschlüsse hinsichtlich der Forschungsfrage gezogen. Dazu werden Ideen für zukünftige Forschungsthemen notiert.

### 6.1 Ergebnisse hinsichtlich der Untersuchungskriterien

#### 6.1.1 Technische Umsetzbarkeit

Die Umsetzung eines Kommissionierassistenten war insofern erfolgreich, dass bei der Fertigstellung eine Kommissionierung unter Nutzung der Software den Vorgaben entsprechend ermöglicht wurde. Funktionen wie das Handtracking beider Hände haben für die Umsetzung ausreichend funktioniert, da beide Hände, sowie Handgesten als Eingaben, erkannt wurden. Die Hände konnten von Anfang bis Ende der Anwendung zur Interaktion genutzt werden, so dass bei der Kommissionierung beide Hände nutzbar waren. Es gab keine Konnektivitätsprobleme zum ERP-System die von der AR-Hardware verursacht worden sind. Solange die Geräte mit dem laufenden ERP-System und der Anwendung im selben Netzwerk verbunden sind und eine Namensauflösung im Router eingestellt ist bzw. dem Gerät mit dem ERP-System eine feste IP-Adresse zugewiesen ist, sollte die Konnektivität zwischen Client und Server gewährleistet sein. Es wurden keine zusätzlichen Untersuchungen mit großen Abständen zum Router durchgeführt. Eine Anforderung die erfolgreich implementiert werden konnte, ist die Angabe von Nulldurchgängen.

Eine negative Auffälligkeit wurde beim Testen das Tracking von Markern aufgedeckt. Dafür wurde die Bildtracking-Funktionalität des NRSDKs untersucht, da die getrackten Bilder für weitere Berechnungen als Startposition genutzt werden. Beim Testen wurde zum einen keine Möglichkeit gefunden pro Auftrag eine neue Startposition zu wählen. Oder es muss dann auf

einen Neustart der Anwendung zurückgegriffen werden, um eine neue Startposition wählen zu können.

Eine weitere Einschränkung der Bilderkennung: Von 20 Bildmessungen haben zwei das Bild zwar als erkannt angenommen, haben allerdings die Angabe der Startposition des Bildes an einer weit entfernten anderen Position im Raum angezeigt. Dadurch konnten die Visualizer nicht korrekt im Raum vor dem Regal platziert werden und es konnte nur anhand der Positionsdaten im Menü kommissioniert werden.

Bedenklich ist auch die Schwierigkeit bei der Erkennung der korrekten Rotation der virtuellen Welt des AR-Systems in Relation zum Marker, wenn die Applikation nicht mit dem Kopf Richtung Marker gestartet wird. Unter diesen Umständen wird die Rotation des Bildes immer falsch berechnet,

### 6.1.2 Latenzen

Weiterhin haben bei der Bilderkennung die Zeitmessungen bemerkbar lange Zeiten ergeben. Es wurden 20 Durchläufe bei natürlichen Lichtverhältnissen am Tag überprüft.

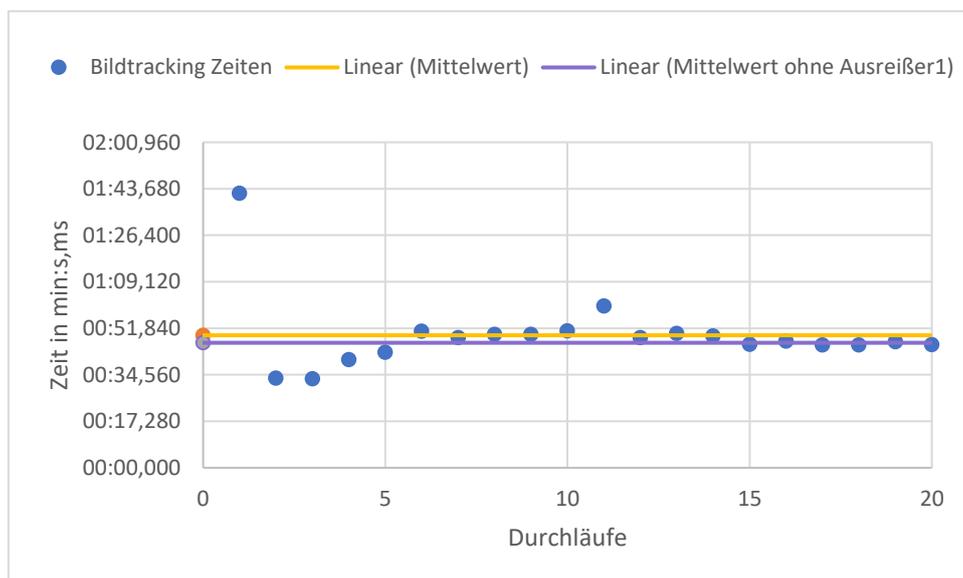


Abbildung 24: Zeitmessungen der Bilderkennung in min:s,ms

Dabei wurde das Tracking im Abstand von ca. 40 cm zum Bild durchgeführt mit geringfügigen Schwankungen von +/- 10 cm, die bei üblicher Verwendung auftreten. Im Durchschnitt lag die gemessene Zeit bei 49 s 228 ms und ohne den besonders starken Ausreißer bei 46 s 452 ms. Ein Ausreißer ist ein Wert, der aus der erwarteten Messreihe hervorsticht, da seine Streuung zu groß ist, wie in diesem Fall mit mehr als der dreifachen Standardabweichung, also über 40 s 278 ms Abweichung zum Mittelwert. Ein Grund für den Ausreißer mit 1 min 41 s 969 ms konnte nicht festgestellt werden.

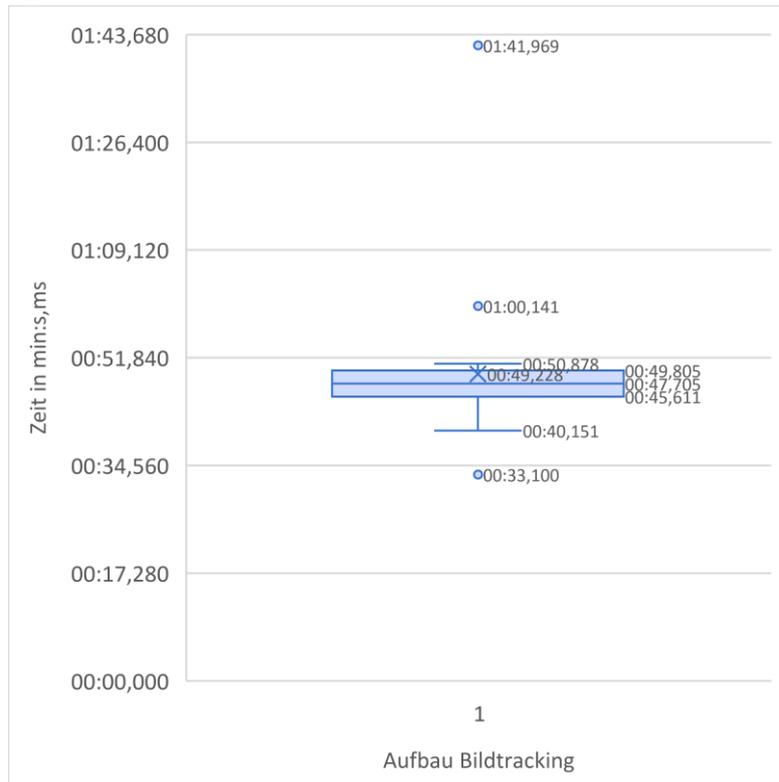


Abbildung 25: Box-Plot der Bildererkennungsmessung

Für eine zweite Messung der Latenz wurde die häufigste Interaktion der Kommissionierung, das Item-Picken, exemplarisch ausgewählt. Diese wurde gewählt, da durch die häufige Ausführung dieses Ablaufs störende Wartezeiten der Anwendung den relevantesten Einfluss auf Kommissionierzeiten und -leistung haben. Durch mögliche Verzögerungen beim Anzeigen der nächsten Item-Position könnten so die Kommissionierzeiten durch die Verlangsamung der Entnahme verschlechtert werden. Die Messung erfolgte mit 150 Pickvorgängen. Zur Referenz wird mit dem menschlichen kognitiven Verarbeitungszyklus von 70 ms verglichen, wie in Kapitel 4.4 beschrieben.

Der Mittelwert der Ergebnisse der Messungen liegt bei 110 ms mit Ausreißern und bei 101 ms ohne Ausreißer. Die Ausreißer werden anhand der doppelten Standardabweichung bestimmt. Somit liegen die Werte oberhalb des kognitiven Verarbeitungszyklus eines Menschen.

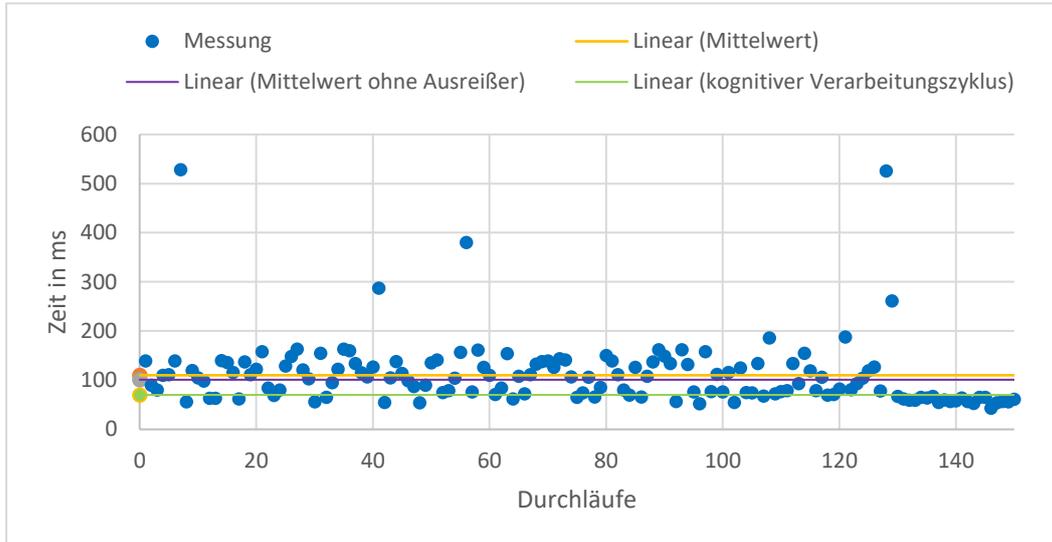


Abbildung 26: Zeitmessungen zur Latenz der Pickaktion in Millisekunden

Im Box-Plot wird durch das untere Quantil, welches bei fast 70 ms liegt, deutlich, dass nur 25 Prozent aller Messdaten im gewünschten Bereich liegen. Negative Auswirkungen durch Konnektivitätsprobleme können zwar nicht ausgeschlossen werden, doch wird nur ein geringer Einfluss angenommen, da in direkter Nähe von 3 Metern zum Router gemessen wurde.

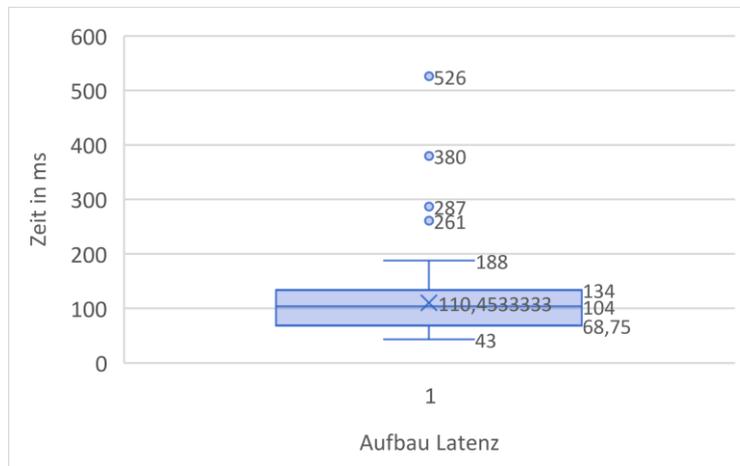


Abbildung 27: Box-Plot zur Messung der Pickaktion in Millisekunden

### 6.1.3 Kosten

Die Zusammensetzung der Kosten, die bei der Anschaffung und Betrieb des umgesetzten Kommissioniersystems mit einem:einer Nutzer:in entstehen, sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben. Durch jede:n weitere:n Nutzer:in werden die Lizenzkosten der Enterprise Variante, sowie den Stromkosten für AR-Brille, um deren Anzahl multipliziert und Zusammen mit den nötigen Anschaffungen einer weiteren AR-Brille addiert. Das heißt jede:r weiter:e Nutzer:in generiert 1.200 Euro Anschaffungskosten und maximal 376 Euro laufende Kosten pro Jahr.

Der Server erfüllt die Bedingungen für den Betrieb bis zu fünf Personen. Der Router wurde nach der Bedingung einer hohen Reichweite ausgesucht. Die Stromkosten für die Nutzung der AR-Brille sind für neun Stunden Nutzungsdauer pro Tag ausgelegt.

Tabelle 9: Kosten der Anschaffung und Betrieb mit einem:einer Nutzer:in

<b>Anschaffungskosten</b>	<b>einmalig</b>
1 Server: HPE ProLiant Microserver Gen10 Plus Entry	Ca. 980 €
1 AR-Brille: Xreal Light mit Recheneinheit	Ca. 1.200 €
1 Router: FRITZ!Box 6690 Cable	Ca. 270 €
Gesamt	Ca. 2.450 €
<b>Laufende Kosten</b>	<b>Pro Jahr</b>
Lizenzkosten Odoo Community/ Odoo Enterprise	0 €/ ca. 360 €
Stromkosten	Ca. 836 €
<i>Server</i>	<i>Ca. 757 €</i>
<i>AR-Brille</i>	<i>Ca. 16 €</i>
<i>Router</i>	<i>Ca. 63 €</i>
Gesamt	Ca. 1.196 €

Kosten für die Entwicklung werden im Rahmen dieser Arbeit außenvorgelassen. Allerdings können die Lizenzkosten für Unity benannt werden. Diese sind von den Einnahmen des entwickelnden Unternehmens abhängig:

- Unity Personal ist kostenlos bis zu Einkünften von unter 100.000 Dollar im Jahr
- Unity Plus kostet 369 Euro im Jahr bis zu Einkünften unter 200.000 Dollar im Jahr
- Unity Pro kostet 1.877 Euro im Jahr ohne Beschränkungen abhängig der Einkünfte

Da aus den Prototypen keine Einkünfte entstehen, konnte die Unity Personal Lizenz benutzt werden.

#### **6.1.4 Möglichkeiten und Genauigkeit der Darstellung und Interaktion**

In der AR-Brille sind Darstellungen im RGB-Farbraum möglich, dadurch können wichtige Informationen mit Farben besonders hervorgehoben werden. Die möglichen Darstellungsformen sind 3D-Modelle im Raum und 2D-Grafiken im 3D-Raum, aber auch umgesetzt als Menü die den Kopfbewegungen folgen. Für die erfolgreiche Bedienung dieser Menüs mit der Handgesteneingabe ohne Zuhilfenahme des beigefügten Eingabegerätes, sollten die Eingabemöglichkeiten des Menüs, wie Buttons, nicht im unteren Bereich des FoV dargestellt werden. Auch sollte vermieden werden die Elemente zu weit links und rechts zu platzieren. In Abbildung 28 ist der Bereich mit guter Eignung grün markiert.

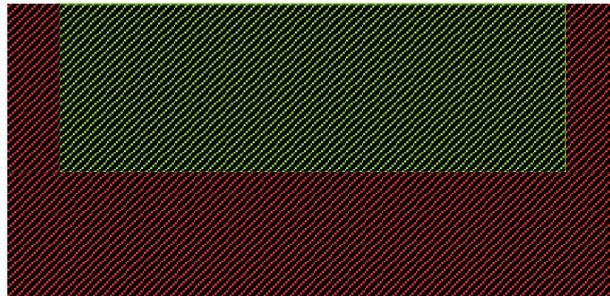


Abbildung 28: Eigene Darstellung des Bereichs guter Elementen-Platzierung (grün) und schlechter (rot)

Durch die Platzierung von Interaktionselementen im roten Bereich kann die Handerkennung nicht erfolgreich funktionieren, weil sich die Hand zu weit unten befinden müsste. Damit das Ende des als Laserstrahl dargestellten Zeigers, der aus der Handerkennung heraus für die Navigation im Menü zuständig ist, erscheint und auf ein Interaktionselement zeigen kann, muss

die Hand sich im FoV befinden. Weitere Interaktionsmöglichkeiten wie Sprachsteuerung wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht.

Bei den Beobachtungen der Genauigkeit zur Darstellung von Visualizern im Raum, wurde festgestellt, dass das Unity System die Abbildung der richtigen Maßeinheit in der realen Welt erfolgreich wiedergibt, da die Maße des Regals und des zugehörigen Visualizers übereinstimmen. Bei richtiger Positionserkennung des Bildes wurden die Visualizer direkt über den Bereich des Regals platziert. Durch geringe Abweichungen bei der Positionserkennung des Bildes vor allem in der Tiefe sind allerdings leichte Verschiebungen von ca. 10 cm aufgetreten. Trotz dieser geringen Abweichung konnten die Entnahmepositionen erfolgreich erkannt werden. Auch bei der Rotation kam es zu Ungenauigkeiten mit ähnlicher Abweichung. Für präzisere Messungen sollte ein ausführlicher Versuch mit unterschiedlichen Regaltypen aufgesetzt werden. Eine weitere Ungenauigkeit wurde im Handtrackingsystem festgestellt. Vor allem bei der Eingabe der Nutzerdaten wurde deutlich, dass die Geste zum Bestätigen oftmals ohne Ausführung der entsprechenden Handbewegung erkannt wurde. Bei den meisten Aktionen der Applikation hatte das jedoch keine negativen Auswirkungen. Bei der Tastatur kann diese Fehleingabe rückgängig gemacht werden. Wo diese Fehlerkennung der Geste als Störend identifiziert wurde, ist beim Betätigen des Pick-Buttons. Wenn die Geste zweimalig hintereinander erkannt wird, kann dies zum Überspringen von Entnahmepositionen führen. Diese Herausforderung wurde jedoch durch einen Button gelöst, der abwechselnd zu einer von zwei Positionen nach jeder Eingabe rotiert.

## **6.2 Interpretation**

### **6.2.1 Vergleich der Kommissioniermethoden**

Beim Vergleich der Pick-by-Vision Methode mit der Kommissionierung in Papierform, die immer noch weit verbreitet in ihrer Anwendung bei KMU ist, wird deutlich, dass die Kosten von AR zwar höher sind, aber dafür einige Vorteile entstehen. Die Kommissionierleistung wird verbessert durch Minimieren der Totzeiten, aufgrund der Handhabung von Papierlisten. Kommissionierqualität wird erhöht durch weniger Typfehlern, die mit besserer Handhabung und vielfältigen Darstellungsformen der Informationen einher geht. Mit einer AR-Umsetzung wird die eingeschränkte Bewegungsfreiheit der Hände aufgehoben und durch paralleles Picken und

Bestätigung der Entnahme können Kommissionierzeiten reduziert werden. Außerdem wird die Information des Lagerbestands über den ganzen Kommissionierprozess stetig aktualisiert, wodurch eine konsistente Datenhaltung garantiert ist und mehr Transparenz über die Bestände ermöglicht wird. Die alternativ vorgestellten Kommissioniermethoden ermöglichen auch die Konsistenz der Datenhaltung, jedoch bringen sie andere negative Eigenschaften mit sich. Bei Pick-by-Display bleibt immer noch eine Einschränkung der Bewegungsfreiheit einer Hand und die Kommissionierzeiten sind durch das Ablesen von kleinen Displays schlechter als bei Pick-by-Vision. Eine von der Kommissionierleistung vergleichbare Alternative würde das Pick-by-Light System bieten. Allerdings ist dessen Anschaffung und Instandhaltung bei größeren Lagern mit hohen Kosten verbunden. Pick-by-Voice wäre im Vergleich zum umgesetzten AR-System kostengünstiger und würde die Einschränkungen der Belegkommissionierung beseitigen, wobei es jedoch auch einige Nachteile aufweist. Die Kommunikation wird gehemmt und Störgeräusche haben einen negativen Einfluss auf den Arbeitsprozess. Ein, wie in der Arbeit umgesetztes, Pick-by-Vision System bietet mehr Flexibilität.

## **6.2.2 Auswertung der Untersuchungskriterien**

### **Technische Umsetzbarkeit**

Als Ergebnisse der Umsetzung konnten Beobachtungen über Einschränkungen und Features gemacht werden, die eine positive Evaluation des Einsatzes von AR zur Kommissionierung zulassen. Durch die erfolgreiche Umsetzung der Nulldurchgeingabe, entsteht die Möglichkeit Fehlbestände direkt beim Kommissionierprozess anzugeben. So können weitere zusätzliche Arbeitsschritte vermieden und Zeit gespart werden. Außerdem kann dadurch der Bestand aktuell gehalten und somit negative Auswirkungen von Kommissionierfehlern verringert werden. Das hat positive Auswirkungen auf die Kommissionierqualität. Eine erfolgreiche Konnektivität zum ERP-System, ohne Verluste von Informationen, garantiert hierbei einen korrekten Bestand in Echtzeit. Die Konnektivität konnte nach einrichten der notwendigen Voraussetzungen für eine Verbindung sichergestellt werden.

Eine Unzuverlässigkeit des Trackings kann beim Kommissionierprozess nicht akzeptiert werden. Durch die falsche Positionserkennung beim Finden des Markers, können Visualizer nicht an der richtigen Stelle angezeigt werden und der Vorteil des schnellen Kommissionierens wird

verringert. Deshalb spricht bereits ein Ausfall für eine Unzuverlässigkeit, die im Kommissionierprozess nicht gewünscht ist. Aus diesem Grund ist eine folgende Untersuchung des Bilderkennungsverhaltens mit alternativen technischen Verfahren unerlässlich für die Praktikabilität einer Umsetzung im Produktionsumfeld. Insbesondere die Überprüfung des Einsatzes der Kamerabilder zur Implementierung eines Marker Trackings, welches nicht auf dem NRSDK beruht, wäre hierbei eine mögliche Alternative zum in der Arbeit umgesetzten Verfahren.

Eine weitere Unzuverlässigkeit entsteht beim inkorrekten Starten der Assistenzsoftware. Es muss beachtet werden die Anwendung in Blickrichtung zum Marker zu starten, da sonst die Rotation der virtuellen Welt falsch berechnet wird. Für das Feststellen einer möglichen Begründung müssten weitere Untersuchungen folgen.

Zusätzlich existiert eine positive Eigenschaft durch Gebrauch der Xreal Hardware, indem sie die Möglichkeit anbietet die Recheneinheit auszutauschen. Da über einen Arbeitstag hinweg der Akkustand der Recheneinheit entladen wird, kann als eine alternative Recheneinheit ein modernes Android Smartphone oder ein weitere Recheneinheit aus dem Development Kit genutzt werden und somit dem Problem des leeren Akkus entgegengewirkt werden. Des Weiteren kann durch die Verwendung von Smartphones als Recheneinheiten beim Kommissionieren ein doppelter Nutzen dieser Geräte als Diensttelefon ermöglicht und zusätzliche Kosten eingespart werden.

### **Latenzen**

Als Ergebnisse der Umsetzung konnten lange Trackingzeiten von Markern beobachtet werden. Das hat zur Folge, dass bei einer Umsetzung das Tracking auf ein Minimum reduziert werden muss. Bei Zeiten von mehr als einer halben Minute für das Tracking, ist es weder aus Sicht des Unternehmens mit Hinblick auf die Kommissionierzeit, noch aus Sicht des Nutzerkomforts des Kommissionierers bzw. der KommissioniererIn, nicht vertretbar diese Funktionalität mit einem häufig vorkommenden Gebrauch in den Kommissionierprozess zu integrieren. Umsetzungen des Bildtrackings bei Markern für einzelne Produkte oder Regale sind somit mit dieser Methode ausgeschlossen. Das spricht gegen einen bedenkenlosen Einsatz einer solchen Umsetzung in KMU. Das Resultat der Untersuchung des Bildtrackings ist die Einschränkung, dass Kommissionierungen nicht häufig unterbrochen werden sollten und die Startposition für

Marker einen großen Bereich abdecken muss, um ohne Schwierigkeiten in den Kommissionierprozess eingebunden werden zu können. Dafür müsste aber die Genauigkeit der Positionierung von Visualizern unter solchen Umständen genauer untersucht werden.

Die zweite Untersuchung der Latenz der Pickaktion weist im Vergleich zum kognitiven menschlichen Verarbeitungszyklus erhöhte Messwerte auf. Unabhängig von der kognitiven Wahrnehmung lagen die Messungen unter einer Sekunde, weshalb die Verzögerungen als gering betrachtet werden kann. Zudem können bei gleichzeitiger Auslösung des Pickbuttons und der Entnahme einer Position durch die parallele Bearbeitung Kommissionierzeiten eingespart werden, was die Aussagekraft zum direkten Vergleich mit der kognitiven Wahrnehmung schwächt. Für weitere Untersuchungen dieser Art ist ein Versuchsaufbau mit Probandinnen und Probanden erforderlich, um die Kommissionierzeiten mit der Nutzung der Applikation zu bewerten.

### **Kosten**

Die Anschaffungskosten fallen mit 1.250 Euro als Basis und 1.200 Euro pro weitere:n Kommissionierer:in zwar gering aus gegenüber anderen Kommissioniermethoden mit vergleichbaren Vorteilen, aber auch diese Kosten sind für einigen KMU eventuell nicht tragbar

### **Möglichkeiten und Genauigkeit der Darstellung und Interaktion**

Weitere Beobachtungen, die zu den Darstellungsmöglichkeiten gemacht wurden, bestehen in unterschiedlichen Arten der Realisierbarkeit einer visuellen Führung vom oder von der Kommissionierer:in und der daraus entstehenden Anpassbarkeit an die Bedürfnisse eines Unternehmens. Sowohl zweidimensionale als auch dreidimensionale Darstellungen von Informationen wurden realisiert. Verschiedene Möglichkeiten der Darstellung konnten bei der Umsetzung durch eine Varianz an Farben und Formen zur intuitiven Vermittlung von Informationen genutzt werden.

Auch konnte bei dem Prototyp die Bewegungsfreiheit der Hände sichergestellt werden. Solange einige Designbeschränkungen der Benutzerschnittstelle beachtet werden, ist die Nutzung der Hände als Eingabemedium anwendbar. Es sollte dabei auf Überladungen interaktiver Objekte geachtet werden und einer Anordnung der Elemente im oberen Bereich des FoV.

Die Genauigkeit bei erfolgreichem Tracken der Startposition wurde beobachtet und die Lesbarkeit einer Entnahmeposition als gut erkennbar bewertet. Deshalb ist bei größeren Versuchen, mit einem Aufbau aus mehreren Schränken und angelehnt an ein Produktionsumfeld, auf ein positives Ergebnis zu hoffen. Feststeht, dass die Umsetzung eines Kommissionierassistenten durch die langen Zeiten des Bildtrackings mit Einschränkungen verbunden ist.

### **6.3 Limitationen**

Bei der Umsetzung wurden Anforderungen an den Kommissionierassistenten erkannt, die für einen erfolgreichen zukünftigen Einsatz Einfluss auf die Handhabung haben könnten und deren Umsetzung noch zu prüfen ist, aber nicht mehr Teil dieser Arbeit ist. Für den produktiven Einsatz in KMU sollte mit dem bereits aufgestellten Setup ein Aufbau mit mehreren Regalen umgesetzt werden. Dazu notwendig wäre eine Möglichkeit der Eingabe eines solchen Regalaufbaus über Angaben von Abständen zur Marker Startposition als Vektor. Dabei könnte eine Routenfindung zu den verschiedenen Regalen und Positionssuche in unterschiedlichen Regalarten umgesetzt werden. So müsste die Umsetzung auch angepasst werden auf einen ungleichen Fächeraufbau, bei speziellen Regaltypen. Bei besonders großen Regaltypen wäre eine Abbildung zur Richtung der Entnahmeposition durch Markierungen am Bildschirmrand eine mögliche Lösung mit der Kommissionierzeit und unnötige Kopfbewegungen eingespart werden könnte. Des Weiteren könnte eine Routenfindung zur Ablagestelle hin erfolgen. Dazu könnte eine Positionsvisualisierung der Ablagestelle entnommener Artikel stattfinden. In diesem Kontext wäre es interessant den Ablauf einer zweistufigen Kommissionierung zu untersuchen.

Weitere Darstellungen zum leichteren Identifizieren von Artikeln könnten durch Bilder im Pickprozess erfolgen. Das könnte zu einer Reduktion von Typfehlern beitragen. Dafür müssten Bilder der Artikel ins ERP-System eingepflegt werden oder ein anderes System zur Zuweisung von Bildern zu Artikeln erdacht werden. Eine weitere Anforderung, die außerdem im ERP-System für den richtigen Einsatz zu realisieren ist, wäre das Starten eines Nachholauftrages für fertige Aufträge, in denen eine Position nicht im Lager vorhanden ist. Außerdem könnte das Anfordern von Aufträgen mit einer Sortierung nach bestimmten Priorisierungen sinnvoll sein.

Eine nützliche Option wäre eine optische Akkuanzeige. Es existiert ein auditives Signal bei schwachem Akku. Das kann jedoch bei konzentriertem Arbeiten und Störgeräuschen untergehen. Zudem müsste eine Option zum Einstellen der Server-URL für den:die Benutzer:in umgesetzt werden, um Verbindungen zu unterschiedlichen ERP-Systemen einrichten zu können. Noch ein Feature, das einen Mehrwert bieten könnte, ist eine Vorauswahl im Vorfeld bereits eingetragener Benutzernamen, um die sich wiederholende, zeitaufwändige Eingabe der Daten zu vermeiden.

Ebenfalls außerhalb des Rahmens dieser Arbeit existiert die Untersuchung, bei welcher der Kommissionierassistent hinsichtlich seine Kommissionierleistung und -qualität überprüft wird. Auch sind weitere Messungen der Umsetzung der Latenzen bei starker Auslastung des ERP-Systems nicht durchgeführt worden, um eine Produktionsumgebung nachzubilden. Außerdem werden keine Untersuchungen in sich verändernden Lichtverhältnissen durchgeführt. Die Messungen sind beschränkt auf Innenräume mit gleichbleibend hellen Lichtverhältnissen.

Als weitere Limitation dieser Arbeit gilt die Untersuchung der Umsetzung des Kommissionierassistenten über nur ein AR-System, die Xreal Light mit dem NRSDK. Es besteht die Möglichkeit, dass eine Umsetzung mit anderer Hardware bessere Ergebnisse aufweisen könnte, dafür höhere Kosten verursacht. Weitere Untersuchungen wären sinnvoll.

## **6.4 Empfehlungen für weitere Forschungen**

Bei der Durchführung haben sich Ansätze für weitere Forschung ergeben, wie die Untersuchung der Kommissionierleistung mit der an KMU gerichteten Umsetzung, durch Messung der Kommissionierzeit im Bezug zur Anzahl Entnahmepositionen. Auch könnte eine Befragung von Probanden hinsichtlich des Verständnisses der entwickelten grafischen Benutzerschnittstelle und möglichen alternativen Darstellungen untersucht werden. Eine Untersuchung von Anlernzeiten mithilfe des Kommissionierassistenten im Vergleich zu bereits bestehenden Forschungen hinsichtlich Pick-by-Vision oder anderen Kommissioniermethoden wäre auch möglich. Ein weiterer Ansatz könnte darin bestehen die Umsetzung mit einer Anbindung zu anderen Hilfssystemen zu überprüfen, wie beispielsweise Barcodescanner zur Bestätigung der Entnahme je Position oder auch Auslesegeräten bzw. NFC-Funktionen von Smartphones zum Extrahieren der Daten auf RFID-Chips, die zum Tracken von Transportmitteln genutzt werden

können. Schließlich wäre eine Umsetzung anderer Assistenzapplikationen in unterschiedlichen Unternehmensbereichen mit dem gleichen Setup der Hardware spannend, weil dadurch der Mehrwert einer Anschaffung der Hardware für ein KMU steigt. Erweiterungen des AR-Systems wären in Bereichen wie Montage als Anleithilfe oder Wegfindungssystemen zu Lagern, Abgabestellen oder ähnlichem möglich.

# 7 Fazit

## 7.1 Zusammenfassung

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines Augmented Reality (AR) Kommissionierassistenten mit Anbindung zu einem ERP-System und minimalem Kostenaufwand als Anspruch für den Einsatz in KMU. Der wissenschaftliche Nutzen ist darin begründet, dass die Umsetzung eines AR-Kommissionierungsassistenten erstmalig mit dem Hintergrund des KMU-Einsatzgebietes untersucht wurde. Die wichtigsten Abläufe, die beim Kommissionieren identifiziert werden konnten und deshalb im Assistenzsystem umgesetzt wurden, sind die Entnahme der Artikel, da dies eine der häufigsten Aktionen eines Kommissionierers bzw. einer Kommissioniererin ist und damit am stärksten die Kommissionierleistung beeinflusst, sowie die Angabe von Fehlmengen, wegen seiner Einwirkung auf die Kommissionierqualität. Diese Abläufe und die Randbedingungen, die zum Beantworten der Frage F1 für die Umsetzung einer AR-Anwendung als Kommissionierassistent für den KMU-Kontext ermittelt wurden, sind in den Abschnitten 5.1 und 5.2 zu finden. Die AR-Hardware wurde nach ihren Funktionen und Kosten hinsichtlich des Einsatzes in KMU gewählt.

Für die Entwicklung wurden Anforderungen aus Sicht des Kommissionierers bzw. der Kommissioniererin anhand eines Einsatzszenarios an den Kommissionierassistenten formuliert.

- Anmelden und Abmelden.
- Abfragen der Anzahl offener Pickaufträge.
- Reservieren und Anfordern eines offenen Pickauftrags.
- Erkennen der nächsten Entnahmeposition durch Markierung.
- Sehen der wichtigsten Informationen der nächsten Artikelposition.
- Bestätigen/Quittieren des Picken einer Artikelposition.
- Einsehen einer kompletten Liste der Artikel des Auftrages zum Kontrollieren.
- Eingabe eines ungeplanten Nulldurchgangs beim Picken.
- Bestätigen eines fertigen Auftrags.

Die Anforderungen konnten mit dem gewählten AR- und ERP-System umgesetzt werden. Die prototypische Umsetzung wurde auf ihr Funktionalität über vier Kriterien untersucht mit denen F0 beantwortet wird:

Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungskriterien

Kriterien	Ergebnisse
<i>Technische Umsetzung</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionsumfang von AR- und ERP-System hat eine Umsetzung ermöglicht</li> <li>- Marker-Tracking wegen Ausfällen unzuverlässig</li> <li>- Anbindung des ERP-Systems als WMS ist möglich (Funktionalität wird in Unterabschnitt 5.4.2 beschrieben und beantwortet F4)</li> </ul>
<i>Latenzen</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erkennung der Marker hat hohe Latenzen von über einer halben Minute</li> <li>- Pickvorgang weist höhere Latenzen als die Dauer des menschlichen kognitiven Verarbeitungszyklus auf</li> </ul>
<i>Kosten</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anschaffungskosten für eine Person: 2.450 €</li> <li>- Laufende Kosten einer Person pro Jahr: Ca. 1.196 €</li> </ul>
<i>Möglichkeiten und Genauigkeit der Darstellung und Interaktion (F3)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zweidimensionale und dreidimensionale Darstellung</li> <li>- Farbige Darstellung zur intuitiven Vermittlung von Informationen möglich</li> <li>- Interaktion über Handerkennung durchführbar, ermöglicht freihändiges Arbeiten</li> <li>- Fehleingaben bei Interaktion vorhanden, konnten aber durch den Aufbau der Benutzerschnittstelle auf ein Minimum reduziert werden</li> <li>- Interaktion über Sprachsteuerung wurde nicht untersucht</li> </ul>

Das entwickelte System für den Einsatz bei KMU konnte realisiert werden, aber es weist einige Einschränkungen aufgrund der verwendeten Hardwarekombination auf und bietet damit nicht alle Voraussetzungen für den Einsatz. Langsames Tracking von Markern und erhöhte Latenzen bei der Kommunikation mit dem ERP-System gehören zu diesen Restriktionen. Die Umsetzung in dieser Form kann mit der bereits vorimplementierten Funktionalität des AR-Systems

zum Finden von Markern nicht als einsatztauglich betrachtet werden, um die Frage F5 zu beantworten. Insbesondere die Unzuverlässigkeit beim Finden der Position abgeleitet aus dem Marker, spricht gegen einen realen Einsatz. An dieser Stelle müsste eine andere Herangehensweise bei der Entwicklung betrachtet werden, um die Qualität der Umsetzung zu verbessern. Für eine vollständige Bewertung der entwickelten Anwendung hinsichtlich des Nutzens, müsste weiterhin eine Messung der Kommissionierleistung erfolgen. Ob sich eine Anschaffung eines AR-Systems lohnt, könnte mit weiteren Untersuchungen für Umsetzungen mit anderen Anwendungsgebieten im KMU-Kontext erfolgen, da sich aus Sicht eines kleineren Unternehmens die Kosten möglicherweise noch nicht rentieren, wenn sich für die Hardware keine weiteren erfolgreichen Einsatzgebiete im Unternehmen finden lassen. Um F2 zu beantworten: Ein Assistenzsystem ist mit geringen Kosten realisierbar wie in der Arbeit beschrieben, weist jedoch Mängel auf, die für den Einsatz im Produktionsumfeld behoben werden müssen.

## **7.2 Ausblick**

In Zukunft wäre eine Untersuchung des Kommissionierassistenten hinsichtlich seiner Kommissionierleistung und -qualität vorstellbar. Es wäre angebracht herauszufinden, ob andere Hardwarekombinationen möglicherweise bessere Latenzen aufweisen können. Auf Grundlage des entwickelten Systems könnte für den Kommissionierprozess ein Zusammenwirken mit anderen Hilfssystemen untersucht werden. Zudem sollte die gewählte Hardware zum Erhöhen des Mehrwertes für ein KMU auch Anwendungsmöglichkeiten in weiteren Einsatzbereichen des Unternehmens geprüft werden.

# Literaturverzeichnis

- Albayrak, C.A. and Gadatsch, A. 2017. Digitalisierung für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU): Anforderungen an das IT-Management *In: M. Knoll and S. Strahinger, eds. IT-GRC-Management – Governance, Risk und Compliance* [Online]. Wiesbaden: Springer Vieweg, pp.151–166. Available from: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-20059-6\\_10](http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-20059-6_10).
- Azuma, R.T. 1997. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 6(4), pp.355–385.
- Bächler, A.M. 2017. *Entwicklung und Evaluierung eines nutzerzentrierten Assistenzsystems zur Unterstützung von leistungsgeminderten Mitarbeitern bei manuellen Kommissionier-tätigkeiten*. [Online] Dissertation, Ilmenau: Technischen Universität Ilmenau. [Accessed 25 June 2023]. Available from: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2017000327>.
- Baumann, H. 2012. *Order Picking Supported by Mobile Computing*. Dissertation, Bremen: Universität Bremen.
- Bokranz, R. and Landau, K. 2006. Gestaltungsgrundlagen der Ergonomie *In: Deutsche MTM-Vereinigung e.V., ed. Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, pp.211–262.
- Borries, R. von and Fürwentsches, W. 1975. *Kommissioniersysteme im Leistungsvergleich*. München: verlag moderne industrie.
- Bosse, C.K. and Zink, K.J. 2019. *Arbeit 4.0 im Mittelstand* [Online] 1st ed. (C. K. Bosse & K. J. Zink, eds.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [Accessed 10 August 2023]. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-59474-2>.

- Bostanci, E., Kanwal, N., Ehsan, S. and Clark, A.F. 2013. User Tracking Methods for Augmented Reality. *International Journal of Computer Theory and Engineering*. **5**(1), pp.93–98.
- Brehm, N., Heyer, N., Marx Gómez, J. and Richter, B. 2008. Das ERP-KMU-Dilemma und Anforderungen an Service-orientierte Architekturen zur Nutzung von Verbesserungspotentialen. In: *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik* [Online]. München. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/221508556>.
- Destatis 2022a. Anteile Kleine und Mittlere Unternehmen 2020 nach Größenklassen in %. *destatis*. [Online]. [Accessed 20 April 2023]. Available from: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Kleine-Unternehmen-Mittlere-Unternehmen/Tabellen/wirtschaftsabschnitte-insgesamt.html?nn=208440>.
- Destatis 2022b. Rechtliche Einheiten, Beschäftigte und Umsatz nach Wirtschaftsabschnitten. *destatis*. [Online]. [Accessed 15 April 2023]. Available from: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Unternehmensregister/Tabellen/unternehmen-beschaefigte-umsatz-wz08.html>.
- Ellis, S.R., Breant, F., Menges, B., Jacoby, R. and Adelstein, B.D. 1997. Factors Influencing Operator Interaction with Virtual Objects Viewed via Head-Mounted See-through Displays: Viewing Conditions and Rendering Latency In: *Proceedings of IEEE 1997 Annual International Symposium on Virtual Reality*. Los Alamitos (CA, USA): IEEE, pp.138–145.
- Europäische Kommission 2020. *Benutzerleitfaden zur Definition von KMU* [Online]. Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der EU. [Accessed 29 March 2023]. Available from: <https://data.europa.eu/doi/10.2873/935949>.
- Femerling, C. 2003. B to B- und B to C-Logistik als Erfolgsfaktor der New Economy In: H. Merkel and B. Bjelicic, eds. *Logistik und Verkehrswirtschaft im Wandel*. München: Verlag Vahlen, pp.205–221.
- Fraunhofer IEM 2017. Augmented Reality im industriellen Einsatz. *iem.fraunhofer*. [Online]. [Accessed 20 May 2023]. Available from: <https://www.iem.fraunhofer.de/de/ueber>

- uns/forschung/leistungsangebot/produktentstehung/AugmentedRealityimindustriellen-Einsatz.html.
- Fueglistaller, U., Fust, A., Schaffner, R. and Ammann, M. 2016. *KMU und die Einführung von ERP-Systemen Ein Leitfaden für die unternehmerische Praxis mit IT-unterstützter Ressourcenplanung und-steuerung* [Online]. St. Gallen. [Accessed 27 June 2023]. Available from: <https://www.alexandria.unisg.ch/publications/249717>.
- Gleißner, H. and Femerling, J.C. 2008. *Logistik* [Online] 1st ed. Wiesbaden: Gabler. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-8349-9547-6>.
- Gronau, N. 2021. *ERP-Systeme: Architektur, Management und Funktionen des Enterprise Resource Planning* 6th ed. Berlin: Boston: De Gruyter Oldenbourg.
- Gudehus, T. 2010. *Logistik* [Online] 4th ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-89389-9>.
- Günthner, W.A., Blomeyer, N., Reif, R. and Schedlbauer, M. 2009. *Pick-by-Vision: Augmented Reality unterstützte Kommissionierung* [Online]. Garching. [Accessed 23 April 2023]. Available from: <https://mediatum.ub.tum.de/node?id=1188222>.
- Guo, A., Raghu, S., Xie, X., Ismail, S., Luo, X., Simoneau, J., Gilliland, S., Baumann, H., Southern, C. and Starner, T. 2014. A comparison of order picking assisted by head-up display (HUD), cart-mounted display (CMD), light, and paper pick list *In: Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers* [Online]. New York, NY, USA: ACM, pp.71–78. Available from: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2634317.2634321>.
- Hompel, M. ten, Sadowsky, V. and Beck, M. 2011. *Kommissionierung: Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik* 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- IFE GmbH 2019. Server Systemvoraussetzungen für das Odoo Hosting. *ife*. [Online]. [Accessed 24 August 2023]. Available from: <https://www.ife.de/systemvoraussetzungen>.

- IfM Bonn 2023. Mittelstand im Einzelnen. *ifm-bonn.org*. [Online]. [Accessed 17 May 2023]. Available from: <https://www.ifm-bonn.org/statistiken/mittelstand-im-einzelnen/forschung-und-entwicklung-fue>.
- Jeffery, A. 2022. Augmented Reality in der Industrie 4.0. *knowhow.distrelec*. [Online]. [Accessed 16 May 2023]. Available from: <https://knowhow.distrelec.com/de/it-und-digitale-technologien/augmented-reality-in-der-industrie-4-0/>.
- Jumahat, S., Sidhu, M.S. and Shah, S.M. 2022. Pick-by-vision of Augmented Reality in Warehouse Picking Process Optimization – A Review *In: 2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (ICAIET)* [Online]. IEEE, pp.1–6. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9936785/>.
- Kretschmer, V., Klöcker, S., Wolfgarten, B. and Berner, R. 2020. Datenbrillen erobern die Logistik: Überprüfung von Augmented Reality-gestützter Kommissionierung in der Praxis *In: 66. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?* [Online]. Dortmund: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., pp.1–6. [Accessed 23 April 2023]. Available from: <https://gfa2020.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de/inhalt/B.3.3.pdf>.
- Kugler, S. and Anrich, F. 2018. *Digitale Transformation im Mittelstand mit System* [Online] 1st ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-22914-6>.
- Leyh, C. 2015. Implementierung von ERP-Systemen in KMU – Ein Vorgehensmodell auf Basis von kritischen Erfolgsfaktoren. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*. **52**(3), pp.418–432.
- Lichtblau, K., Schleiermacher, T., Goecke, H. and Schützdeller, P. 2018. *Digitalisierung der KMU in Deutschland -Konzeption und empirische Befunde* [Online]. Köln. [Accessed 25 June 2023]. Available from: [https://www.iwconsult.de/fileadmin/user\\_upload/projekte/2018/Digital\\_Atlas/Digitalisierung\\_von\\_KMU.pdf](https://www.iwconsult.de/fileadmin/user_upload/projekte/2018/Digital_Atlas/Digitalisierung_von_KMU.pdf).
- Lolling, A. 2003. *Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten*. Dissertation, Aachen: Universität Dortmund.

- Martin, H. 2016. *Transport- und Lagerlogistik* [Online] 10th ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-14552-1>.
- Milgram, P. and Kishino, F. 1994. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information Systems*. **E77-D**(12), pp.1321–1329.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. and Kishino, F. 1994. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum *In*: H. Das, ed. *Telem manipulator and Telepresence Technologies*. Bellingham, WA: SPIE, pp.282–292.
- Nave, M. 2009. Einführung und Grundlagen *In*: M. Pulverich and J. Schietinger, eds. *Handbuch Kommissionierung: Effizient picken und packen*. München: Heinrich Vogel, pp.16–29.
- NRSDK 2022. NRSDK Overview. *xreal.gitbook*. [Online]. [Accessed 28 June 2023]. Available from: <https://xreal.gitbook.io/nrsdk/nrsdk-fundamentals/core-features>.
- Oehme, O. 2004. *Ergonomische Untersuchung von kopfbasierten Displays für Anwendungen der erweiterten Realität in Produktion und Service*. Dissertation, Aachen: RWTH Aachen.
- Patron, C. 2004. *Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung*. Dissertation, München: TU München.
- Pfohl, H.-C. 2021. Abgrenzung der Klein- und Mittelbetriebe von Großbetrieben *In*: Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe, ed. *Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe: Größenspezifische Probleme und Möglichkeiten zu ihrer Lösung* [Online]. Berlin: Erich Schmidt Verlag, pp.13–35. [Accessed 16 April 2023]. Available from: <https://www.esv.info/978-3-503-19447-6>.
- Pietschmann, D. 2015. *Spatial Mapping in virtuellen Umgebungen* 1st ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Piltz, P. and Wohlgemuth, V. 2015. Konzeption und Entwicklung eines Genehmigungsmanagements für KMU unterstützt durch die Augmented Reality *In*: D. W. Cunningham, P.

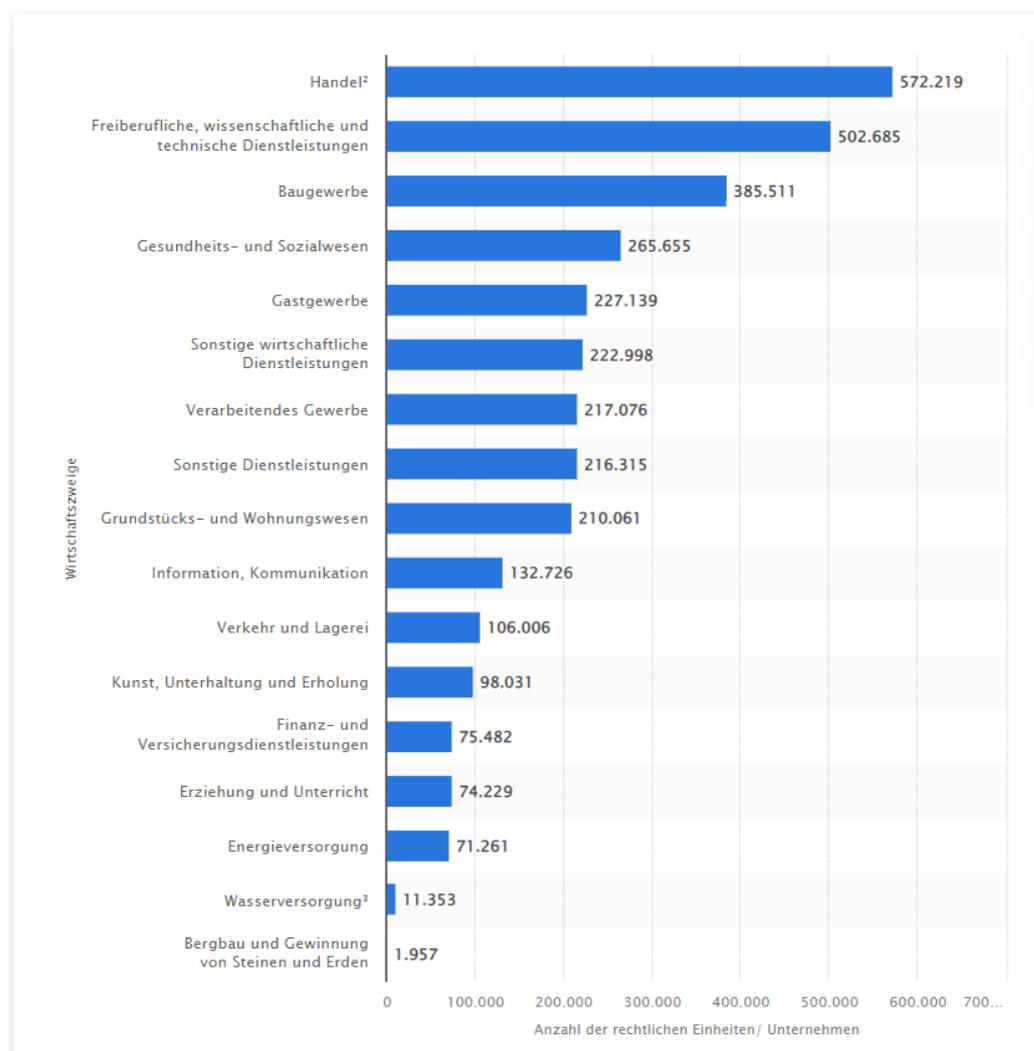
- Hofstedt, K. Meer and I. Schmitt, eds. *INFORMATIK 2015* [Online]. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., pp.365–374. [Accessed 23 April 2023]. Available from: <https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/2201/365.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Porter, M.E. and Heppelmann, J.E. 2018. Schwerpunkt Augmented Reality: Eine Brücke zwischen digitaler und physischer Welt. *Harvard Business manager.*, pp.1–21.
- Potthof, I. 1998. *Kosten und Nutzen der Informationsverarbeitung* 1st ed. Wiesbaden: Gabler, Deutscher Universitätsverlag.
- Reif, R. 2009. *Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten Kommissioniersystems*. [Online] Dissertation, München: TU München. [Accessed 20 May 2023]. Available from: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/683943/683943.pdf>.
- Rolland, J.P., Baillot, Y. and Goon, A.A. 2001. A Survey of Tracking Technologies for Virtual Environments W. Barfield & T. Caudell, eds. *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*.
- Rudnicka, J. 2023. Unternehmen nach Wirtschaftszweigen 2021. *de.statista*. [Online]. [Accessed 30 April 2023]. Available from: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1931/umfrage/unternehmen-nach-wirtschaftszweigen/>.
- Scholz-Reiter, B., Toonen, C. and Windt, K. 2008. Logistikdienstleistungen In: D. Arnold, H. Isermann, A. Kuhn, H. Tempelmeier and K. Furmans, eds. *Handbuch Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp.581–607.
- Speicher, M., Hall, B.D. and Nebeling, M. 2019. What is mixed reality? In: *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Proceedings*. Glasgow: Association for Computing Machinery.
- VDI-Richtlinie 3590 n.d. Blatt1:1994-04: Kommissioniersysteme Grundlagen Blatt 1/3.
- Werning, S., Konusch, D. and Ickerott, I. 2020. Pick-by-Vision: Potenziale in der Unterstützung der Kommissionierung durch Smart Glasses In: O. Thomas and I. Ickerott, eds.

*Smart Glasses* [Online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp.168–189.  
Available from: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-62153-0\\_10](http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-62153-0_10).

# A Anhang

## A.1 Unternehmen in Deutschland

Anzahl der rechtlichen Einheiten<sup>1</sup> in Deutschland nach Wirtschaftszweigen im Jahr 2021.



Quelle: (Destatis 2022b, zitiert nach Rudnicka, 2023)

<sup>1</sup> Rechtliche Einheiten werden dem Schwerpunkt ihrer wirtschaftlichen Tätigkeit zugeordnet, haben ihren Sitz in Deutschland und leisteten eine Umsatzsteuervoranmeldungen und/oder Beschäftigten im Jahr 2021.

## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

---

Ort

Datum

Unterschrift im Original