

## Pick-by-Vision:

# Augmented Reality unterstützte Kommissionierung

Günthner, W. A. – Blomeyer, N. – Reif, R. – Schedlbauer, M.

*Dieses Vorhaben (Projekt-Nr. 14756 N/1) ist aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert und im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik e.V., Bremen, durchgeführt worden.*

Herausgegeben von:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner

**fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © **fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Printed in Germany 2009

ISBN: 978-3-941702-02-8

**fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Boltzmannstraße 15

85748 Garching

Telefon.: 089 / 289 -1 59 21

Telefax: 089 / 289 – 1 59 22

<http://www.fml.mw.tum.de>

## **Zusammenfassung**

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines praxistauglichen Konzepts zur Leistungs- und Qualitätssteigerung in der manuellen Kommissionierung durch den Einsatz der Augmented Reality Technologie (Pick-by-Vision). Dem Kommissionierer werden mittels einer Datenbrille alle für die Ausführung seiner Tätigkeit notwendigen Daten direkt in sein Blickfeld eingeblendet. Ihm können dabei nicht nur statische Daten wie Textinformationen, sondern durch den Einsatz eines Tracking-systems zur Bestimmung der Position und Blickrichtung auch dynamische, im Raum positionierte Daten visualisiert werden. Diese räumlichen 3D-Geometrien weisen den Weg durch das Lager oder heben den Entnahme- oder Ablageort visuell hervor.

In diesem Projekt wurden zunächst Einsatzszenarien und Anforderungen bezüglich des Anwendungsfalls „Kommissionierung“ erarbeitet. Pick-by-Vision eignet sich für eine große Spannweite an Kommissioniersystemen mit einem hohen Anteil an manuellen Aufgaben. Es kann in einem konventionellen Mann-zur-Ware-System ebenso eingesetzt werden wie bei der Kommissionierung entlang einer Regalzeile oder an einem stationären Kommissionierarbeitsplatz.

Der Mensch ist der wichtigste Faktor für die Einführung und Akzeptanz von Pick-by-Vision, so dass er bei der Entwicklung der beiden Funktionsmuster im Mittelpunkt stand. Ein Funktionsmuster verfügt über ein Trackingsystem, während das andere nur Textinformationen anzeigt. Dabei ist nicht nur die Informationsbereitstellung, sondern auch die Eingabe von Informationen durch einen Dreh-/Drückknopf oder Sprache genauer betrachtet worden, um eine komplette Benutzerschnittstelle zu schaffen, die den Ansprüchen des Menschen und der Kommissionierung genügt.

In mehreren Evaluierungen zeigte sich das Potenzial, das Pick-by-Vision v. a. hinsichtlich der Vermeidung von Kommissionierfehlern und der durch die gezielte Führung durch den Kommissionierprozess bedingten steilen Lernkurve hat. Die Bereitstellung der Informationen im Blickfeld und die direkte Hervorhebung des Lagerfachs sind die Hauptgründe dafür. Bei den Versuchsreihen und vielen weiteren Befragungen wurde das System überwiegend positiv bewertet und Pick-by-Vision ein großes Zukunftspotenzial eingeräumt.

**Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Wissenschaftlich-technische Problemstellung	1
1.2	Forschungsziel und Lösungsweg	3
1.2.1	Forschungsziel	3
1.2.2	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	4
<b>2</b>	<b>Grundlagen für die Entwicklung von Pick-by-Vision</b>	<b>7</b>
2.1	Stand der Forschung	7
2.1.1	Augmented Reality	7
2.1.2	Kommissionierung	11
2.2	Logistische Kennzahlen	16
2.2.1	Kommissionierzeit	16
2.2.2	Kommissionierleistung	19
2.2.3	Kommissionierfehler	20
2.3	Grundlagen der Evaluierung	22
2.3.1	Begrifflichkeiten zur Evaluierung	22
2.3.2	Subjektive Beanspruchungskriterien	27
2.3.3	Ermittlung der subjektiven Beanspruchungskriterien	28
<b>3</b>	<b>Einsatzszenarien für Pick-by-Vision</b>	<b>29</b>
3.1	Einflussfaktoren auf die Einsatzszenarien	29
3.1.1	Auswahl geeigneter Kommissioniersysteme	29
3.1.2	Lagerstruktur, Sortiment, Auftragsstruktur	34
3.1.3	Einbeziehung der Kommissionierstrategien	38
3.2	Spezifizierung der Einsatzszenarien	40
3.3	Auswahl der Einsatzszenarien	44
3.3.1	Bewertungskriterien	44
3.3.2	Ergebnisse der Auswahl der Einsatzszenarien	46
3.4	Anforderungsanalyse	48
3.5	AR-unterstützter Kommissionierprozess	49
3.5.1	Allgemeiner Kommissionierprozess	49
3.5.2	Informationen und Interaktionen im Kommissionierprozess	51
3.5.3	Kommunikationskonzept für Pick-by-Vision	52

3.5.4	Kommunikationskonzept für die ausgewählten Szenarien	53
3.6	Recherche geeigneter Hardwarekomponenten	55
3.6.1	Datenbrille	55
3.6.2	Tragbarer Computer	64
3.6.3	Interaktionsgeräte	66
<b>4</b>	<b>Erstellung der Benutzerschnittstelle</b>	<b>73</b>
4.1	Wegfindung	73
4.1.1	Einflussfaktoren auf die Wegfindung	73
4.1.2	Graphische Unterstützung der Wegfindung	75
4.1.3	Potenziale und Grenzen der AR-unterstützten Wegfindung	82
4.1.4	Wegfindung in den ausgewählten Szenarien	83
4.2	Daten in der Kommissionierung	84
4.3	Interaktionskonzept	86
4.3.1	GUI-Design für Datenbrillen	86
4.3.2	Dateneingabe	90
4.3.3	Interaktionskonzept für Pick-by-Vision	93
4.3.4	Evaluierung und Bewertung der Benutzerschnittstelle	102
<b>5</b>	<b>Entwicklung eines Systems ohne Tracking (FM1)</b>	<b>104</b>
5.1	Vorgehen beim Aufbau des Funktionsmusters 1	104
5.2	Umsetzung und Aufbau des Funktionsmusters 1	105
5.2.1	Lagereinrichtung und -inhalt	105
5.2.2	Abbildung der Lagerumgebung im WMS	106
5.2.3	Softwareaufbau des Funktionsmusters 1	107
5.3	Erste Evaluierung des Funktionsmusters 1	110
5.4	Weiterentwicklung des Funktionsmusters 1	112
<b>6</b>	<b>Evaluierung Funktionsmuster 1</b>	<b>116</b>
6.1	Labortest	116
6.1.1	Versuchsaufbau Labortest	116
6.1.2	Nullhypothesen Labortest	119
6.1.3	Versuchsdurchführung Labortest	120
6.1.4	Ergebnisse des Labortests	122
6.1.5	Kernaussagen zum Labortest	135
6.2	MTM-Analyse	136
6.3	Praxisnahe Versuchsreihe	139

6.3.1	Versuchsaufbau in der praxisnahen Umgebung	139
6.3.2	Nullhypothesen bei der praxisnahen Versuchsreihe	143
6.3.3	Durchführung der praxisnahen Versuchsreihe	144
6.3.4	Ergebnisse der praxisnahen Versuchsreihe	145
6.3.5	Kernaussagen zur praxisnahen Versuchsreihe	157
6.4	Untersuchung unter praxisnahen Bedingungen	158
6.4.1	Probleme beim Einsatz von Pick-by-Vision	159
6.4.2	Anmerkungen der Kommissionierer	159
6.5	Zusammenfassung Versuchsreihen zum FM1	160
<b>7</b>	<b>Entwicklung eines Systems mit Tracking (FM2)</b>	<b>162</b>
7.1	Trackingsystem	162
7.1.1	Anforderungen an ein Trackingsystem	162
7.1.2	Trackingverfahren	163
7.1.3	Tracking für die ausgewählten Szenarien	174
7.2	Visualisierungen	177
7.2.1	Voruntersuchung mit einem biokularen HMD	178
7.2.2	Voruntersuchung hinsichtlich der Visualisierung mit einem VRD	179
7.2.3	Aufbau Funktionsmuster 2	182
<b>8</b>	<b>Evaluierung Funktionsmuster 2</b>	<b>190</b>
8.1	Usability Testing	190
8.2	Labortest Funktionsmuster 2	191
8.2.1	Versuchsaufbau Labortest Funktionsmuster 2	191
8.2.2	Nullhypothesen Labortest Funktionsmuster 2	194
8.2.3	Versuchsdurchführung Labortest Funktionsmuster 2	196
8.2.4	Ergebnisse des Labortests zum Funktionsmuster 2	197
8.2.5	Kernaussagen zum Labortest mit dem Funktionsmuster 2	210
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit</b>	<b>212</b>
	<b>Veröffentlichungen</b>	<b>i</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>vi</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xvi</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xviii</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xxii</b>
	<b>Formelverzeichnis</b>	<b>xxv</b>
	<b>Anhang A</b>	<b>xxvi</b>

**Anhang B**

**xxxii**

**Anhang C**

**xxxiii**

# 1 Einleitung

Pick-by-Vision bezeichnet die mobile, situationsabhängige Informationsbereitstellung in visueller Form zur Leistungs- und Qualitätssteigerung in der Kommissionierung unter Verwendung der Augmented Reality (AR) Technologie. Als Visualisierungsmedium wird eine Datenbrille, ein sogenanntes Head-mounted Display (HMD), verwendet. Eine mögliche AR-Visualisierung über Staplerterminals wurde nicht betrachtet. Die Datenbrille soll den Menschen als wesentlicher Bestandteil des Kommissioniersystems durch eine optimale Bereitstellung der benötigten Information bei seiner Tätigkeit unterstützen. Bei der technischen Umsetzung eines Pick-by-Vision-Systems stand der Mensch stets im Mittelpunkt, um eine hohe Benutzerakzeptanz zu erreichen. Es werden Einsatzszenarien und Anforderungen an ein AR-unterstütztes Kommissioniersystem erarbeitet und daraus ein Interaktionskonzept mit einer Benutzerschnittstelle abgeleitet. Dieses Konzept wurde in zwei Funktionsmustern umgesetzt und in verschiedenen Untersuchungen evaluiert. Das erste Funktionsmuster stellt nur statische Daten (Text) dar, während das zweite dynamische Daten, die sich in Bezug zur Position und Blickrichtung des Benutzers ändern, anzeigt.

## 1.1 Wissenschaftlich-technische Problemstellung

Die Kommissionierung ist das Kernelement der innerbetrieblichen Logistik, da sie neben qualitativen Aspekten auch monetäre und zeitliche Größen des gesamten Logistikprozesses wesentlich mitbestimmt. Dabei ist die menschliche Flexibilität auf diesem Anwendungsfeld trotz einer Vielzahl von Automatisierungskonzepten derzeit kaum zu ersetzen. Ungeachtet steigender Anforderungen wie variabler Artikelspektren, kleiner werdenden Auftragsgrößen und erhöhter Flexibilität können Rationalisierungspotenziale erschlossen werden, wenn der Kommissionierer in optimaler Weise, d. h. sowohl unter Berücksichtigung ergonomischer wie auch informatorischer Gesichtspunkte, in seiner Kernaufgabe unterstützt und von zeitraubenden und ablenkenden Nebentätigkeiten entlastet wird.

Große Verbesserungspotenziale bei der manuellen Kommissionierung ergeben sich besonders bezüglich der anfallenden Basis- und Totzeiten, die v. a. Vorgänge der

Informationsaufnahme und -verarbeitung sowie Such- und Kontrollvorgänge umfassen. Da 70 bis 80 % der menschlichen Informationsaufnahme mit Hilfe der Augen erfolgen, ist es zur Erschließung von Leistungs- und Qualitätssteigerungen gegenüber existierenden Verfahren zielführend, Technologien einzusetzen, die die visuelle Informationsbereitstellung optimieren und dabei gleichzeitig intuitives und unbehindertes Arbeiten ermöglichen. Dabei sollen dem Kommissionierer nur die Informationen angezeigt werden, die er im aktuellen Prozessschritt benötigt. Zum Beispiel könnte eine effektive Reduktion von Greiffehlern, die die Mehrzahl aller Kommissionierfehler darstellen, erreicht werden, wenn das entsprechende Lagerfach durch eine optische Markierung deutlich hervorgehoben wird. Die AR-Technologie bietet für die Vermeidung von Kommissionierfehlern ebenso beste Voraussetzungen wie für die Verringerung der Kommissionierzeit durch eine Reduzierung von Totzeiten und wird daher auf ihre Eignung bezüglich des Einsatzes in der Kommissionierung untersucht. Die Informationsbereitstellung beeinflusst wesentlich die Kommissionierzeit. Geübte Personen sind gegenüber und ungeübten Personen hinsichtlich der Kommissionierzeit schneller (siehe Beispiel in [Vog-97]). Deswegen ist es nötig den Informationsfluss zu verbessern, damit sich jeder Mitarbeiter schnell im Lager zurechtfindet. Auch bei Kommissionierfehlern liegt die Ursache im schlechten Informationsfluss, denn viele Fehler ließen sich mit einer besseren visuellen Darstellung vermeiden. Dabei spielen die unterschiedlichen Informationsvorgänge in der Kommissionierung eine Rolle. Nach dem Lesen des nächsten Entnahmeortes muss dieser gesucht und identifiziert werden [Gud-05]. Noch nicht inbegriffen sind Wartezeiten auf Information, d. h. bis die benötigte Information dem Kommissionierer zur Verfügung steht. Wie viel Zeit für die Informationsaufnahme verbraucht wird, lässt sich schwer messen. Beim positionsweisen Lesen der Entnahmeinformation werden 10 bis 20 % der Entnahmezeit, d. h. zwei bis vier Sekunden pro Position, für die Informationsaufnahme benötigt [Vog-97]. Dies zeigt das große Rationalisierungspotenzial der Informationsbereitstellung in der Kommissionierung.

## 1.2 Forschungsziel und Lösungsweg

### 1.2.1 Forschungsziel

Ziel dieses Forschungsprojekts war die Erarbeitung und Umsetzung eines praxistauglichen Konzepts zur Leistungs- und Qualitätssteigerung in der manuellen Kommissionierung durch die mobile, visuelle Informationsbereitstellung mit Hilfe innovativer Technologien aus den Bereichen der AR und des Mobile Computing. In einer durch den Kommissionierer zu tragenden Datenbrille werden hierbei in Abhängigkeit von Ort, Zeit, betrachtetem Sichtfeld und Stand der Auftragsbearbeitung alle relevanten Daten zur fehlerfreien Durchführung der Kommissionieraufgabe in optischer Form dargeboten.

Das auf visueller Informationsbereitstellung basierende Kommissioniersystem soll

- intuitives und freihändiges Arbeiten des Kommissionierers ermöglichen,
- bezüglich ergonomischer und arbeitswissenschaftlicher Aspekte optimal an den Benutzer angepasst werden bzw. anpassbar sein,
- arbeitsphysiologische Anforderungen bezüglich der visuellen Informationsaufnahme erfüllen, um eine beschwerdefreie Anwendung zu garantieren,
- sequenzfreie Kommissionierung gestatten,
- bei der Findung des Weges zum Entnahme- bzw. Abgabeort unterstützen,
- einen auf verschiedene Einsatzfälle anpassbaren Funktionsumfang besitzen,
- den Bereichswechsel zwischen Langsam- und Schnellläuferzonen zulassen,
- mit anderen (automatisierten) Kommissioniersystemen kombinierbar sein,
- über eine einfache Kommunikationsschnittstelle, z. B. ein Spracherkennungssystem, zur Dateneingabe durch den Kommissionierer verfügen,
- Online-Datenaustausch mit Warehouse Management Systemen (WMS) ermöglichen,
- in seiner Anwendung leicht und schnell erlernbar sein,
- sowie den Anforderungen im industriellen Umfeld genügen.

Dazu wurde ein speziell an die Anforderungen eines Pick-by-Vison-Systems angepasster Kommissionierprozess entwickelt. Dieser ist völlig unabhängig vom Lageraufbau oder der Lagerorganisation, um das Einsatzgebiet eines derartig flexiblen

Systems nicht einzuschränken. Pick-by-Vision kann durchgängig in verschiedenen Lagerzonen eingesetzt werden. Somit kann der Kommissionierer bedarfsgerecht in den verschiedenen Zonen arbeiten, ohne das technische System wechseln zu müssen. Das Prozessmodell des AR-gestützten Kommissionierprozesses war die Grundlage für die Entwicklung der Funktionsmuster. So lassen sich z. B. aus dem Modell die Daten ableiten, die der Kommissionierer zu einem bestimmten Prozessschritt benötigt und die deswegen in der Datenbrille angezeigt werden sollen. Die Untersuchung auf die Einsatzfähigkeit des Systems erfolgte in Versuchsreihen am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) aufgebauten Funktionsmustern. Dabei wurden auch die arbeitsphysiologischen und ergonomischen Auswirkungen auf den Kommissionierer erforscht. Nach der Optimierung des Systems im Labortest galt es, Pick-by-Vision auf seine Praxistauglichkeit bei den Industriepartnern zu testen.

### **1.2.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels**

Die Forschungsziele wurden im Rahmen eines stufenweisen Vorgehens in Form von zehn aufeinander abgestimmten Arbeitspaketen (AP) erarbeitet.

#### ***AP 1: Einsatzszenarien und Anforderungsanalyse***

Der Einsatz von Pick-by-Vision birgt nicht in jedem Kommissioniersystem Potenzial. Es wurden daher praxisnahe Szenarien erarbeitet, in denen der Einsatz dieser neuen Technologie Vorteile bringt. Unter Einbezug dieser Szenarien erfolgte die Definition der Anforderungen an das System und die Erstellung der Anforderungsliste.

#### ***AP 2: Festlegung des AR-unterstützten Kommissionierprozesses***

Ausgehend von der Definition eines allgemeingültigen, technologieunabhängigen Kommissionierprozesses ließ sich ein für die AR-Kommissionierung gültiger Prozess ableiten. Dieser diente als Grundlage für ein Interaktionskonzept zwischen Kommissionierer und AR-System.

#### ***AP 3: Recherche geeigneter Hard- und Software***

Ein AR-System besteht aus mehreren Hard- und Softwarekomponenten. Es wurden das WMS, die AR-Software, die Datenbrillen mit tragbarem Computer und Interaktionsgeräte betrachtet und anhand der Anforderungsliste ausgewählt.

***AP 4: Wegfindung***

Eine mögliche Art der visuellen Unterstützung durch AR ist die Wegfindung. Die erarbeiteten Konzepte zeigen auf, wie der Weg des Kommissionierers zu den Lagerplätzen durch den Einsatz einer Datenbrille optisch unterstützt werden kann.

***AP 5: Informationsdarstellung***

Das Interaktionskonzept aus AP 2, die Auswahl von HMD und Interaktionsgerät aus AP 3 und die optische Hilfe zur Wegfindung aus AP 4 flossen in die Entwicklung einer Benutzerschnittstelle (Graphical User Interface, GUI) ein. Das Ergebnis ist ein Konzept für den Aufbau der GUI für Pick-by-Vision mit der ausgewählten Hardware.

***AP 6: Entwicklung Funktionsmuster 1 – AR-System mit kontextabhängiger Informationsdarstellung***

Die Entwicklung des Funktionsmusters 1 (FM1) umfasste neben der Integration der ausgewählten Hardwarekomponenten und der GUI zu einem Gesamtsystem auch den Aufbau einer Versuchsumgebung und die Anbindung an das WMS. Das FM1 stellt nur statische (Test-)Informationen dar.

***AP 7: Evaluierung Funktionsmuster 1 im Labor- und Praxistest***

Es wurden Versuchreihen mit dem FM1 in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml und bei einem Industriepartner durchgeführt und hinsichtlich wichtiger Faktoren in der Kommissionierung (z. B. Kommissionierzeiten, -fehler) sowie der Benutzerakzeptanz ausgewertet.

***AP 8: Entwicklung Funktionsmuster 2 – AR-System mit kontextabhängiger Informationsdarstellung mit nicht-kongruenter Überlagerung***

Für die Anzeige von dynamischen Daten ist ein Trackingsystem zur Erfassung der Position und der Blickrichtung des Kommissionierers nötig. Nach der Auswahl eines geeigneten Trackingsystems wird das Funktionsmuster 2 (FM2) in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml aufgebaut.

***AP 9: Evaluierung Funktionsmuster 2 im Labor- und Praxistest***

Mit dem FM2 wurde eine Versuchreihe am Lehrstuhl fml durchgeführt und hinsichtlich wichtiger logistischer Kennzahlen sowie der Benutzerakzeptanz ausgewertet.

**AP 10: Dokumentation**

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden in diesem ausführlichen Forschungsbericht zusammengefasst. Die Gliederung dieses Forschungsberichts lehnt sich an den Arbeitspaketen an. In einem einleitenden Kapitel erfolgt eine Einführung in den Stand der Technik und eine Klärung wichtiger Begrifflichkeiten. Dabei wurden die AP 1 bis AP 3 zum Kapitel 3 „Einsatzszenarien“ zusammengefasst. AP 4 und AP 5 bilden das Kapitel 4 „Erstellung der Benutzerschnittstelle“. AP 6, AP 7, AP 8 und AP 9 finden sich in eigenen Kapiteln wieder. In den abschließenden Kapiteln werden die Ergebnisse den Zielen des Forschungsvorhabens gegenübergestellt und der technische und wirtschaftliche Nutzen aufgezeigt.

## 2 Grundlagen für die Entwicklung von Pick-by-Vision

In diesem Kapitel werden Definitionen und Grundlagen der Kommissionierung und der AR-Technologie näher erläutert. Die in diesem Projekt entwickelten Funktionsmuster wurden in Versuchsreihen evaluiert. Die dafür benötigten Grundlagen bilden den Abschluss dieses Kapitels.

### 2.1 Stand der Forschung

Mit AR und Kommissionierung werden die beiden Kernthemen dieses Projektes in den nachfolgenden Abschnitten in knapper Form hinsichtlich des aktuellen Stands der Forschung vorgestellt.

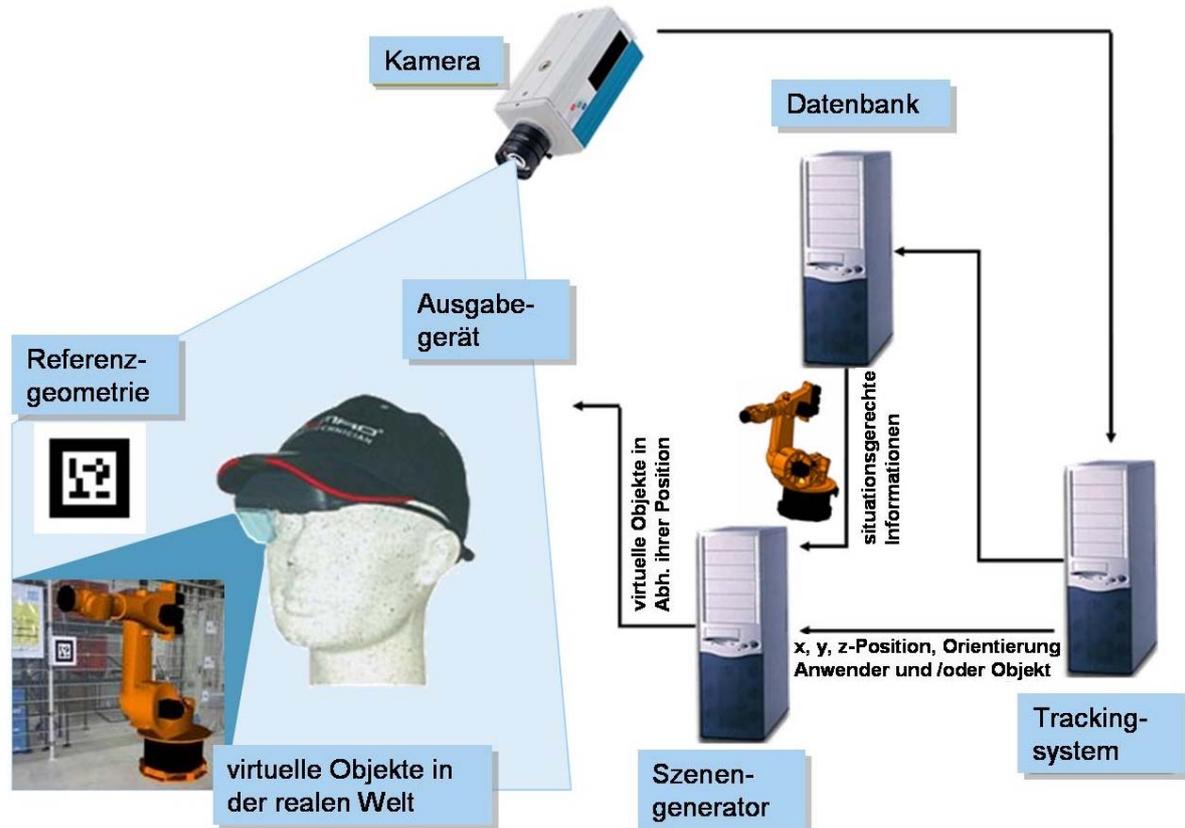
#### 2.1.1 Augmented Reality

Augmented Reality (erweiterte Realität), ein Teilbereich der Virtual Reality (VR), bezeichnet die visuelle Ergänzung bzw. Überlagerung der optischen Wahrnehmung des Menschen durch vom visuellen Kontext abhängige, computergenerierte Informationen. Reale und virtuelle Welt werden dabei derart kombiniert, dass eine echtzeitfähige Interaktion des Anwenders mit der dadurch neugeschaffenen, dreidimensionalen Umgebung möglich wird [Azu-97]. Zur Darstellung der angereicherten optischen Informationen werden meist im Sichtfeld des Benutzers angeordnete mobile Anzeigergeräte verwendet. Am häufigsten werden hierbei Datenbrillen<sup>1</sup> eingesetzt, die ähnlich einer Brille komfortabel zu tragen sind. Zu den weiteren Hauptkomponenten eines AR-Systems zählen ein Trackingsystem zur Positionsbestimmung des Benutzers bzw. der betrachteten Objekte, das Datenhaltungssystem mit den zugehörigen, im Rechner hinterlegten Informationen sowie der Szenengenerator, der mittels der von verschiedenen Quellen stammenden Daten die kontextabhängigen, virtuellen Objekte in der richtigen Perspektive für den Anwender erzeugt und somit den Input für das Visualisierungsmedium liefert. Bei vielen Systemen ist noch eine Kamera zur Auf-

---

<sup>1</sup> Die Begriffe Datenbrille und Head-mounted Display bzw. HMD werden synonym verwendet.

nahme der realen Umgebung und ggf. zum Tracking enthalten (siehe Abbildung 2-1) [Alt-03]. Die virtuellen Daten haben durch das Tracking stets einen räumlichen Bezug zur Realität. Bei einer kongruenten Überlagerung wird das virtuelle Objekt mit einem realen zur Deckung gebracht.



**Abbildung 2-1: Aufbau eines AR-Systems**

Die Forschung zum Thema AR beschäftigte sich in der Vergangenheit, von militärischen Anwendungen abgesehen, hauptsächlich mit der Entwicklung der AR-Basistechnologien, wie Trackingsystemen, Visualisierungs- und Interaktionswerkzeugen sowie der zugehörigen Softwarekomponenten. Den ersten ganzheitlichen Ansatz, der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der AR mit konkreten Anwendungsszenarien verband, bildete das von 1999-2003 vom bmb+f geförderte Leitprojekt ARVIKA, an dem insgesamt 18 Unternehmen vornehmlich aus dem Automobil-, Flugzeug- und Maschinenbau nebst fünf Forschungseinrichtungen beteiligt waren [FrW-04]. Neben der Schaffung einer benutzerzentrierten Systemgestaltung ([Beu-04], [ScL-05]) und der technologischen Weiterentwicklung von Hard- und Software standen die Themenfelder AR in der Entwicklung, der Produktion und im Service im Mittelpunkt der Aktivitäten von ARVIKA. Im Entwicklungsbereich wurden beispielsweise Anwendungen zur Durchführung von Design-Reviews, zum Abgleich von

Simulations- und Testergebnissen bei Crashuntersuchungen, zur Strömungsvisualisierung in Flugzeugkabinen [Bar-04] und zum AR-unterstützten Bolzenschweißen [Ech-04] erarbeitet. Im Themenfeld Produktion wurden AR-basierte Lösungen zur Fabrik- und Anlagenplanung (darunter Ergonomieanalysen bei der Arbeitsplatzgestaltung), Qualitätsdatenerfassung sowie für unterschiedlichste Montageaufgaben (z. B. in großvolumigen oder auch räumlich kompakten Systemen) entwickelt ([Alt-03], [Pat-04], [Wie-05]). In der serviceorientierten Forschung wurde die Konzeption von Unterstützungssystemen zur Wartung und Bedienung von Kraftwerks- und Prozessanlagen, von Werkzeug- und Produktionsmaschinen [Wec-04], zur Instandhaltung von Fluggeräten sowie zur Mitarbeiterschulung [FrW-04] verfolgt. Die Arbeiten wurden im Nachfolgeprojekt ARTESAS (2004-2006) weitergeführt. 2008 startete mit AVILUS der nächste Forschungsverbund zu diesem Thema, der sich u. a. mit Langzeitwirkungen des Datenbrilleneinsatzes [Tüm-08] beschäftigt.

Auch außerhalb dieser großen Verbundprojekte wird an ähnlichen Themen gearbeitet. AR ist fester Bestandteil der Entwicklung neuer Fahrzeuggenerationen [Mer-08]. Die Szene, z. B. der reale Motorraum, wird von einer Kamera festgehalten und mit virtuellen Daten, z. B. elektrischer Leitungen, überlagert. So kann auch die Hochzeit, d. h. die Vereinigung von realer Karosserie und virtuellem Antriebsstrang in der Fahrzeugproduktion vorweggenommen werden [Fuc-08]. Auf realen Fahrzeugen lassen sich verschiedenste virtuelle Felgen aufziehen [met-08]. In der Planung von Logistik- und Produktionssystemen wird AR zum Abgleich des aktuellen Standes der realen Umgebung mit den virtuellen Planungsdaten (z. B. Störkanten- oder Bauromanalysen) [Gün-06] oder für Planungsworkshops verwendet [BaC-08]. Tang et al. zeigten in einer Laboruntersuchung die Potenziale von AR bei Montagetätigkeiten auf [Tan-04]. Das erste Projekt zum industriellen Einsatz von AR wurde in den 1990er Jahren bei Boeing zur Unterstützung der Kabelbaummontage durchgeführt [Miz-01]. Auch für die Instandhaltung und den Service mit den oft unvorhersehbaren Aufgaben wird AR als Hilfsmittel angesehen ([Bec-08], [Sas-08]). Die Qualitätssicherung [ScB-07b] und die Schulung bzw. das Training des operativen Personals ([Wal-07], [Zho-03]) runden das Aufgabenfeld von AR in der Industrie ab.

Forschungsaktivitäten zum Einsatz von AR werden neben den bereits erwähnten Gebieten auch in der Medizintechnik [Nav-99], Militärtechnik [Tap-01], Architektur [Kli-01] und dem Bauwesen ([Beh-05], [ScG-08]) durchgeführt.

Die Thematik der AR-Unterstützung in der Kommissionierung wurde ebenfalls in ARVIKA aufgegriffen [Alt-03]. Dabei konnte gegenüber den herkömmlichen Prozesszeiten eine Reduzierung der Kommissionierzeit durch Einsatz eines AR-Systems von ca. 26 % festgestellt werden. Bezüglich der mit dem MTM-Verfahren (Methods of Time Measurement) ermittelten Vorgabezeit betrug die Verminderung sogar 57 %. Aufgrund der zu erwartenden Verbesserungspotenziale erscheint der Einsatz der AR-Technologie in der Kommissionierung sowohl im Lager als auch in der Produktion somit mehr als sinnvoll. Weitere Untersuchungen wurden am Heinz-Nixdorf-Institut (HNI) der Universität Paderborn durchgeführt [Mue-05]. Das Potenzial konnte auch hier nachgewiesen werden, allerdings wurde eine ergonomisch ungünstige Datenbrille verwendet, die zu Beschwerden bei den Benutzern führte.

Ein Praxistest erfolgte innerhalb eines mehrwöchigen Pilotprojekts in der LKW-Montage mit einer monokularen Datenbrille [Bra-05]. Das Ziel war eine Minimierung der physischen und psychischen Mehrbelastung durch die Technologie und eine Optimierung der Arbeitsprozesse. Bereits nach einer kurzen Einweisung und Anlernphase konnten die Werker gut mit dem System umgehen. Die Gestaltung der haptischen und visuellen Schnittstelle wurde als gelungen und zweckmäßig empfunden. Allerdings kann der Vollschichteinsatz wegen Belastungen durch die Geräte hinsichtlich des Gewichts, des Tragekomforts und der Wärmeentwicklung nicht bedenkenlos empfohlen werden. Einige Werker klagten über Kopfschmerzen, deren Ursachen nicht genau spezifiziert werden konnten. Dies hätte an der abwechselnden Fokussierung zwischen den virtuellen Informationen und der Realität ebenso liegen können wie am Tragekomfort. Im Anschluss an diesen Pilotversuch erfolgte deshalb eine Laborstudie [Kam-06]. Mit der Papierliste wurden zwei Durchgänge absolviert. Dabei trugen die Probanden einmal das ausgeschaltete HMD. In einem dritten Durchgang wurde das AR-System eingesetzt. Die Arbeit mit dem HMD hat keinen Einfluss auf die psychische Belastung und Beanspruchung der Teilnehmer. Die Probanden hatten mehr Beschwerden bei ausgeschaltetem HMD. Dies lag an Kopfbewegungen, weil die Informationen nicht im Blickfeld waren und daran, dass kein Sinn beim Tragen des HMD ersichtlich war.

### 2.1.2 Kommissionierung

Pick-by-Vision soll zur qualitativen und leistungsmäßigen Verbesserung manueller Kommissionierprozesse nach dem Prinzip „Mann zur Ware“ (MzW) beitragen. Der Anteil der überwiegend manuellen Kommissioniersysteme liegt im industriellen Durchschnitt bei etwa 50 % [Lün-02]. Die weiteren 50 % umfassen überwiegend automatisierte Lösungen, die im Rahmen des hier vorgestellten Ansatzes nicht betrachtet werden. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass sich in der Regel die Unternehmensgröße und der Anteil manueller Kommissioniersysteme indirekt proportional zueinander verhalten, weil kleine oder mittlere Unternehmen (KMU) oftmals die Investitionskosten für automatisierte Lösungen scheuen bzw. aufgrund zu niedriger Durchsätze die Notwendigkeit zur Verwendung automatisierter Kommissioniersysteme nicht besteht. Eine vollautomatische Systemausführung erfordert aus Wirtschaftlichkeitsaspekten einen hohen Durchsatz bei einer gleichzeitig nahezu konstanten Auslastung [Dul-05]. Gerade letzteres ist bei vielen KMU jedoch nicht gegeben, die aus Flexibilitätsgründen daher vielfach auf manuelle Kommissioniersysteme setzen.

Die Kommissionierung als eines der letzten Glieder der innerbetrieblichen Logistikkette hat wesentlichen Anteil an der für den internen (Teileversorgung Produktion) bzw. externen Kunden sichtbaren Lieferqualität und besitzt daher besondere Bedeutung für Produktivität und Kundenzufriedenheit. Zusätzlich verschärfen der Wunsch nach kürzeren Lieferzeiten, häufigerer Belieferung bei gleichzeitig kleineren Bestellmengen sowie die zunehmende Ausweitung der Sortimentsbreiten die Anforderungen an die derzeit eingesetzten Kommissioniersysteme [Hep-98]. Deren Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit gerät dadurch verstärkt in den Fokus der Untersuchungen. Verbesserungspotenziale bei manuell nach dem MzW-Prinzip bedienten Lägern liegen hierbei v. a. in der Bereitstellung der benötigten Informationen sowie in der Senkung der Wegezeiten ([Dul-05], [Vog-97]). Umfang und Form der Informationsdarbietung stehen zudem wiederum in engem Zusammenhang mit der Pickfehler-rate ([Lol-03], [Vog-97]). Kommissionierdaten werden dem Kommissionierer allgemein über Papierbelege oder beleglos mittels mobiler bzw. stationärer Terminals, Fachanzeigen (Pick-by-Light, PbL) oder sprachgeführter Systeme (Pick-by-Voice, PbV) bereitgestellt (siehe Tabelle 2-1).

Informationsbereitstellung		
beleggebunden	beleglos	
	Mobil (online oder offline)	Stationär (online)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommissionierliste</li> <li>• Lieferschein</li> <li>• Etikett</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mobile Datenterminals</li> <li>• Terminal am Fördermittel</li> <li>• Pick-by-Voice</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stationäre Monitore</li> <li>• Pick-by-Light</li> </ul>

**Tabelle 2-1: Informationsbereitstellungsarten in der Kommissionierung**

### 2.1.2.1 Kommissionierliste

Die am weitesten verbreitete Methode zu kommissionieren erfolgt mit einer Auftragsliste aus Papier. Diese ist für den Menschen zunächst am intuitivsten handhabbar und die Abläufe sind sehr einfach erlernbar. Auf der Liste sind in einer übersichtlichen Form alle für den Auftrag wichtigen Daten abgebildet. Ist ein Barcode abgedruckt, kann durch Abscannen der Abschluss des Auftrags bestätigt und der Auftrag an das WMS als abgearbeitet gemeldet werden. Ohne Scannen kann dies über eine manuelle Eingabe an einem Rechner erfolgen. Die einzelnen Positionen werden oft durch Abhaken mit einem Stift quittiert. Das System ist sehr einfach und flexibel einzusetzen, aber es bringt auch einige Nachteile mit sich. Das Handhaben der Liste und das Abhaken mit einem Stift schränkt den Mitarbeiter in seiner Bewegungsfreiheit ein und verlängert den Kommissionierprozess. Der Aufwand für das Ablesen der Daten ist hoch und fehleranfällig. Außerdem erfolgt keine Datenhaltung in Echtzeit, weil das WMS erst nach Abschluss des Auftrages wieder auf den aktuellen Stand gebracht wird. Fehler, wie zum Beispiel Mengenfehler, können meist erst dann eingegeben werden, so dass keine Bestandskontrolle in Echtzeit möglich ist.

Um Fehler zu vermeiden ist beim Aufbau einer Kommissionierliste darauf zu achten, dass diese übersichtlich gestaltet wird und der Mitarbeiter die nötigen Daten ohne großen kognitiven Aufwand dann findet, wenn er sie braucht. Die einzelnen Zeilen sollen klar von einander unterscheidbar sein. Dies kann durch farbliche Gestaltung oder durch einen genügend großen Abstand erfolgen. Die einzelnen Daten einer Auftragszeile sollen auch klar unterscheidbar sein. Die Leserichtung ist von links nach rechts und entsprechend sind die Daten in der Reihenfolge anzuordnen, in der sie der Kommissionierer braucht: zuerst den Lagerplatz, dann den Artikel und am Ende die Menge. Oft wird auch der Artikel weggelassen, da nur der Lagerplatz und die Menge nötig sind. Die Artikelbeschreibung ist eine zusätzliche Angabe, um Kommis-

sionierfehler zu vermeiden. Manche Kommissionierer lesen lieber die Artikelnummer, andere die Bezeichnung, so dass beide angegeben werden. Die Nummer der Position ist für den Kommissionierer unwichtig, aber sie dient als Ordnungsmerkmal in der Liste.

### **2.1.2.2 Mobile Datenterminals**

Ein mobiles Datenterminal (MDT) ist ein Gerät zur Erfassung und Speicherung von Daten, ohne dabei an einen PC-Arbeitsplatz gebunden zu sein. Die in Echtzeit erfassten Daten werden über eine drahtlose Funk- oder Infrarotverbindung an ein zentrales Informationssystem weitergeleitet und übertragen. Es gibt auch offline-Geräte, die zum Datenaustausch an eine Ladestation angeschlossen werden müssen. In das MDT kann ein Scanner zum Auslesen von Barcodes oder eine RFID-Lesegerät integriert sein. Das System teilt dem Kommissionierer den nächsten, zur Ausführung vorgesehenen Auftrag mit und zeigt ihm alle notwendigen Artikeldaten (z. B. Lagerplatz, Artikel, Auftragsnummer) im Display an. Welche Daten und Arbeitshinweise bereitgestellt werden, hängt von arbeits- und branchenspezifischen Randbedingungen ab. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass in das MDT ein Scanner integriert ist. Bereits bei der Abholung des Sammelbehälters kann es nötig sein, diesen zu scannen. Ist der Kommissionierer am Lagerplatz angekommen, scannt er diesen und bei der Entnahme auch die Artikelnummer (nur einen Artikel oder jeden einzelnen Artikel). Bei der Verpackung können die Artikel erneut gescannt werden. Die Fehlerrate ist durch das Scannen deutlich niedriger. Mit jedem Schritt, der gescannt werden muss, erhöht sich der Zeitaufwand. Weitere Leistungseinschränkungen werden durch das Halten des Geräts bei der Tastatureingabe und durch das Lesen der Displayanzeige hervorgerufen. Deswegen geraten MDT bei hoher Dynamik im Pickbereich sehr schnell an ihre Grenzen. Durch den Einsatz von Ring- oder Fingerscannern wird versucht den Handlingsaufwand zu reduzieren. Allerdings sind diese Geräte aus Sicht des Arbeitsschutzes als kritisch anzusehen, denn sie können sich leicht in der Regalgeometrie verhaken und zu Verletzungen führen.

### **2.1.2.3 Pick-by-Light**

Pick-by-Light (PbL) ermöglicht eine beleglose Kommissionierung durch eine Führung des Kommissionierers über Lämpchen und Displays. Bei PbL-Systemen befindet

sich an jedem Lagerfach eine Signalleuchte mit einem Ziffern- oder auch alphanumerischen Display, sowie mindestens einer Quittierungstaste und eventuell Eingabe- bzw. Korrekturtasten. Die Lagerfächer sind bei herkömmlichen Systemen untereinander verkabelt. Bei modernen Systemen kann auch auf die Verkabelung verzichtet werden und die Datenübertragung erfolgt über Funk oder dünne Metallbänder. Bei der Kommissionierung leuchtet die Signallampe am Lagerfach der aktuellen Pickposition auf und auf dem Display erscheint die zu entnehmende Anzahl. Die Entnahme wird dann mittels einer Quittiertaste bestätigt und die Bestandsänderung in Echtzeit an die Lagerverwaltung zurückgemeldet. Dieser einfache Ablauf ermöglicht kurze Anlernzeiten. Das System beruht auf dem optischen Sinn des Menschen, mit dem er am besten seine Umgebung wahrnimmt. Allerdings wird auch der optische Suchaufwand erhöht. PbL wird vor allem im Schnellläuferbereich eingesetzt. Die freien Hände und die kurzen Wege, sowie der parallele Ablauf von mehreren Tätigkeiten (z. B. Quittierung während des Gangs zum nächsten Fach) ermöglichen eine hohe Kommissionierleistung bei geringen Fehlerquoten. Es gibt verschiedenste Ausführungsformen von PbL-Systemen. Der Kommissionierer kann einen Regalbereich bis zu 20 m Länge bearbeiten oder in einem Kommissioniernest sitzen. Ein Kommissioniernest ist ein stationärer Arbeitsplatz, bei dem der Mitarbeiter von den PbL-Regalen umgeben ist. Die Umkehrung des PbL-Prinzips wird in Put-to-Light-Anlagen eingesetzt. Dabei wird der Ablageort durch ein Lämpchen hervorgehoben, wenn mehrere Aufträge gleichzeitig bearbeitet werden. Dies kann an einem stationären Kommissionierarbeitsplatz ebenso erfolgen wie auf einem Kommissionierwagen.

Das PbL-System ist abhängig von funktionierenden Lämpchen, so dass deren Funktionstüchtigkeit unter hohem Aufwand sichergestellt werden muss. Alle Regale müssen mit den Displays ausgestattet werden. Dies führt zu hohen Installationskosten und einer großen Einschränkung der Flexibilität für Umbauten. Der Kommissioniervorgang ist auf die Zusammenstellung von Aufträgen beschränkt und sieht keine Identifizierung von einzelnen Waren vor. Dadurch dass die Quittierungstaste aus Einfachheit oft vor dem Greifen der Artikel gedrückt wird, entstehen Zählfehler [Hom-04]. Die Auftragsreihenfolge ist sequenzbehafte und pro Regalabschnitt kann nur ein Kommissionierer arbeiten.

Um die Nachteile des Systems zu beheben, gibt es verschiedene technologische Ansätze. Damit mehrere Kommissionierer in einer Zone arbeiten können, werden die Lagerfächer mit mehreren Lämpchen in verschiedenen Farben ausgestattet. Für je-

den Auftrag gilt dann eine Farbe. Die Kommissionierqualität (Reduzierung der Zählfehler) kann durch die Integration von Lasersensoren in jedes Lagerfach erhöht werden, indem jeder Griff in das Fach automatisch registriert wird [New-03].

### **2.1.2.4 Pick-by-Voice**

Pick-by-Voice (PbV) ist in den USA vielfach im Einsatz und finden auch hierzulande (vornehmlich im Handel) wachsende Verbreitung [Log-04]. Bei PbV erhält der Kommissionierer seine Anweisungen (Lagerplatz, Entnahmemenge etc.) vom WMS über einen Kopfhörer mit Hilfe computergesteuerter Sprachausgabe. Im Gegenzug erfolgt die Bestätigung (Quittierung der Auftragsposition, Lagerplatz-Prüfziffer etc.) verbal über ein am Headset befestigtes Mikrofon. Als weitere Systembestandteile sind ein mobiles Sprachterminal mit Tragegurt, entsprechende Software sowie ein Datenfunksystem zu nennen. Keine andere Technologie gewährt zur Zeit unter Einbeziehung ergonomischer Merkmale einen derart hohen informatorischen Unterstützungsgrad und kommt damit dem geplanten AR-unterstützten Kommissioniersystem nahe. Der Zuwachs an installierten PbV-Systemen ist einerseits auf deren technische Weiterentwicklung hinsichtlich Sprachausgabe und -erkennung und andererseits darauf zurückzuführen, dass der Kommissionierer beide Hände frei hat und sich so mit ganzer Aufmerksamkeit effizient seinen Haupttätigkeiten (Greifen, Verpacken etc.) widmen kann. Zudem können Bewegungs- und informatorische Abläufe bis zu gewissen Grenzen parallel stattfinden (z. B. Quittieren der Entnahme und Ablegen des Artikels), so dass Prozesszeiten reduziert werden. Mit den Sprachausgaben und den dazugehörigen Eingaben wird der Kommissionierer straff durch den Prozess geführt und kann schnell angelernt werden [Hil-04]. Durch die mehrfache Eingabe von Prüfziffern (Nummern am Lagerplatz, letzten Ziffern der Artikelnummer etc.) wird sichergestellt, dass wenige Fehler auftreten. Durch die Echtzeit-Anbindung an das WMS ist dort stets der aktuelle Stand hinterlegt. Die Mitarbeiter können durch diese Prozessführung schnell angelernt werden.

Wenn der Mitarbeiter den ganzen Tag Befehle mit einer monotonen Stimme erhält, kann dies zu einer Abneigung und Demotivation führen. Das anfängliche Problem der schlechten Spracherkennung in industriellen Umgebungen ist zwar durch verschiedene Technologien (bessere Mikrofone, Rauschunterdrückung, Software, die Störgeräusche herausfiltert etc.) verbessert, aber noch nicht gelöst worden. Trotz

großer Fortschritte in der Spracherkennung werden Spracheingaben des Nutzers immer wieder nicht erkannt und führen in Folge zu zeitraubenden Wiederholungen der Benutzerbefehle. Durch die Sprachausgabe können auch nur kurze Befehle sequentiell angesagt werden. So lassen sich keine weiterführenden Informationen zum Artikel ausgeben. Der Mitarbeiter ist mit diesem System abgeschottet und die Kommunikation der Mitarbeiter untereinander kann behindert werden. Dies wird problematisch, wenn bei Arbeitsschritten, z. B. der Kommissionierung großer, sperriger Teile, miteinander kommuniziert werden muss. PbV-Systeme sind nicht in jedem Kommissioniersystem einsetzbar. Bei einem hohen Wegzeitanteil, d. h. wenn das Verhältnis Wegzeit zu Totzeit sehr hoch ist, bringt PbV kaum Vorteile, weil das Potenzial zur Reduzierung der Totzeiten nicht greift [Pie-06].

Es gibt verschiedenste PbV-Systeme [Föl-05] und Methoden, die Sprachausgabe (Sprachgenerierung) zu gestalten. Bei Record-and-Play spricht ein Sprecher Botschaften vorher auf den Rechner. Diese Ausgabe mit einer natürlichen Stimme ist aber umständlich zu erweitern. Bei der Text-to-Speech-Methode wird die Ausgabe von einer Software aus Textdaten generiert. Außerdem wird bei der Spracherkennung zwischen sprecherabhängigen und -unabhängigen Systemen unterschieden. Bei sprecherabhängigen Systemen ist vorher ein Sprachtraining von 15 bis 30 Minuten notwendig, bei dem sich die Software auf den Benutzer einstimmt. Dabei wird ein individuelles Sprachmuster erstellt. Bei sprecherunabhängigen Systemen kann jeder mit dem System interagieren. Allerdings hängt die Erkennungsquote von Faktoren wie der Stimmlage, der Lautstärke, der Geschwindigkeit etc. ab.

## 2.2 Logistische Kennzahlen

In diesem Kapitel werden die logistischen Kennzahlen Kommissionierzeit, -leistung und -fehler im Hinblick auf ihre Verwendung in diesem Projekt genauer erläutert.

### 2.2.1 Kommissionierzeit

Die Kommissionierzeit setzt sich aus der Basiszeit, der Summe der Totzeiten, der Greifzeit und der Wegzeit über alle Positionen zusammen [Arn-05]. Im Folgenden werden diese Zeitanteile vorgestellt.

### 2.2.1.1 Basiszeit

Die Basiszeit wird auch als Aufrüstzeit bezeichnet. Das ist die Zeit, die sich der Kommissionierer vor Beginn und nach Abschluss einer Kommissionierumdrehung an der Basis aufhält. In der Basiszeit sind die Übernahme des Auftrags, das Holen des Kommissionierbehälters, die Abgabe von Ware und Kommissionierbehälter etc. inbegriffen. Die Basiszeit wird vor allem vom verwendeten Informationssystem beeinflusst. Der Zeitaufwand ist abhängig vom Kommissionierverfahren und der -technik, z. B. beim beleglosen Kommissionieren fallen Annahme, Ordnen und Abgabe der Pickbelege weg. Zur Basiszeit gehören auch die Übernahme leerer Sammel- und Versandbehälter und die Abgabe der gefüllten Behälter [Gud-05].

### 2.2.1.2 Wegzeit

Die Wegzeit ist die Zeit zwischen der Bewegung von der Annahmestelle über die Entnahmeorte bis hin zur Abgabestelle. Sie ist abhängig von der Ablauforganisation und der Kommissionierfront, d. h. von den Bereitstelltechniken und -mitteln. Beispielsweise verkürzt die Bereitstellung mit Stichgängen die Wegzeit. Sie bestimmt mit 50 bis 70 % am stärksten die Kosten der Kommissionierung [Vog-97]. Die Wegzeit umfasst bis zu 60 % der Kommissionierzeit bei MzW-Systemen [Bry-95]. Es können Geschwindigkeiten von 1,0 bis 1,4 m/s, wenn der Kommissionierer zu Fuß geht, und 0,7 bis 2,5 m/s auf einem Fahrzeug angenommen werden. Die Beschleunigung des Menschen beträgt  $> 1 \text{ m/s}^2$  und ist somit höher als bei Kommissionierstaplern mit  $< 0,4 \text{ m/s}^2$ . Ab 20 m Laufweg lohnt sich der Einsatz eines Flurförderzeugs und bei Regalhöhen über 1,8 m ist ein Bediengerät erforderlich [Vog-97]. Eine Reduzierung der Wegzeit kann durch eine optimierte Einlagerungslogistik (Zonenbildung z. B. nach einem Kriterium wie der Umschlaghäufigkeit), die gleichzeitige Bearbeitung mehrere Aufträge und durch eine Wegoptimierung erfolgen.

### 2.2.1.3 Greifzeit

Unter der Greifzeit wird die Zeit für den physischen Vorgang von der Entnahme bis zur Ablage der Entnahmemenge verstanden. Dies ist die eigentliche Leistungszeit in der Kommissionierung [Gud-05]. Der Zeitblock „Greifen“ beträgt 20 bis 30 % der Entnahmezeit und es werden zwei bis sechs Sekunden pro Zugriff [Vog-97] bzw. zwei bis zehn Sekunden pro Entnahmeeinheit [Gud-05] benötigt. Die Greifzeit steht im

Fokus der Ablauforganisation, ob z. B. mehrere Aufträge gleichzeitig bearbeitet werden, und hängt empfindlich von den räumlichen Einflussfaktoren des Entnahmeplatzes ab (maximale und minimale Greifhöhe, Greiftiefe, Ablagewinkel, Ablageentfernung etc.). Da die Greifzeit nur den physischen Vorgang des Greifens umfasst, ist sie unabhängig von der eingesetzten Kommissioniertechnologie.

### 2.2.1.4 Totzeit

Die Totzeit wird oft auch als Rüstzeit bezeichnet, die in der Regel aber mehr als die in der Regelungstechnik als Totzeit bezeichnete Reaktions- und Informationsverarbeitung umfasst. Totzeiten sind dadurch definiert, dass keine äußerliche Veränderung an den Waren vorgenommen wird, d. h. der Prozessschritt ist nicht wertschöpfend. Die Totzeit umfasst Vorgänge wie z. B. Lesen, Aufreißen von Verpackungen, Suchen und Identifizieren, Kontrollieren, Reaktionszeiten, Belegarbeiten, Kodieren und Positionieren. Totzeiten betragen 20 bis 30 % der Kommissionierzeit [Alt-03] und die Suchzeit für ein Bauteil wird mit 10 % der Kommissionierzeit angegeben [VW-03]. Die Totzeit wird vor allem vom verwendeten Informationssystem beeinflusst. Der Grund dafür sind die bei manueller Kommissionierung die Informationsaufnahme- und -verarbeitungsvorgängen der menschlichen Sinnesorgane.

### 2.2.1.5 Abhängigkeiten der Kommissionierzeitanteile

Die Kommissionierzeitanteile sind für verschiedene Kommissionierverfahren von sehr unterschiedlicher Größe und haben sich seit den 1970er Jahren verändert. Die positionsbezogenen Zeiten (Wegzeit, Totzeit, Greifzeit) haben an Bedeutung gegenüber der auftragsbezogenen Basiszeit verloren [Lün-05]. Der Grund dafür sind die immer kleiner werdenden Auftragsgrößen (siehe Abbildung 2-2).

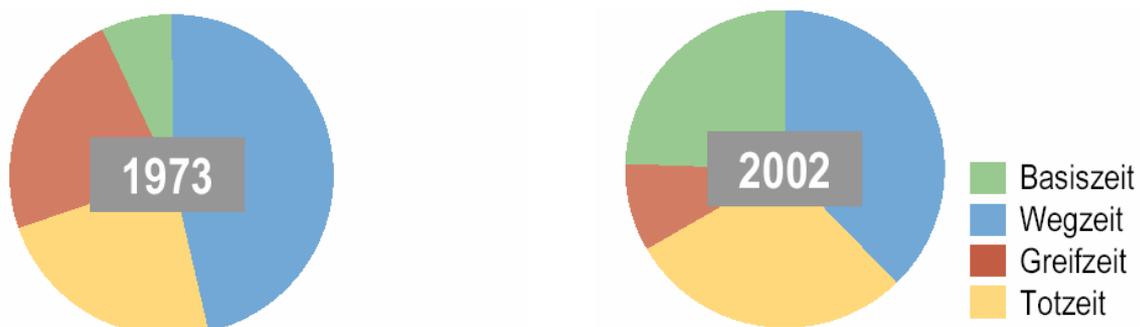


Abbildung 2-2: Veränderung der Kommissionierzeitanteile [Lün-05]

Die Greifzeit ist der rein physische Vorgang des Greifens und hängt somit nicht von der Informationsbereitstellungstechnik ab. Die Basiszeit ist bei einem papierlosen System wie Pick-by-Vision ebenfalls auf physische Vorgänge wie das Holen und Abgeben der Sammelbehälter beschränkt. Es fallen nur noch die An- und Abmeldung vom System darunter. Pick-by-Vision wird außerdem zu einer Reduzierung der Tot- und Wegzeiten führen.

### 2.2.2 Kommissionierleistung

Die Leistung in einem Kommissioniersystem lässt sich in Abhängigkeit verschiedener Bezugsgrößen auf unterschiedliche Weisen berechnen [Gud-05]. Üblicherweise bezieht sich die Kommissionierleistung auf die Anzahl der Positionen unabhängig von der Entnahmemenge pro Position. Die Pickleistung beruht dagegen auf der Anzahl der Picks, also der physischen Greifvorgänge, die mit der Anzahl der Entnahmeeinheiten (EE) übereinstimmt. Problematisch ist, ob der Kommissionierer bei einer Entnahmemenge von zwei Stück beide gleichzeitig oder einzeln greift. Diese Größe lässt sich nicht exakt bestimmen. Die Anzahl der Positionen ist konstant, während die Anzahl der Picks vom individuellen Greifverhalten der Probanden abhängt, so dass die Kommissionierleistung in diesem Projekt verwendet wird (siehe Formel 2-1). Die Leistung wird immer auf eine Zeiteinheit, die in diesem Fall immer eine Stunde beträgt, bezogen. In die Kommissionierleistung gehen dabei alle Zeitanteile ein.

$$\text{Kommissionierleistung [Pos / h]} = \frac{\text{Anzahl Positionen, die ein Kommissionierer bearbeitet}}{\text{Stunde}}$$

#### Formel 2-1: Kommissionierleistung [Pos/h]

Weitere Größen, die die Leistung beeinflussen, sind die Verfügbarkeit und die Auslastung der Kommissionierer. Für die Verfügbarkeit menschlicher Kommissionierer gibt es Erfahrungswerte [Gud-05], die sich an den Arbeitsbedingungen und der Belastung orientieren. Bei kurzen Versuchsreihen sind die Arbeitsbedingungen und die Belastung sehr gering. Die Verfügbarkeit wird nicht berücksichtigt und mit 100 % angenommen. Das gleiche gilt für die Auslastung, weil die Probanden nur diese Versuchsreihen durchführen müssen. Bei Leistungsvergleichen ist zu beachten, dass die Kommissionierzeit empfindlich von Auftragsstruktur, Kommissioniersystem, Kapazität der Bereitstellereinheiten und Versandeinheiten sowie von der Sortimentsbreite abhängt [Gud-05]. Bei Leistungsvergleichen von Kommissioniertechniken wird die An-

zahl der Positionen konstant gehalten, so dass die Kommissionierzeit jedes Mal mit dem gleichen Faktor multipliziert wird. Die Leistung ist somit direkt proportional zur Kommissionierzeit (siehe Formel 2-1). Für die Versuchsreihen innerhalb dieses Projekts wurde die Kommissionierleistung aufgrund der direkten Proportionalität nicht mehr explizit berechnet und nur noch die Kommissionierzeit betrachtet, weil diese direkt gemessen werden kann.

$$\text{Kommissionierleistung [Pos / h]} = \frac{\text{Anzahl Positionen}}{\text{Kommissionierzeit [min]}} \times 60 \text{ min / h}$$

**Formel 2-2: Berechnung der Kommissionierleistung aus der Kommissionierzeit für einen Probanden**

### 2.2.3 Kommissionierfehler

Einer der wichtigsten Faktoren bei der Kommissionierung ist die Vermeidung von Fehlern. Sie werden vor der Auslieferung oft nicht mehr entdeckt und gelangen somit zum Kunden (intern oder extern). Die Kommissionierung hat somit direkte Auswirkung auf das Kunden-Lieferanten-Verhältnis und kann das Vertrauen in dieser Beziehung entscheidend beeinflussen, was zu erheblichen finanziellen Schäden führen kann. Übliche Fehlerraten sind 3.000 bis 15.000 Fehler pro einer Million Positionen, was 0,3 bis 1,5 % entspricht [Fis-94]. Industriepartner gaben an, dass ein Fehler pro 1.000 Positionen (0,1 %) erstrebenswert ist. Tabelle 2-2 zeigt typische Fehlerraten für herkömmliche Kommissioniertechniken. Im Durchschnitt liegt die Fehlerrate bei ca. 0,4 %. Das Ziel der Null-Fehlerkommissionierung ist aber grundsätzlich nicht erreichbar [Gud-05].

Informationsbereitstellung	Anzahl untersuchter Systeme	Durchschnittliche Fehlerwahrscheinlichkeit	Standardfehler
Pick-by-Voice	5	0,10 %	0,04 %
Beleg	38	0,35 %	0,04 %
Etiketten	7	0,37 %	0,17 %
Pick-by-Light	6	0,40 %	0,09 %
MDT mit Scanner	13	0,36 %	0,10 %
MDT ohne Scanner	6	0,69 %	0,19 %
MDT und Etiketten	5	0,94 %	0,60 %

**Tabelle 2-2: typische Fehlerraten in herkömmlichen Kommissioniersystemen [Lol-03]<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> In Lollings Untersuchung von Kommissioniersystemen war die Papierliste weniger fehleranfällig als die meisten beleglosen Systeme [Lol-03].

In diesem Projekt wird die Kommissionierfehlerquote herangezogen. Diese lässt sich für einen Kommissionierer mit Formel 2-3 berechnen. Um eine Aussage über alle Kommissionierer zu treffen, ist der Mittelwert zu bilden. Die Fehlerquote in Labortests ist doppelt so hoch wie in der Praxis [Lol-03]. Dies liegt vor allem daran, dass die Probanden meist unerfahren sind, und dass sie nur eine sehr kurze Einarbeitungszeit haben.

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

### Formel 2-3: Berechnung der Fehlerquote für einen Kommissionierer

Es gibt verschiedene Arten von Fehlern, die folgendermaßen eingeteilt werden und mit unterschiedlicher Häufigkeit auftreten ([Dul-05], [Lol-03]):

- Typfehler (37-42 %): falscher Artikel, hinzufügen eines Artikels
- Mengenfehler (44-46 %): zu viel oder zu wenig Artikel
- Auslassungsfehler (10 %): eine Position wurde vergessen
- Zustandsfehler (4-7 %): Beschädigung, falsche Tätigkeit wurde am Artikel verrichtet (z. B. falsche Verpackung)

Diese Fehlerarten können durch verschiedene Fehlhandlungen der Kommissionierer entstehen ([Gud-05], [Vog-97]):

- Entnahme aus einer falschen Bereitstellereinheit (Typfehler)
- Verwechslung der Artikel (Typfehler)
- Entnahme der falschen Menge (Mengenfehler)
- Ablage in den falschen Auftragsbehälter (Typfehler)
- falsche Etikettierung (Zustandsfehler)
- Liegenlassen oder Vergessen einzelner Aufträge (Auslassungsfehler)
- zu späte Bereitstellung zum Abholen oder Versand (Auslassungsfehler)

Für den Vergleich verschiedener Kommissioniertechnologien wird noch eine weitere Fehlerart eingeführt. Diese nennt sich Prozessfehler und umfasst alle Fehler, die im organisatorischen Ablauf anfallen. Beispielsweise ist darunter die fehlende Unterschrift auf der Papierliste zu verstehen. Bei der Entwicklung neuer Technologien können sich auch systematische Fehler durch einen falschen Technikeinsatz ein-

schleichen [Men-99]. Die Ursache des Fehlers liegt nicht in einem Fehlverhalten des Menschen, sondern in einer Fehlfunktion des Systems.

## **2.3 Grundlagen der Evaluierung**

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für die Evaluierung mittels Versuchsreihen in diesem Forschungsvorhaben erläutert. Der Mensch bildet ein zentrales Element bei der Entwicklung eines AR-unterstützten Kommissioniersystems. Deshalb werden nicht nur logistische Leistungsdaten, sondern auch seine Beanspruchung über subjektive Kriterien ermittelt. Auf die Aufnahme objektiver Kriterien wie z. B. der Herzschlagfrequenz wird verzichtet.

### **2.3.1 Begrifflichkeiten zur Evaluierung**

Die Evaluierungen innerhalb dieses Projekts liefen alle nach einem ähnlichen Schema ab. Pick-by-Vision wurde mit herkömmlichen Kommissioniertechnologien verglichen, um einen Eindruck von der Leistungsfähigkeit zu erhalten. Die Vergleichstechniken und deren Konfiguration wurden vor Beginn der Versuchsreihe ausgewählt und stellen die unabhängigen Variablen dar. Während der Versuchsreihen ließen sich verschiedene Kennzahlen, die abhängigen Variablen, aufnehmen. Aus logistischer Sicht sind die Kennzahlen Kommissionierleistung bzw. -zeit sowie Kommissionierfehler interessant. Die Messung der Kommissionierzeit erfolgte für einen Probanden mit einer Stoppuhr in Fortschrittszeitmessung. Nach Abgabe eines Auftrags wurden die Zwischenzeiten notiert. Die Kommissionierfehler wurden pro Position ermittelt. Bei der Versuchsplanung gibt es für Benutzerstudien zwei Ansätze: das within-subject und das between-subject Design [Bow-05]. Beim within-subject Design werden alle unabhängigen Variablen eines Systems von jedem Probanden getestet, beim between-subjects Design nicht. In diesem Projekt wurde nur das within-subject Design angewandt, d. h. jeder Proband testete jede Kommissioniertechnologie. Dies führt zu abhängigen (verbundenen) Stichproben, deren Objekte jeweils paarweise einander zugeordnet sind. Wenn beispielsweise 20 Probanden zwei Versuchsdurchläufe (Papierliste und Pick-by-Vision) absolvieren, ergeben sich 20 abhängige Paare von Kommissionierzeiten. Deswegen ist es wichtig, die Reihenfolge, in der ein Proband die verschiedenen Kommissioniertechnologien ausprobiert, zu variieren. Durch diese

Randomisierung sollen systematische Fehler und Lerneffekte vermieden werden, indem jede unabhängige Variable den Probanden zufällig zugeordnet wird. Über alle Probanden gesehen, sollte sich dies ausgleichen, d. h. dass alle unabhängigen Variablen gleich oft als erster, zweiter etc. Durchgang<sup>3</sup> getestet wurden. Ein Fehler wäre beispielsweise, dass am Morgen immer mit Pick-by-Vision gestartet wird. Über den Tag ändert sich die menschliche Leistungsfähigkeit oder auch die Helligkeit und diese Faktoren können auf ein System mit Datenbrille einen Einfluss haben. Die Variable „Mensch“ lässt sich aber nicht konstant halten. Jeder Proband ist individuell in seinem Ablauf bzw. seinen Bewegungen. Beispielsweise nimmt ein Proband den Sammelbehälter während des Vorbeischiebens des Wagens an der Basis auf während ein anderer Proband den Wagen extra zur Behälteraufnahme anhält. Deshalb lässt sich nicht alles standardisieren, aber diese Abläufe bleiben bei jedem einzelnen Probanden innerhalb seiner Durchgänge (meistens) gleich. Lediglich bei den ersten Aufträgen optimiert er sich noch selbst.

Vor den Versuchsreihen erfolgt nicht nur die Festlegung des Ablaufs, sondern auch der Ziele. Die unabhängigen Variablen sollen auf den Einfluss der abhängigen Variablen untersucht werden. Dazu lassen sich Alternativhypothesen aufstellen, d. h. dass Unterschiede zwischen den unabhängigen Variablen hinsichtlich der abhängigen bestehen. Beispielsweise ist die Kommissionierzeit bei den untersuchten Kommissioniertechniken nicht gleich. Um eine spätere Auswertung zu vereinfachen, werden die gegenteiligen Nullhypothesen, d. h. dass keine Unterschiede bestehen, aufgestellt und geprüft.

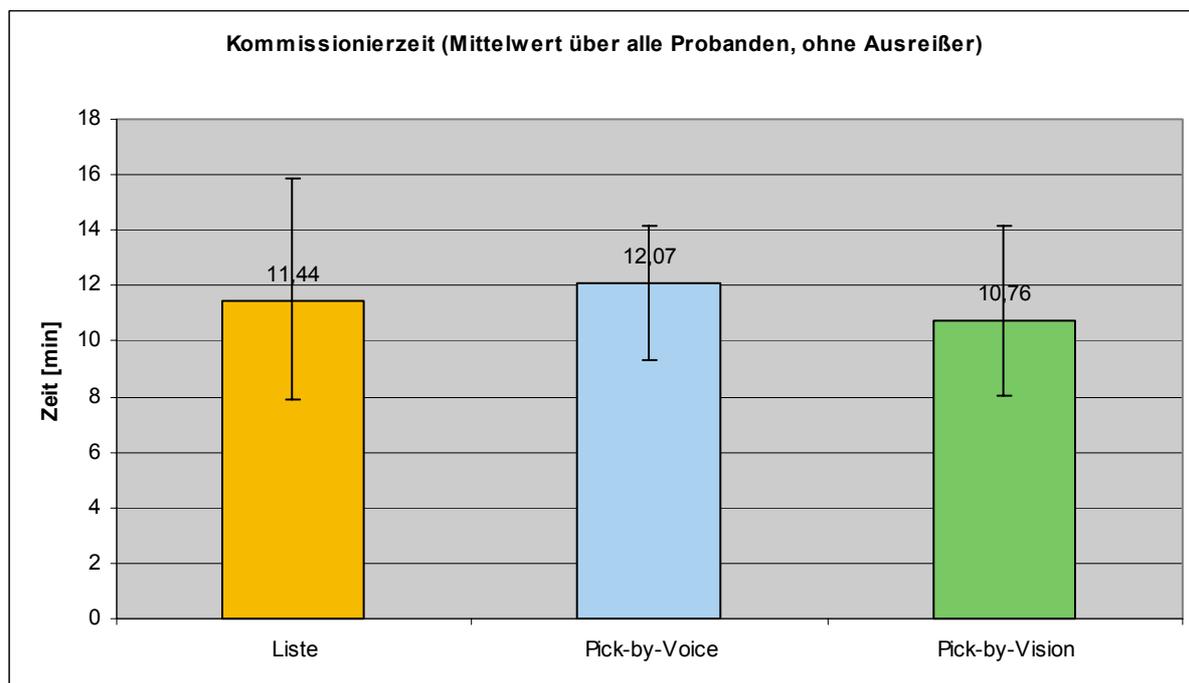
Die Versuchsreihen wurden nach einem einheitlichen Schema (siehe Abbildung 2-4) mit den Analysefunktionen von MS Excel, dem frei zugänglichen Programm DataLab der Epina GmbH sowie mit Hilfe von Literatur ([Bor-05], [Küh-01]) ausgewertet. Zunächst erfolgte die deskriptive (beschreibende) Statistik mit der Bestimmung von Mittelwert, Median<sup>4</sup>, Maxima/Minima, Standardabweichung und Varianz. Die Streuung ist ein weiterer Parameter, der in der Literatur mit der Standardabweichung, der Varianz oder auch dem Abstand zwischen dem minimalen oder maximalen Wert gleich-

---

<sup>3</sup> Als Durchgang wird der Test einer unabhängigen Variable durch einen Probanden verstanden, d. h. ein Proband hat so viele Durchgänge zu absolvieren, wie es unabhängige Variablen gibt.

<sup>4</sup> Median: Der Wert einer Verteilung, der die Gesamtzahl halbiert, so dass 50 % der Fälle darüber und 50 % darunter liegen [Bor-05].

gesetzt wird. In diesem Projekt wird die Streuung als der Abstand zwischen Minimum und Maximum definiert. Die Mittelwerte sowie die Streuung werden in einem Diagramm grafisch dargestellt, um mit einem Blick die Unterschiede zu erkennen. Dies ist beispielhaft in Abbildung 2-3 wiedergegeben. Die unabhängigen Variablen werden in der Abzisse und die abhängige Variable auf der Ordinate angetragen. Die Streuung wird im Säulendiagramm über Fehlerindikatoren angegeben, d. h. das Minimum und das Maximum sind eingetragen und durch einen Strich verbunden. Wird für die Streuung die Standardabweichung verwendet, wird dies explizit in der Diagrammbeschriftung erwähnt.



**Abbildung 2-3: Beispiel für die grafische Darstellung der Ergebnisse der deskriptiven Statistik**

Die deskriptive Statistik gibt aber keinen Aufschluss darüber, ob von der Stichprobe auf die Grundgesamtheit geschlossen werden kann, d. h. ob die Ergebnisse aussagekräftig hinsichtlich der Annahme oder Ablehnung der Nullhypothesen sind. Dazu werden Signifikanztests durchgeführt, für die in diesem Projekt das Signifikanzniveau  $\alpha^5$  von 5 % gewählt wurde (siehe Abbildung 2-4). Zuerst muss die Verteilung der Stichprobe ermittelt werden. Da die Stichproben in diesem Projekt kleiner als 30 sind, wird für die Prüfung auf Normalverteilung der Kolmogorov-Smirnov-Test verwendet.

<sup>5</sup> Signifikanzniveau: Irrtumswahrscheinlichkeit, die das Untersuchungsergebnis maximal aufweisen darf, damit die Alternativhypothese als bestätigt bzw. die Nullhypothese verworfen werden kann [Bor-05].

Kommissionierzeiten sind eher normalverteilt, während für Kommissionierfehler in der Literatur meist die Poisson-Verteilung genannt wird, weil die Fehleranzahl nur ganzzahlige nicht-negative Werte annehmen kann und es sich bei Fehlern um ein „seltenes Ereignis“ handelt [Lol-03]. Um den Bereich, in dem sich die Werte für den Mittelwert mit hoher Wahrscheinlichkeit aufhalten, wird das Vertrauens- oder Konfidenzintervall in Abhängigkeit der Verteilung ermittelt. Einige Werte können aus irgendwelchen Gründen Ausreißer sein und das Ergebnis verfälschen. Bei einer Normalverteilung wird mit dem Ausreißertest nach Grubbs die Stichprobe geprüft. Wird dieser Test nicht explizit erwähnt, sind keine Ausreißer vorhanden. Der Signifikanztest erfolgt bei zwei Stichproben (= zwei untersuchten Kommissioniertechniken) mit einem Zweistichproben t-Test für gepaarte, abhängige Stichproben, weil die Anzahl der Werte für beide Stichproben gleich und die Varianz verschieden ist. Es können auch Untersuchungen innerhalb einer Stichprobe mit einem Zweistichproben t-Test für unterschiedliche Varianzen durchgeführt werden. Bei mehreren Stichproben wird eine einfaktorielle Varianzanalyse benutzt. Zeigen die Mittelwerte keine signifikanten Unterschiede, können die Varianzen untersucht werden. Der gängige F-Test funktioniert nur bei unabhängigen Stichproben. Bei abhängigen Stichproben wird ein Test nach Kristof verwendet [Kri-81]. Ist keine Normalverteilung gegeben, lassen sich bei zwei zu untersuchenden Stichproben der Mann-Whitney-U-Test oder der äquivalente Wilcoxon-Rangsummentest (bei abhängigen Stichproben: Test für Paardifferenzen) benutzen. Bei der Untersuchung mehrerer unabhängiger Variablen wird der Friedman-Test für  $m$  Stichproben eingesetzt. Bei nicht normalverteilten und abhängigen Stichproben wird weder Ausreißer- noch ein Varianztest durchgeführt.

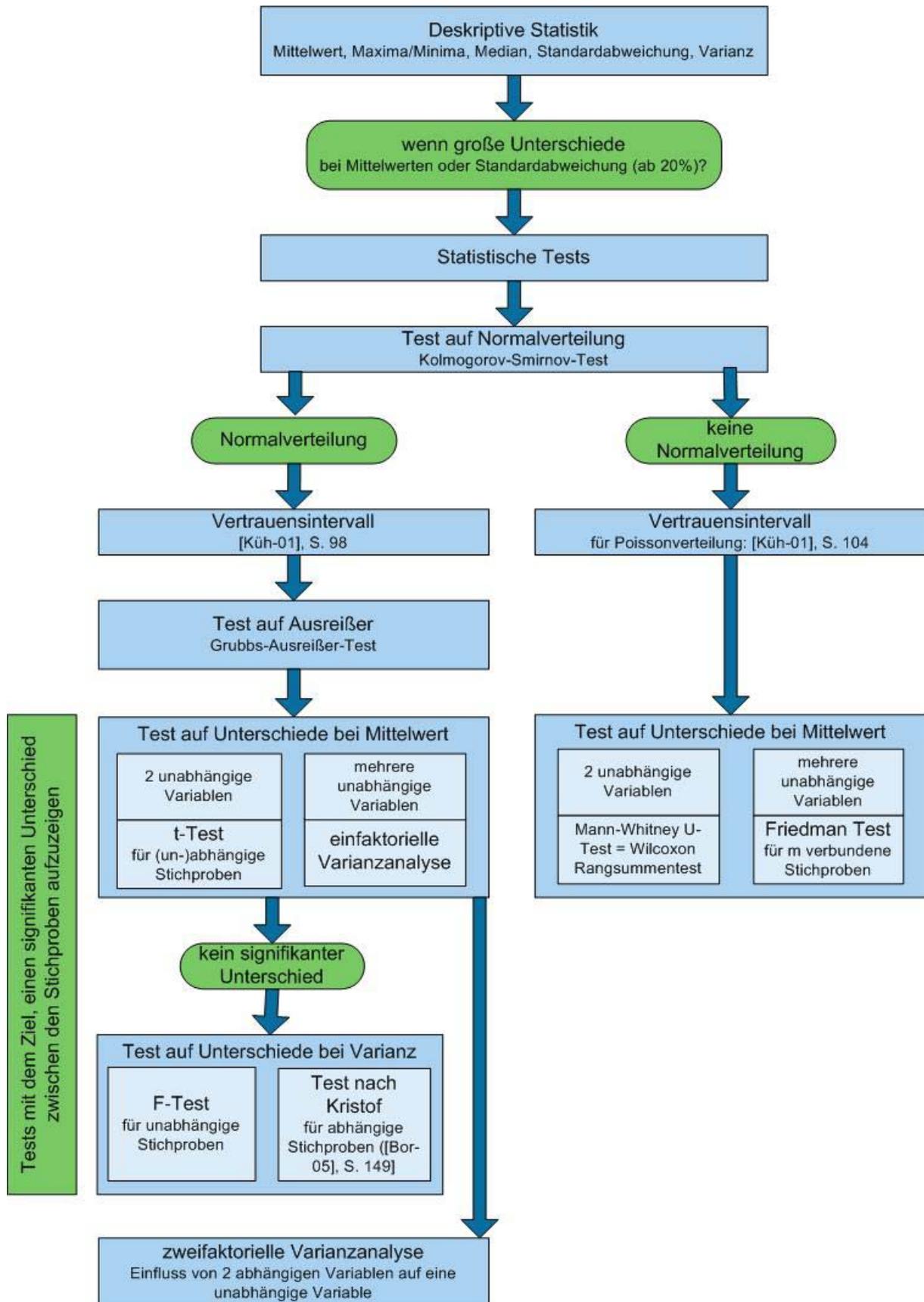


Abbildung 2-4: Vorgehen bei der statistischen Auswertung bei den Versuchsreihen in diesem Projekt

### 2.3.2 Subjektive Beanspruchungskriterien

Es gibt verschiedenste Einflussfaktoren auf die Leistung eines Kommissionierers. Neben physischen Belastungen, v. a. für die Wirbelsäule, sind dies auch psychische Belastungen, die im Folgenden näher betrachtet werden. Kommissionierfehler entstehen in manuellen Systemen vor allem durch Überforderung des Menschen [Vog-97]. In der Kommissionierung wird versucht, die Fehler zum einen durch die optimale Informationsbereitstellung und zum anderen durch Prüfmechanismen, wie z. B. Scannen, das Ansagen von Prüzfziffern oder Wiegen, zu vermeiden. In den Versuchen soll v. a. die Informationsbereitstellung untersucht werden, so dass keine Prüfmechanismen eingesetzt wurden. Neben der Informationsbereitstellung wirken sich auch Stress durch Leistungsspitzen und die geistige Unterforderung negativ auf die Motivation und somit die Leistung aus [Jün-00]. Die Leistung eines Kommissioniersystems kann bis zu +/-20 % von der Motivation der Mitarbeiter geprägt werden [Kwi-93]. Deshalb gilt es den Kommissionierer durch intrinsische (Arbeitsorganisation, Entfaltungsmöglichkeiten etc.) und extrinsische Mittel (Geld, Führung etc.) zu motivieren. Die Kommissionierleistung hängt ebenso sehr stark von der Erfahrung des Kommissionierers ab. Geübte Personen sind im gleichen Lagerbereich um bis zu 2/3 schneller (siehe Abbildung 2-5) [Vog-97]. Das zeigt, dass eine schnelle Anlernphase der Mitarbeiter für die Leistungsfähigkeit eines Kommissioniersystems unerlässlich ist.

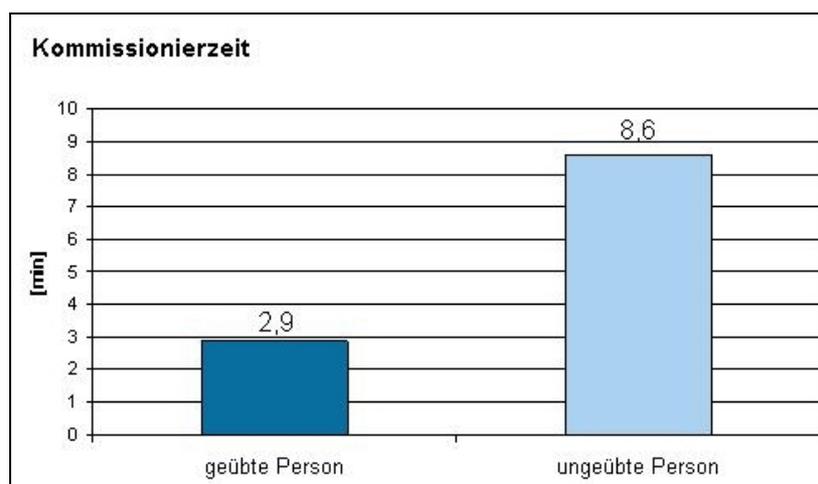


Abbildung 2-5: Beispiel für Kommissionierzeit in Abhängigkeit der Kommissioniererfahrung (nach [Vog-97])

### 2.3.3 Ermittlung der subjektiven Beanspruchungskriterien

Bei der Einführung neuer Technologien ist die Akzeptanz bei den Benutzern ein entscheidender Faktor. Bei Anwendungen mit AR und VR ist es sehr wichtig, die Benutzer nach ihren Eindrücken zu befragen. Dazu wurden in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie der Ludwigs-Maximilians-Universität München Fragebögen ausgearbeitet, die nicht nur die Akzeptanz der Technologien, sondern auch Lerneffekte abfragen. Dabei gibt es einen Grundfragebogen, der die persönlichen Daten erfasst und Fragebögen für die jeweilige Technologie. Die Fragebögen variieren zwischen den Versuchsreihen etwas und finden sich im Anhang C. Ein bestimmter Punkt wird gezielt mit mehreren Fragen abgehandelt. Dies dient dazu eine sicherere Aussage zu treffen, weil der Proband den einen zu untersuchenden Punkt mehrfach bewertet. Jede Frage wird durch Ankreuzen auf einer Skala (in Anlehnung an die Likert-Skala<sup>6</sup>) beantwortet. Die Fragen können positiv oder negativ formuliert sein. Negativ formulierte Fragen wie z. B. „Das Display schränkt die Sicht stark ein“ fordern den Probanden zum Mitdenken auf. Bei der Auswertung ist eine Invertierung der Skala der negativen Fragen vorzunehmen. Die Probanden sollten auch immer die Möglichkeit haben, eigene Anmerkungen zu machen. Ein Punkt der bei der Evaluierung von AR/VR-Systemen herangezogen wird, ist die Erfahrung im Umgang mit diesen Systemen. Erfahrende Probanden sollten besser abschneiden (wie z. B. in [Rei-07], [ScB-07a]). In diesem Projekt ist dies im Punkt 3D-Erfahrung zusammen mit der Erfahrung mit 3D-Visualisierungen und Computerspielen enthalten.

Zur Ermittlung der mentalen Belastung wird gerne der Nasa Task Load Index (TLX): verwendet [Har-88]. Er ist für überwiegend nicht-körperliche Arbeit und somit für die Untersuchung von Suchtechniken konzipiert [Wie-04]. Der Proband muss sechs Kategorien (mentaler Anspruch, physischer Anspruch, zeitlicher Anspruch, Aufwand, Leistung, Frustrationslevel) in einer Skala bewerten [Tan-04]. Der Test eignet sich für die objektive Bewertung, aber seine Einsatzmöglichkeiten bleiben auf ein grobes Screening begrenzt, weil er keine ausreichende Sensitivität für geringere Aufgabenunterschiede aufweist.

---

<sup>6</sup> Likert-Skala: stimme ganz entschieden zu - stimme zu – neutral - stimme nicht zu - stimme ganz und gar nicht zu

## 3 Einsatzszenarien für Pick-by-Vision

In diesem Kapitel werden Einsatzszenarien für ein AR-gestütztes Kommissioniersystem erarbeitet, die Anforderungen aus Sicht der Kommissionierung zusammengestellt und der Kommissionierprozess auf Eigenheiten des Einsatzes von AR untersucht. Mit den daraus gewonnen Erkenntnissen erfolgt die Auswahl der wichtigsten Hard- und Softwarekomponenten.

### 3.1 Einflussfaktoren auf die Einsatzszenarien

Die Bestimmung der relevanten Kommissioniersysteme basiert auf der VDI-Richtlinie 3590 [VDI3590]. Die ausgewählten Systeme werden anhand wichtiger Einflussfaktoren genauer spezifiziert und zu Einsatzszenarien weiterentwickelt.

#### 3.1.1 Auswahl geeigneter Kommissioniersysteme

Die VDI-Richtlinie 3590 unterteilt ein Kommissioniersystem in die Komponenten Organisations-, Materialfluss- und Informationssystem [VDI3590].

##### ***Organisationssystem***

Ein Organisationssystem besteht aus der Aufbau-, der Ablauf- und der Betriebsorganisation [VDI3590]. Die Aufbauorganisation teilt den Kommissionierbereich hinsichtlich der Artikeleigenschaften in mehrere Zonen auf. Die Ablauforganisation bestimmt aufgrund der Auftragsstruktur, wie ein Auftrag das Kommissioniersystem durchläuft. Dabei können die Aufträge nacheinander oder gleichzeitig bzw. einstufig oder mehrstufig bearbeitet werden. Pick-by-Vision kann nicht nur durch optische Unterstützung die Entnahme erleichtern, sondern auch die Ablage in den entsprechenden Sammelbehälter, wenn mehrere Aufträge gleichzeitig abgearbeitet werden. Ähnlich wie bei einem Put-to-Light-System wird der entsprechende Behälter optisch hervorgehoben. Die Betriebsorganisation umfasst die Auftragssteuerung über ein ERP<sup>7</sup>-System bzw.

---

<sup>7</sup> ERP: Enterprise Resource Planning

WMS. Tabelle 3-1 zeigt den Einfluss des Organisationssystems auf den Einsatz von AR.

Teilsystem	Realisierungsmöglichkeiten	Einsatz von AR
Aufbauorganisation	einzonig	kein Einfluss auf die Eignung
	mehrzonig	
Ablauforganisation	einstufig / auftragsorientiert	kein Einfluss auf die Eignung
	mehrstufig / artikelorientiert	kein Einfluss auf die Eignung
	nacheinander	kein Einfluss auf die Eignung
	gleichzeitig	gut geeignet (Ablage)
Betriebsorganisation		kein Einfluss auf die Eignung

**Tabelle 3-1: Einfluss des Organisationssystems auf Pick-by-Vision**

### ***Materialflusssystem***

Ein Materialflusssystem lässt sich in die vier Grundfunktionen Bereitstellung, Fortbewegung, Entnahme und Abgabe untergliedern [VDI3590]. Die wichtigste Ausprägung ist die Bereitstellung, die statisch nach dem Prinzip Mann-zur-Ware (MzW) oder dynamisch nach dem Prinzip Ware-zum-Mann (WzM) erfolgen kann. Die weiteren Einteilungen in zentral und dezentral sowie geordnet und ungeordnet werden nicht weiterverfolgt.

Für die Fortbewegung werden vier Ausprägungen betrachtet.

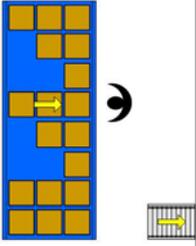
- eindimensional ohne Gangwechsel: Bewegung in einem Gang, z. B. entlang einer Regalzeile
- eindimensional mit Gangwechsel: Bewegung in der Ebene, z. B. zu Fuß oder mit Hubwagen durch die Regalgassen (keine Hubbewegung)
- zweidimensional ohne Gangwechsel: Bewegung in einer Gasse mit der Möglichkeit der Hubbewegung, z. B. auf einem Regalbediengerät (RBG) oder Kommissionierstapler
- zweidimensional mit Gangwechsel: Bewegung durch mehrere Gassen mit der Möglichkeit der Hubbewegung, z. B. (Kommissionier-) Stapler

Die Fortbewegung wird weiter in manuell, mechanisch und automatisch unterteilt. Mechanisch bedeutet, dass der Kommissionierer selbst z. B. auf einem Stapler fährt. In diesem Fall kann er mit AR bei der Wegfindung unterstützt werden. Die automatische Fortbewegung wird nicht betrachtet

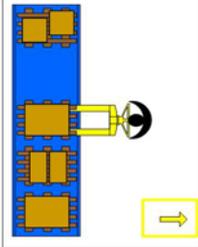
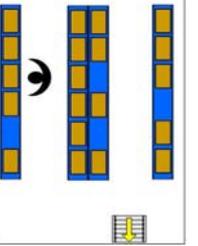
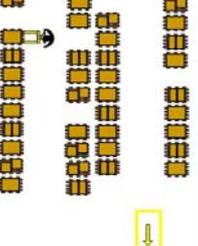
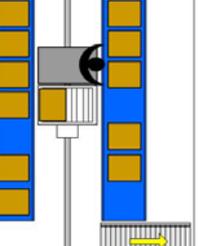
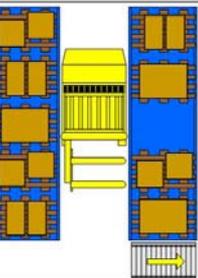
Die Entnahme kann manuell, mechanisch oder automatisch ablaufen. Die automatische Entnahme spielt für Pick-by-Vision ebenso keine Rolle wie die Anzahl der Artikel, die gleichzeitig im Zugriff sind.

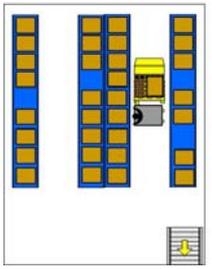
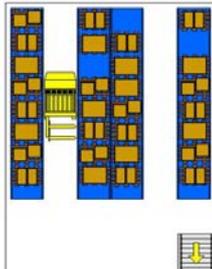
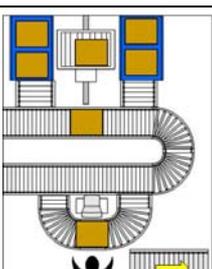
Der Transport der Güter zum Abgabeort wird in zentral oder dezentral aufgeteilt. Bei der dynamischen Abgabe wird der Artikel meist direkt am Entnahmeort auf einem Stetigförderer abgegeben (Pick-to-Belt). Eine AR-Unterstützung ist nicht nötig. Gibt es mehrere statische, dezentrale Abgabeorte, kann AR als Hilfe zum schnelleren Auffinden dienen. Da dies einer statischen, zentralen Abgabe ähnlich ist, wird diese Form der dezentralen Abgabe in dieser Untersuchung als Sonderfall der zentralen Abgabe behandelt.

Aus den verschiedenen Ausprägungen lassen sich Grundtypen für das Materialflusssystem ableiten. Die Grundtypen mit einer dynamischen Bereitstellung und mehrdimensionalen Fortbewegung sind nicht praxisrelevant [Gud-05]. Da es sich um manuelle Systeme handelt, wird die automatische Entnahme ebenso nicht weiter verfolgt wie die mechanische Entnahme an einem stationären Kommissionierarbeitsplatz. Die dezentrale Abgabe wird nur als Sonderfall der zentralen betrachtet. Nach Ausschluss dieser Ausprägungen ergeben sich neun Materialflusssystemgrundtypen für Pick-by-Vision (A bis I, siehe Tabelle 3-2). Die Materialflusstypen können unterschiedlich mit AR durch statische Informationen wie Text (Lagerplatz, Artikelnummer, Entnahmemenge) oder Bilder sowie dynamische Visualisierungen unterstützt werden. Diese Unterstützung lässt sich in drei Arten unterteilen. Eine Wegfindung bietet Hilfe beim Weg zum Lagerort. Das Lagerfach bzw. der Entnahmebehälter kann beim Greifvorgang und nach der Entnahme kann der Ablageort optisch hervorgehoben werden.

Materialflusstypen			mögliche Unterstützungsfunktionen durch AR			
	Schema	Beschreibung	Statisch	Entnahme	Weg	Ablage
A		<ul style="list-style-type: none"> <li>• B: statisch</li> <li>• F: zu Fuß entlang einer Regalzeile</li> <li>• E: manuell</li> </ul>	✓	✓	○	✓

### 3 Einsatzszenarien für Pick-by-Vision

Materialflusstypen			mögliche Unterstützungsfunktionen durch AR			
	Schema	Beschreibung	Statisch	Entnahme	Weg	Ablage
B		<ul style="list-style-type: none"> <li>• B: statisch</li> <li>• F: entlang einer Regalzeile, mit nicht hubfähigem Gerät</li> <li>• E: mechanisch</li> </ul>	✓	✓	○	○
C		<ul style="list-style-type: none"> <li>• B: statisch</li> <li>• F: zu Fuß in xy-Ebene mit Gangwechsel</li> <li>• E: manuell</li> </ul>	✓	✓	✓	✓
D		<ul style="list-style-type: none"> <li>• B: statisch</li> <li>• F: zu Fuß in xy-Ebene mit Gangwechsel mit nicht hubfähigem Gerät</li> <li>• E: mechanisch</li> </ul>	✓	✓	✓	○
E		<ul style="list-style-type: none"> <li>• B: statisch</li> <li>• F: in einer Gasse mit Hubvorrichtung (z. B. RBG)</li> <li>• E: manuell</li> </ul>	✓	✓	✓ (manuell verfahrbar)	✓
F		<ul style="list-style-type: none"> <li>• B: statisch</li> <li>• F: in einer Gasse mit Hubvorrichtung (z. B. Kommissionierstapler)</li> <li>• E: mechanisch</li> </ul>	✓	✓	✓ (manuell verfahrbar)	○

Materialflusstypen		mögliche Unterstützungsfunktionen durch AR				
	Schema	Beschreibung	Statisch	Entnahme	Weg	Ablage
G		<ul style="list-style-type: none"> <li>• B: statisch</li> <li>• F: in mehreren Gassen mit Hubvorrichtung (z. B. Kommissionierstapler)</li> <li>• E: manuelle</li> </ul>	✓	✓	✓ (manuell verfahrbar)	✓
H		<ul style="list-style-type: none"> <li>• B: statisch</li> <li>• F: in mehreren Gassen mit Hubvorrichtung (z. B. Kommissionierstapler)</li> <li>• E: mechanisch</li> </ul>	✓	✓	✓ (manuell verfahrbar)	○
I1		<ul style="list-style-type: none"> <li>• B: dynamisch</li> <li>• F: nulldimensional</li> <li>• E: manuell</li> </ul>	✓	✓	x	✓
I2	Umlaufregallager, Karusselllager	<ul style="list-style-type: none"> <li>• B: dynamisch</li> <li>• F: entlang eines Umlaufregallagers</li> <li>• E: manuell</li> </ul>	✓	✓	○	✓

**Tabelle 3-2: Zusammenfassung der Materialflusstypen für den Einsatz von Pick-by-Vision (B = Bereitstellung, F = Fortbewegung, E = Entnahme)**

### Informationssystem

Das Informationssystem unterteilt sich in die Auftragserfassung, die Auftragsaufbereitung, die Weitergabe und die Quittierung [VDI3590]. Die Erfassung, Aufbereitung und Weitergabe der Aufträge dienen der Vorbereitung der Kommissionierung [Men-99]. Die Art der Erfassung der Kundenaufträge ist für die Kommissioniertechnik irrelevant. Der Auftrag muss für beleglose Kommissioniertechnik wie Pick-by-Vision geeignet aufbereitet werden. Bei der Erstellung von Auftragsgruppen lässt sich mit AR die Ablage der Artikel in den richtigen Behälter unterstützen. Die Weitergabe der Informationen an den Lager- und Kommissionierbereich kann bei Pick-by-Vision be-

leglos online in Echtzeit oder ggf. offline erfolgen. Ob eine Einzelposition oder mehrere Positionen kommissioniert werden, spielt keine Rolle. Die Quittierung kann je Entnahmeeinheit, je Position oder über alle Positionen in Kombination mit einer 100 % Kontrolle am Ende erfolgen. Bei der manuellen Quittierung bei Pick-by-Vision sind alle drei Varianten möglich und werden mit dem entsprechenden Eingabegerät manuell ausgeführt. Der Einfluss des Informationssystems ist in Tabelle 3-3 zusammengefasst.

Grundfunktion	Realisierungsmöglichkeiten	Einsatz von AR
Auftragserfassung	manuell	kein Einfluss auf die Eignung
	automatisch	
Auftragsaufbereitung	Einzelauftrag	kein Einfluss auf die Eignung
	Teilaufträge	kein Einfluss auf die Eignung
	Auftragsgruppen	gut geeignet
	keine	Auftragsaufbereitung für Pick-by-Vision unbedingt notwendig
	manuell	
	automatisch	
Weitergabe	papierlos	papierlos
	mit Papier	
	Einzelposition	beides ist möglich
	mehrere Positionen	
Quittierung	je Entnahmeeinheit	kein Einfluss auf die Eignung
	je Position	
	je Auftrag	
	manuell	manuell bei Pick-by-Vision
	manuell/automatisch	
	automatisch	

Tabelle 3-3: Übersicht über den Einfluss des Informationssystems bei Pick-by-Vision

### 3.1.2 Lagerstruktur, Sortiment, Auftragsstruktur

In diesem Kapitel werden weitere Einflussfaktoren auf die Einsatzmöglichkeiten von AR in der Kommissionierung aufgezeigt, um die Szenarien genauer zu spezifizieren.

#### **Lagereinheit**

Wenn ganze, standardisierte Lagereinheiten wie Paletten oder Behälter kommissioniert werden, ist oft eine Automatisierung möglich. Wird dagegen von oder aus Lagereinheiten sowie ohne Lagereinheit kommissioniert, ist eine manuelle Entnahme

erforderlich, weil der Mensch mit seinen motorischen Fähigkeiten und seiner Flexibilität nicht zu ersetzen ist. Dabei ist der Einsatz von AR sinnvoll. Als weiterer Einflussfaktor der Lagereinheit ist deren Größe zu sehen, denn diese hat Auswirkungen auf die benötigte Genauigkeit des Trackingsystems. Bei kleinen Lagereinheiten können Abweichungen von wenigen Zentimetern schon zu Fehlern führen, während dies bei der optischen Hervorhebung einer Palette geringere Folgen hat.

### Lagertypen

Es gibt zwei unterschiedliche Arten von Lagersystemen. Die statische Lagerung ist oft mit statischer Kommissionierung verbunden und der Kommissionierer bewegt sich zur Ware. Die Kommissionierung erfolgt meist manuell und AR kann zur Unterstützung des Greifvorgangs und der Wegfindung eingesetzt werden. Bei der dynamischen Lagerung wird die Ware zum Kommissionierer transportiert. Bei feststehenden Regalen und bewegter Ware entspricht dies dem WzM-Prinzip und der Kommissionierer wird an seinem stationären Arbeitsplatz unterstützt. Der dahinterliegende Lagertyp ist irrelevant. Bei bewegten Regalen und MzW ist eine Unterstützung des Greifvorgangs und der Wegfindung möglich. Die Kommissionierung erfolgt v. a. ein-dimensional entlang von Durchlauf-, Umlauf- oder Verschiebebodenregalen. Tabelle 3-4 zeigt die Eignung verschiedener Lagertypen für den Einsatz von Pick-by-Vision.

sehr gut geeignet	geeignet	nicht geeignet
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachbodenregallager</li> <li>• Durchlaufregallager (manuell bedient)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenlagerung</li> <li>• Block-/Zeilenlager</li> <li>• Einfahrregallager</li> <li>• Kragarmregallager</li> <li>• Durchlaufregallager (mechanisierte Bedienung mit Flurförderzeug)</li> <li>• Paletten-/Hochregallager (mechanisierte Bedienung mit Flurförderzeug)</li> <li>• Verschieberegallager</li> <li>• Umlaufregallager</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Paletten-) Hochregallager (automatisch bedient)</li> <li>• Behälterregallager (AKL)</li> <li>• Tunnelregallager</li> <li>• Einschubregallager</li> </ul>

Tabelle 3-4: Eignung von bestimmten Lagertypen für Pick-by-Vision

### Lagergröße

Je größer die Lagerfläche ist und je mehr Entnahmeplätze vorhanden sind, desto schwieriger ist es für den Kommissionierer, sich im Lager zu orientieren und den Lagerort eines bestimmten Artikels zu finden. Der Einsatz von AR zur Visualisierung der optimalen Kommissionierroute ist in diesem Fall sinnvoll. Mit der Größe des La-

gers steigt der Wegzeitanteil und somit der Vorteil von AR, dass während des Weges die Informationen bereits abgelesen werden können. Auf den Pickvorgang hat die Lagergröße keinen Einfluss.

#### ***Entfernung zwischen den Entnahmestellen***

Je größer die durchschnittlichen Entfernungen zwischen zwei Entnahmestellen sind, desto wichtiger ist es, dass sich der Kommissionierer auf einer optimalen Route durch das Lager bewegt. Der Einsatz von Pick-by-Vision zur Vorgabe des optimalen Weges ist sinnvoll, wenn die Entfernungen zwischen den Entnahmeorten sehr groß sind. Bei großen Entfernungen können die Informationen bereits auf dem Weg zum nächsten Lagerort abgelesen werden. Bei PbV führen kurze Entfernungen zu einem Zeitverlust, weil die Sprachausgabe nur sequentiell erfolgt. Bei Pick-by-Vision können dagegen Informationen parallel angezeigt werden. So lassen sich Weg- und Pickinformation gleichzeitig darstellen. Mit zunehmender Entfernung zwischen den Entnahmestellen nimmt der Wegzeitanteil an der Gesamtkommissionierzeit zu. Damit sinkt der Anteil der durch Pick-by-Vision stark reduzierbaren Totzeit.

#### ***Bediengeräte***

Bei mechanisierten Geräten bewegt sich der Kommissionierer auf diesen und entnimmt damit die Artikel. Dies entspricht der Kommissionierung ganzer Paletten mit einem Gabelstapler. Geräte, die den Kommissionierer automatisch fortbewegen, bieten kein Potenzial für die Wegfindung, aber für den Greifvorgang. Dies ist besonders bei Man-up-Geräten wie Kommissionierstaplern oder RBG der Fall. Generell ist der Einsatz von Datenbrillen im Umfeld und zur Bedienung von Flurförderzeugen möglich, aber je nach Auswahl der Datenbrille und der angezeigten Daten aus arbeitsschutzrechtlicher Sicht zu untersuchen.

#### ***Artikelstruktur und Sortiment***

Der Einsatz von AR bietet Potenziale, wenn die Artikel im Greifraum des Kommissionierers optisch unterscheidbar sind. Die Anzeige eines Artikelbildes im HMD kann den Kommissionierer bei der Auswahl des richtigen Teils unterstützen und Verwechslungen vermeiden. Sehen die Artikel ähnlich aus, z. B. Schrauben verschiedener Größe, kann durch die optische Hervorhebung des Lagerfachs sicher gestellt werden, dass der Kommissionierer ins richtige Lagerfach greift. Handelt es sich bei

den zu kommissionierenden Artikeln um Gefahrgut oder ist aus anderen Gründen, z. B. wegen einer Druckempfindlichkeit, eine besondere Handhabung notwendig, können entsprechende Warnhinweise im HMD eingeblendet werden. Der Einsatz von Pick-by-Vision führt zu umso größeren Zeit-, Kosten- und Qualitätsvorteilen, je größer das Sortiment ist, aus dem kommissioniert wird. Mit zunehmender Artikelzahl ist es für den Kommissionierer nicht mehr möglich, die Entnahmeorte aller Artikel und die Artikel selbst, auswendig zu kennen. Ein AR-System unterstützt den Kommissionierer, indem es ihm den Entnahmeort und ein Artikelbild anzeigt. Wenn die Artikel nach ihrem Absatz in Schnell- und Langsamläufer eingeteilt sind, eignet sich der Einsatz von Pick-by-Vision zur Reduzierung von Tot- und Wegzeiten vor allem für die Kommissionierung der Langsamläufer. Wegen der seltenen Zugriffe auf diese Artikel sind dem Kommissionierer deren Entnahmeorte kaum bekannt. Dagegen muss der Kommissionierer z. B. mehrmals in der Stunde auf Schnellläufer zugreifen. Die Entnahmeorte dieser Artikel sind ihm daher nach kurzer Zeit vertraut und die AR-unterstützte Wegfindung bringt keine Zeitvorteile.

#### ***Auftragsstruktur***

Es werden die Anzahl der Aufträge pro Periode und die Anzahl der Positionen bzw. Entnahmeeinheiten pro Auftrag betrachtet. Tendenziell wird die Anzahl der Positionen pro Auftrag geringer, während die Anzahl der Aufträge steigt [Lün-05]. Die Eignung von Pick-by-Vision ist unabhängig von der Anzahl an Positionen pro Auftrag. Der einzige Einfluss ist, dass bei einer großen Anzahl Positionen und der Anzeige des gesamten Auftrags durch die Liste gescrollt werden muss und somit zusätzliche Interaktionen nötig sind. Die durch Pick-by-Vision erzielbaren Zeitvorteile beziehen sich sowohl auf die pro kommissionierter Position anfallenden Tot- und Wegzeiten, als auch auf die pro Auftrag anfallende Basiszeit. Aus Sicht der Kommissionierkosten eignet sich Pick-by-Vision insbesondere bei einer großen Zahl von Aufträgen pro Periode. Je mehr Aufträge mit dem AR-System bearbeitet werden, desto geringer sind die mit der Investition des Systems verbundenen anteiligen Kosten pro Auftrag.

#### ***Zusammenfassung***

Die in diesem Kapitel aufgeführten Faktoren hinsichtlich Lagerstruktur, Sortiment und Auftragsstruktur haben unterschiedliche Einflüsse auf den Einsatz von Pick-by-Vision, die in Tabelle 3-5 dargestellt sind.

Einflussfaktoren	Aussagen zur Eignung von Pick-by-Vision
<b>Lagerstrukturdaten</b>	
Lagerfläche	je größer, desto mehr Unterstützung nötig (v. a. Wegfindung)
Anzahl der Entnahmeplätze	je mehr, desto mehr Unterstützung nötig (Wegfindung, aber auch Hervorhebung Lagerplatz)
Entfernungen zwischen den Entnahmemeorten	bei großen Entfernungen, hoher Wegzeitanteil; bei kleinen Entfernungen wird Totzeitanteil reduziert
Bereitstelleinheiten / Lagereinheiten	kein großer Einfluss (Hervorhebung von ganzen Paletten)
Lagereinrichtung	v. a. Fachbodenregallager und Durchlaufregallager
Lagerbedienung	am besten bei manueller Bedienung; auf Bediengeräten kann Monitor installiert sein (aber auch HMD möglich)
<b>Artikel- und Sortimentsdaten</b>	
Unterscheidbarkeit der Artikel	gute Unterscheidbarkeit => Hervorhebung Lagerfach schlechte Unterscheidbarkeit => Unterstützung durch Bild
Gefahrgut, besonderer Handhabung	Anzeige von (Warn-)Hinweisen
Sortimentsgröße	großes Sortiment => mehr Unterstützung notwendig
Schnell-/Langsamläufer	für beide geeignet
<b>Auftragsstrukturdaten</b>	
Anzahl von Aufträgen pro Periode	je mehr Aufträge desto geringere Kosten pro Auftrag (Amortisation)
Anzahl von Positionen pro Auftrag	Einblenden der nächsten Position, aber auch des gesamten Auftrags möglich (bei großen Aufträge Scrollen nötig)

Tabelle 3-5: Zusammenfassung der Einflussfaktoren auf den Einsatz von Pick-by-Vision

### 3.1.3 Einbeziehung der Kommissionierstrategien

Es lassen sich die Belegungs-, die Reserveplatz-, die Bearbeitungs-, die Entnahme-, die Bewegungs-, die Nachschub- und die Leergutstrategie unterscheiden [Gud-05]. Die Nachschub- und die Leergutstrategie haben keinen direkten Einfluss auf Pick-by-Vision. Die Bewegungs- und Entnahmestrategien werden vom WMS übernommen, aber das AR-System kann diese mit der entsprechenden Visualisierung unterstützen.

#### **Belegungsstrategie**

Die Artikel können einem Lagerplatz fest zugeordnet sein (statisch) oder nach einer bestimmten Strategie in freien Lagerplätzen bereitgestellt werden (dynamisch, chaotische Lagerung). AR hat bei chaotischer Lagerung größeres Potenzial, denn selbst der erfahrene Mitarbeiter braucht Hilfe beim Auffinden der ständig wechselnden Lagerorte. Wird eine Schnellläuferkonzentration vorgenommen, ist der Wegzeitanteil in diesem Bereich geringer. Eine gezielte Führung zu diesen Lagerplätzen kann die Kommissionierung beschleunigen. Bei Langsamläufern bestehen ein hoher Wegzeit-

anteil und eine geringe Zugriffshäufigkeit, so dass eine Wegfindung mit AR Vorteile bringt. Bei der artikelgemischten Bereitstellung bietet AR Möglichkeiten die einzelnen Artikel, z. B. durch Bilder, besser zu unterscheiden.

### **Reserveplatzstrategie**

AR bietet hier dieselben Potenziale wie bei der Belegungsstrategie. Beim Flip-Flop-Verfahren<sup>8</sup> kann gezielt die Entnahmeeinheit hervorgehoben werden, um sie von der Reserveeinheit abzugrenzen. Das starre Flip-Flop-Verfahren lässt sich mit Pick-by-Vision unterstützen. Ist eine Bereitstellereinheit aufgebraucht, wird der Kommissionierer vom AR-System zur Reserve-Bereitstellereinheit geleitet.

### **Bearbeitungsstrategie**

Pick-by-Vision ist ein belegloses System, das online eingesetzt wird und die Echtzeitverarbeitung unterstützt. Es stellt auch bei der Stapelverarbeitung (floating oder fixed batch) die Auftragsdaten dar. Die Aufbereitung der Daten erfolgt vorher durch ein EDV-System. Beim parallelen Bearbeiten von Aufträgen lässt sich der jeweilige Ablageort optisch hervorheben und die Abarbeitung von Eilaufträgen kann sich durch eine spezielle Visualisierung unterscheiden.

### **Zusammenfassung des Einflusses der Kommissionierstrategien**

Der Einsatz von Pick-by-Vision wird vor allem durch die Belegungs-, die Reserveplatz und die Bearbeitungsstrategie beeinflusst (siehe Tabelle 3-6).

Strategie	Eignung	Potenziale von AR
Belegungsstrategie	✓	v. a. bei chaotischer Lagerung ist eine visuelle Unterstützung hilfreich; bei statischer ist AR für neue Mitarbeiter hilfreich
Reserveplatzstrategie	✓	analog Belegung sowie zusätzlich Unterscheidung Bereitstellereinheit - Reserveeinheit
Bearbeitungsstrategie	✓	online; unterstützt paralleles Bearbeiten von Aufträgen; Hervorhebung von Eilaufträgen
Entnahmestrategie:	○	visuelles Hervorheben des Artikels; kein direkter Einfluss
Bewegungsstrategie:	○	WMS gibt Weg vor; AR unterstützt nur die Wegfindung
Nachschubstrategie	✓	kann genauso gut für Nachschub eingesetzt werden
Leergutstrategien:	○	keinen Einfluss durch Strategie, aber visuelle Unterstützung

**Tabelle 3-6: Zusammenfassung des Einflusses der Kommissionierstrategien**

<sup>8</sup> starres Flip-Flop-Verfahren: Jeder Artikel hat im Zugriffsbereich mindestens zwei fest zugeordnete Bereitstellplätze, auf denen neben- oder hintereinander eine angebrochene Zugriffseinheit und eine volle Zugriffsreserveeinheit stehen [Gud-05].

## 3.2 Spezifizierung der Einsatzszenarien

Ausgehend von den Materialflusstypen A bis I werden die Szenarien A bis I genauer beschrieben. Die Spezifizierung erfolgte nach Beispielen aus der Fachliteratur, nach Erfahrungen aus der Praxis und durch Besichtigung von Lager- und Kommissionierbereichen bei Projektpartnern. Es wird weder der Nachschub noch das Leerbehältermanagement in die Spezifikation mit einbezogen.

### **Szenario A**

In einem Fachbodenregallager werden die Artikel in Behältern, direkt im Regal oder auf Paletten bereitgestellt. Ein sehr häufiger Anwendungsfall ist der Einsatz eines Durchlaufregallagers für die Kommissionierung von Schnelldrehern (typischer Anwendungsbereich für PbL). Der kleine Kommissionierbereich erstreckt sich nur entlang einer Zeile bzw. innerhalb eines U-förmigen Kommissioniernests und die Entfernung zwischen den Lagerplätzen ist sehr gering. Unabhängig vom Lagertyp stehen ein oder mehrere Artikel in freier Lagerplatzanordnung im Zugriff. Es handelt sich dabei meist um Schnelldreher aus einem kleinen bis mittleren Sortiment (bezogen auf den Kommissionierbereich, 100 Artikel). Dies sind vor allem Kleinteile, mit einer großen Vielfalt, d. h. ähnliche und sehr verschiedene Artikel. Es wird auftragsorientiert kommissioniert und die Aufträge enthalten nur wenige Positionen (1 bis 5).

### **Szenario B**

In Bodenlagerung werden ungestapelte Paletten in freier Lagerplatzanordnung bereitgestellt und z. B. mit einem Stapler ganze Ladeeinheiten mechanisch kommissioniert. Es ist nur eine Palette im Zugriff. In dem kleinen Kommissionierbereich wird entlang einer Reihe von Ladeeinheiten bei geringen Entfernungen zwischen den Lagerplätzen gearbeitet. Das Sortiment ist klein und besteht aus Schnelldrehern. Es wird auftragsorientiert kommissioniert und pro Auftrag ist nur eine Position, die gesamte Palette, aufgeführt.

### **Szenario C**

In einem Fachbodenregallager werden die Artikel in Behältern, direkt im Regal oder auf einer Palette (siehe Szenario A) bereitgestellt. Der große Kommissionierbereich erstreckt sich über mehrere Gassen und somit ergeben sich mittlere bis große Entfernungen zwischen den Lagerplätzen. Unabhängig vom Lagertyp stehen ein oder

mehrere Artikel in freier Lagerplatzanordnung im Zugriff. Es handelt sich um Schnell- und Langsamdreher aus einem mittleren bis großen Sortiment (1.000 Artikel). Dies sind kleine bis mittelgroße Teile, mit einer großen Vielfalt. Es wird auftrags-, aber auch artikelorientiert kommissioniert, d. h. dass paralleles Kommissionieren mehrerer Aufträge möglich ist. Die Aufträge umfassen eine kleine bis mittlere Anzahl an Positionen (2 bis 10).

#### **Szenario D**

In Boden-Zeilen-Lagerung werden ungestapelte Paletten in freier Lagerplatzanordnung bereitgestellt und ganze Ladeeinheiten mechanisch kommissioniert. In dem großen Lagerbereich wird in mehreren Gassen bei mittleren und großen Entfernungen zwischen den Lagerplätzen gearbeitet. Bei dem mittelgroßen Sortiment handelt es sich meist um Schnelldreher. Es werden auftragsorientiert ganze Paletten kommissioniert.

#### **Szenario E**

Die Artikel werden meist in einem Palettenregal, aber auch in Behälterregalen in freier Lagerplatzanordnung bereitgestellt. Es stehen ein oder mehrere Artikel im Zugriff. Die Fortbewegung in einer Gasse über mehrere Ebenen erfolgt mechanisch unterstützt. Durch den Zugriff auf mehrere Ebenen vergrößern sich der Kommissionierbereich und die Entfernung zwischen den Lagerorten im Vergleich zu Szenario A. Aus einem mittelgroßen bis großem Sortiment mit großer Vielfalt werden mittelgroße Teile kommissioniert, die eher Schnelldrehern zuzuordnen sind. Die Kommissionierung erfolgt auftragsorientiert mit einer kleinen bis mittleren Anzahl an Positionen pro Auftrag. Es werden oft mehrere Aufträge parallel in verschiedenen, auf dem Flurförderzeug angeordnete Behälter kommissioniert.

#### **Szenario F**

In einem Palettenhochregallager werden ganze Ladeeinheiten mit einem Hochregalstapler mechanisch unterstützt kommissioniert. Dabei ist jeweils nur eine Palette in freier Lagerplatzanordnung im Zugriff. Dadurch dass mehrere Ebenen angefahren werden können, vergrößern sich der Kommissionierbereich und die Entfernung zwischen den Lagerplätzen gegenüber Szenario B. Im Lagerbereich wird ein mittelgroßes bis großes Sortiment von Schnelldrehern bereitgestellt. Es wird auftragsorientiert

kommissioniert und pro Auftrag wird nur eine komplette Palette ausgelagert. Dieser Anwendungsfall dient in der Praxis meist weniger als Kommissionier-, sondern als Reservelager.

#### **Szenario G**

Die Artikel werden in einem Hochregallager auf Paletten oder in Behältern in freier Lagerplatzanordnung bereitgestellt. Es befinden sich ein oder auch mehrere Artikel im Zugriff. Der Kommissionierer fährt auf einem Flurförderzeug, z. B. einem Kommissionierstapler, durch die Gassen und kommissioniert in eine auf dem Gerät bereitgestellte Sammeleinheit. Er deckt einen großen Lagerbereich mit mittleren bis großen Entfernungen zwischen den Lagerplätzen ab. Es werden mittelgroße Teile aus einem mittelgroßen bis großen Sortiment mit einer großen Vielfalt kommissioniert. Das Lager enthält Langsamdreher oder Artikel nach der ABC-Verteilung. Es wird auftrags-, aber auch artikelorientiert kommissioniert, d. h. dass paralleles Kommissionieren mehrerer Aufträge möglich ist. Die Aufträge umfassen eine kleine bis mittlere Anzahl an Positionen.

#### **Szenario H**

In einem Palettenregallager mit freier Lagerplatzzuordnung werden ganze Paletten mit Hilfe eines Staplers kommissioniert. Dabei ist nur eine Palette im Zugriff. In dem großen Lagerbereich mit mehreren Gassen sind mittelgroße bis große Entfernungen zwischen den Lagerplätzen zurückzulegen. Es werden mittelgroße Teile aus einem mittelgroßen bis großen Sortiment kommissioniert. Das Lager enthält Langsamdreher oder Artikel nach der ABC-Verteilung. Es wird auftragsorientiert kommissioniert und pro Auftrag wird eine komplette Palette ausgelagert. Dieses Szenario wird in der Praxis meist weniger als Kommissionier-, sondern als Reservelager eingesetzt

#### **Szenario I1**

Die Bereitstellereinheiten (Behälter) werden über Fördertechnik aus dem Lagerbereich zum Kommissionierer transportiert. Er entnimmt die Artikel und legt sie in eine Sammeleinheit. Da ihm auch mehrere Entnahmebehälter gleichzeitig zur Verfügung gestellt werden können, handelt es sich um eine freie Lagerplatzanordnung, bei der ein oder auch mehrere Artikel im Zugriff sind. Bei diesem stationären Kommissionierarbeitsplatz fallen keine Wege an. Es werden Kleinteile großer Vielfalt, die von ähnli-

chen bis sehr verschiedenen Artikel reichen können, aus einem mittelgroßen bis großen Sortiment von Schnell- und Langsamdrehern gehandhabt. Die Kommissionierung erfolgt sowohl auftrags- wie artikelorientiert mit einer mittleren bis hohen Anzahl von Positionen pro Auftrag. Auch die parallele Bearbeitung mehrerer Aufträge ist möglich. AR bietet hierfür das Potenzial sowohl den Entnahme- wie auch den Ablagebehälter optisch hervorzuheben.

### **Szenario I2**

In einem Karusselllager stehen ein oder mehrere Artikel in freier Lagerplatzzuordnung bereit. Der Arbeitsbereich des Kommissionierers ist klein und er bewegt sich nur vor dem Karusselllager. Es werden Kleinteile mit großer Vielfalt aus einem mittelgroßen Sortiment von Langsam- und Schnelldrehern kommissioniert. Die Kommissionierung der geringen bis mittleren Anzahl von Positionen erfolgt auftragsorientiert.

### **Zusammenfassung der zehn Szenarien**

In diesem Kapitel wurden die Einsatzszenarien für Pick-by-Vision genauer spezifiziert. Tabelle 3-7 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse.

	Spezifizierung der Szenarien				
	Lager-einheit	Lager-einrichtung	Wege für Kommissionierer	Artikelstruktur und Sortiment	Auftragsstruktur
<b>A</b>	Behälter, Palette, ohne LHM	Durchlaufregal, Bodenlagerung	kleine Fläche, kurze Entfernungen	Kleinteile, mittleres Sortiment, Schnelldreher	wenige Pos./Auftrag, auftragsorientiert
<b>B</b>	Palette	Bodenlagerung	kleine Fläche, kurze Entfernungen	Paletten, kleines Sortiment, Schnelldreher	eine Pos./Auftrag, auftragsorientiert
<b>C</b>	Behälter, Palette, ohne LHM	Fachboden-, Verschieberegale, Bodenlagerung;	große Fläche, mittlere bis große Entfernungen	Kleinteile, mittleres bis großes Sortiment, Langsamdreher	wenige bis mittlere Anzahl Pos./Auftrag, auftrags- und artikelorientiert
<b>D</b>	Palette	Bodenlagerung	große Fläche, mittlere bis große Entfernungen	Palette, mittelgroßes Sortiment, Schnelldreher	eine Pos./Auftrag, auftragsorientiert
<b>E</b>	Palette, Behälter	Hochregallager (für Paletten oder Behälter)	mechanisch unterstützte Fortbewegung, mittlere Entfernung	mittelgroße Teile, mittleres bis großes Sortiment, Schnelldreher	wenige bis mittlere Anzahl Pos./Auftrag, auftragsorientiert, mehrere Aufträge
<b>F</b>	Palette	Palettenhochregallager, Block-/ Zeilenlager	mechanisch unterstützte Fortbewegung, mittlere Entfernung	Palette, mittleres bis großes Sortiment, Schnelldreher	eine Pos./Auftrag, auftragsorientiert
<b>G</b>	Behälter, Palette	Hochregallager (für Paletten oder Behälter)	mechanisch unterstützte Fortbewegung, mittlere bis	mittlere Teile, mittleres bis großes Sortiment, Langsamdre-	wenige bis mittlere Anzahl Pos./Auftrag, auftrags- und artikel-

Spezifizierung der Szenarien					
	Lager- einheit	Lager- einrichtung	Wege für Kommis- sionierer	Artikelstruktur und Sortiment	Auftragsstruktur
			große Entfernung	her bzw. ABC- Verteilung	orientiert
H	Palette	Paletten- hochregallager, Block-/ Zeilenla- ger	mechanisch unter- stützte Fortbewe- gung, mittlere bis große Entfernung	Palette, mittleres bis großes Sortiment, Langsamdreher bzw. ABC-Verteilung	eine Pos./Auftrag, auftragsorientiert
I1	standar- disiert, da WzM	egal (z. B. AKL, Tunnelregal)	keine	Kleinteile, mittleres bis großes Sorti- ment, Schnell- und Langsamdreher	mittlere bis große An- zahl Pos./Auftrag, auftrags- und artikel- orientiert
I2	Behälter, ohne LHM	Umlaufregal- lager	kleine Fläche, kurze Entfernungen	Kleinteile, mittleres Sortiment, Schnell- und Langsamdreher	wenige bis mittlere Anzahl Pos./Auftrag, auftragsorientiert

Tabelle 3-7: Zusammenfassung der Spezifizierung der zehn Szenarien

### 3.3 Auswahl der Einsatzszenarien

Zunächst müssen geeignete Bewertungskriterien für eine Auswahl der Einsatzszenarien von Pick-by-Vision gefunden werden, die v. a. auf die Potenziale hinsichtlich der Steigerung der Leistung (bzw. Reduzierung der Kommissionierzeit) und die Vermeidung von Fehlern abzielen. Es sollen aber auch Aspekte der technischen Umsetzbarkeit und der arbeitsphysiologischen Unbedenklichkeit betrachtet werden.

#### 3.3.1 Bewertungskriterien

##### ***Kommissionierzeit***

Es werden die Kommissionierzeit und ihre Bestandteile Weg-, Basis- und Totzeit betrachtet. Die Wegzeit lässt sich durch eine entsprechende Visualisierung beeinflussen. Totzeiten lassen sich einsparen, weil die Suche des nächsten Lagerplatzes unterstützt wird und die Informationsaufnahme parallel zur Bewegung zum Entnahmepunkt erfolgt. Die Basiszeit reduziert sich durch den Wegfall von Tätigkeiten wie z. B. der Annahme und Abgabe der Pickliste.

##### ***Kommissionierfehler***

Eine Reduzierung von Kommissionierfehlern kann durch die visuelle Unterstützung beim Auffinden des richtigen Lagerorts und Ablageorts erreicht werden. Eine Artikel-

beschreibung und ein Bild helfen, Verwechslungen bei der Entnahme vorzubeugen und falsch einsortierte Artikel zu entdecken [Dan-05]. Das Bild kann bei der Kommissionierung von Artikel hilfreich sein, die sich aufgrund eines bestimmten Merkmals unterscheiden. Dieses Merkmal kann im Bild zusätzlich hervorgehoben werden.

#### ***Technische Umsetzbarkeit***

Bei der technischen Umsetzbarkeit spielen viele Faktoren eine Rolle. Einer ist die Verfügbarkeit geeigneter Datenbrillen und Trackingsysteme. Es ist zu bewerten, ob für das Szenario ein Tracking entscheidende Vorteile bringt, wie genau es sein muss oder wie groß der Abdeckungsbereich ist. Die Größe des Abdeckungsbereichs hat auch einen Einfluss auf den Einsatz drahtloser Funktechnologien, um eine online-Anbindung des Systems zu realisieren. Außerdem ist zu betrachten, mit welchem Aufwand sich ein Pick-by-Vision-System in die übliche Infrastruktur eines Lagerbereichs integrieren lässt.

#### ***Arbeitsicherheit und Ergonomie***

Die Mitarbeiter sollen durch Pick-by-Vision von körperlicher und geistiger Arbeit entlastet und nicht zusätzlich belastet werden. Genaue Richtlinien zum Einsatz von Datenbrillen in Lagerumgebungen gibt es nicht. Arbeitsschutz und Mediziner schließen aber Datenbrillen mit kleinen Monitoren vor den Augen im Umfeld mit Staplerbetrieb aus, weil eine Verdeckung des Blickfeldes zu einer erhöhten Unfallgefahr führen würde [Bra-05].

#### ***Erhöhung der Flexibilität***

Die Flexibilität lässt sich durch den Einsatz von neuen Mitarbeitern in bestehenden Kommissionierbereichen oder von Mitarbeitern in neuen Bereichen aufgrund geringer Einarbeitungszeiten erhöhen. Die Layoutflexibilität, d. h. die Möglichkeit Lagerbereiche schneller zu ändern, spielt eine weitere Rolle. So gelten Kommissionierbereiche mit PbL als unflexibel, weil alle Lagerfächer mit den stationären Displays ausgestattet werden müssen.

Daraus werden folgende neun Bewertungskriterien abgeleitet:

- Reduzierung der Wegzeit durch visuell unterstützte Wegfindung (1)

- Reduzierung der Totzeit durch Einsparung der Suchzeiten und Parallelisierung von Tätigkeiten (2)
- Reduzierung der Basiszeit durch den Wegfall unnützer Tätigkeiten (3)
- Reduzierung der Kommissionierfehler durch:
  - Einblenden von Bildern (4)
  - optisches Hervorheben des Lagerplatzes (5)
  - optisches Hervorheben des Ablageplatzes (6)
- technische Umsetzbarkeit (7)
- Arbeitsicherheit und Ergonomie (8)
- Erhöhung der Flexibilität (9)

#### 3.3.2 Ergebnisse der Auswahl der Einsatzszenarien

Als Bewertungsverfahren wurde eine Nutzwertanalyse mit den neun Bewertungskriterien durchgeführt (siehe Anhang A). Bei der Nutzwertanalyse flossen auch die Vorteile des AR-Einsatzes im Vergleich mit herkömmlich eingesetzten Techniken ein. Die Nutzwertanalyse brachte folgende Reihenfolge für die Eignung des AR-Einsatzes hervor:

- Das **Szenario C** hat das größte Optimierungspotenzial, weil alle Vorteile von AR zur kontextspezifischen Informationsbereitstellung genutzt werden können. Aufgrund des großen Bereichs für das Tracking dürfte dieses Konzept am schwierigsten umzusetzen sein.
- In **Szenario I1** birgt AR ebenfalls ein sehr großes Optimierungspotenzial. Es ist keine Wegzeit vorhanden, da es sich um einen stationären Kommissionierarbeitsplatz handelt. Dafür ist eine starke Reduzierung von Totzeiten möglich, weil sowohl der Entnahmeort als auch der Ablageort optisch hervorgehoben werden können.
- **Szenario G** entspricht Szenario C, nur dass der Mitarbeiter sich auf einem Hilfsmittel bewegt, das auch eine Hubbewegung ermöglicht. Da der Mitarbeiter bei der Bewegung unterstützt wird, ist hier das Potenzial der Wegfindung geringer.
- **Szenario A** bietet wenig Potenziale für die Wegfindung. Aber AR kann hier eine flexiblere Lösung zu PbL sein, die ebenfalls den optischen Sinn nutzt. Es

ist nur ein relativ kleiner Kommissionierbereich durch das Tracking abzudecken.

- **Szenario D** entspricht Szenario C, nur dass ganze Paletten kommissioniert werden. Dabei ist das Potenzial der Anzeige von Bildern gering und eine Hervorhebung von Lagerfächern nicht möglich. Deshalb müssten die Palettenplätze markiert oder die Paletten getrackt werden.
- **Szenario I2** entspricht fast dem Ablauf von Szenario A. Das Potenzial zur Reduzierung der Totzeiten ist aber wesentlich geringer.
- **Szenario B** entspricht Szenario A, nur dass ganze Paletten kommissioniert werden. Es birgt kein Potenzial für die Wegfindung. Außerdem bestehen die gleichen Probleme mit dem Tracking wie bei Szenario D.
- **Szenario E** ist mit Szenario A vergleichbar, aber eine Reduzierung der Wegzeit ist kaum zu erwarten, weil die Fortbewegung auf einem Flurförderzeug erfolgt
- Die **Szenarien F** und **H** haben kaum Verbesserungspotenzial. Der Mitarbeiter ist auf dem Stapler durch ein Terminal gut unterstützt. Ein Vorteil von AR, die optische Hervorhebung des Lagerfachs, kann in diesem Fall sogar negativ sein, da die Kabine des Staplers einen umfassenden Rundumblick verhindert.

Es schnitten die Systeme am besten ab, die eine manuelle Fortbewegung und Entnahme aufweisen. In diesen Szenarien führt der Mensch noch alle Tätigkeiten selbst aus und muss somit optimal mit Informationen versorgt werden. Die Fortbewegung mit Flurförderzeugen birgt zwar Potenzial wie das einfachere Tracking des Geräts, aber der Einsatz einer Datenbrille ist aus Gründen des Arbeitsschutzes zu riskant. Szenarien mit mechanischer Entnahme bieten wenig Potenziale, weil jeweils nur eine Ladeinheit kommissioniert wird. Im Weiteren werden die Szenarien A, C und I1 betrachtet. Szenario G entspricht Szenario C mit dem Einsatz eines Flurförderzeugs. I1 wird als Beispiel für ein WzM-System weiter verfolgt. Im Folgenden tragen die Szenarien die Bezeichnungen K1, K2 und K3 für C, I1 und A.

### 3.4 Anforderungsanalyse

Beruhend auf den ermittelten Einsatzszenarien werden die Anforderungen an ein AR-gestütztes Kommissioniersystem erarbeitet und in einem Lastenheft zusammengefasst. Das System wird in die Teilbereiche Hardware und Software aufgeteilt und entsprechende Anforderungen an die Komponenten gestellt (siehe Abbildung 3-1). Die wichtigsten Komponenten der Hardware sind das Visualisierungsmedium Datenbrille, das Interaktionsgerät zur Eingabe von Daten in das System, sowie das Trackingsystem. Auch bei der Software sind die Darstellung der Information im HMD und das Interaktionskonzept die entscheidenden Punkte. Um Pick-by-Vision in den Informationsfluss eines Unternehmens einzubinden, ist darauf zu achten, dass eine einfache Anbindung an ein WMS möglich ist. Aus dem Kommissionierprozess lassen sich Anforderungen hinsichtlich der anzuzeigenden Daten (wann, wo, was) ableiten. Da die Mitarbeiterakzeptanz ein unerlässlicher Faktor ist, damit sich eine neue Technik in der Praxis etabliert, werden Anforderungen aus Sicht des Mitarbeiters aufgenommen. Im Punkt „Sonstiges“ sind noch weitere verschiedene Anforderungen zusammengefasst. Das Lastenheft mit Erläuterungen zu den einzelnen Punkten befindet sich im Anhang B dieses Forschungsberichts.

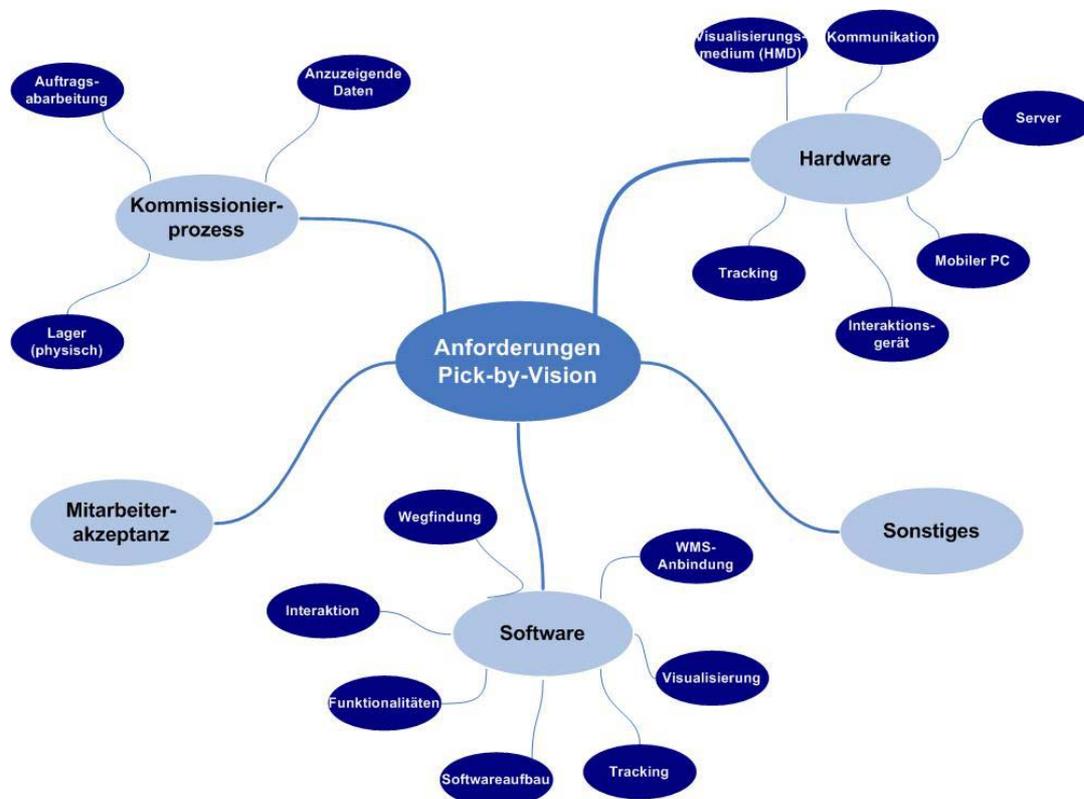


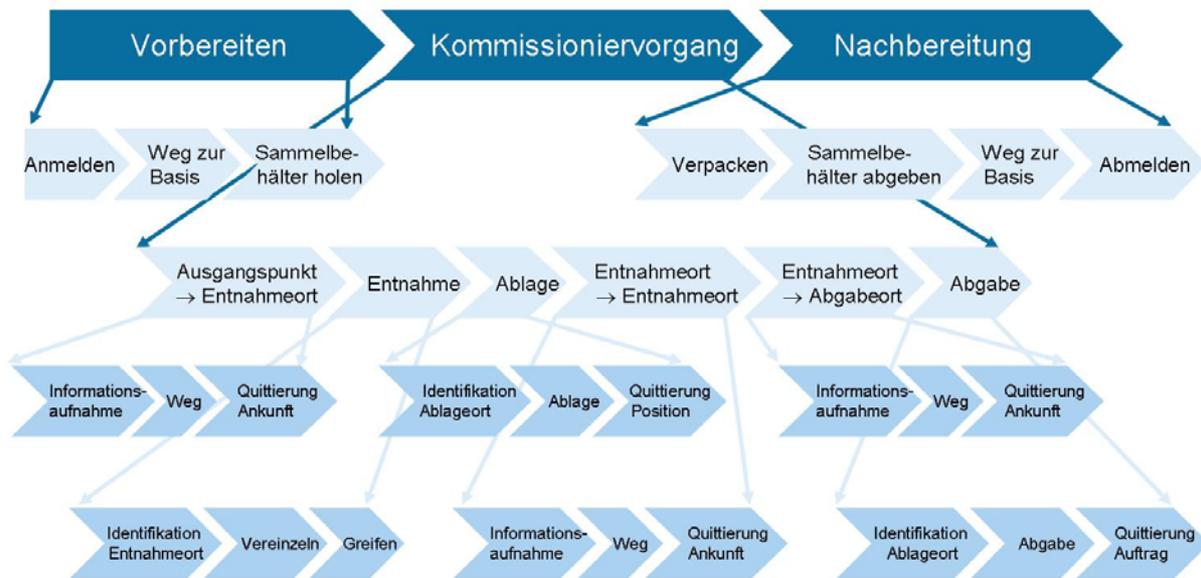
Abbildung 3-1: Einteilung Anforderungen an Pick-by-Vision

## 3.5 AR-unterstützter Kommissionierprozess

In diesem Kapitel wird zunächst ein von Kommissioniertechniken unabhängiger Kommissionierprozess aufgestellt. Anschließend erfolgt eine Übertragung auf die AR-unterstützte Kommissionierung und die Hinterlegung der benötigten Informationen und Interaktionen für jeden Prozessschritt. Abschließend wird der Kommissionierprozess für die drei ausgewählten Szenarien spezifiziert.

### 3.5.1 Allgemeiner Kommissionierprozess

Der Kommissionierprozess lässt sich in die drei große Bausteine Vorbereiten, den eigentlichen Kommissioniervorgang und die Nachbereitung zerlegen [Vog-97]. Unter Vorbereitung werden Aufgaben verstanden, wie das Anmelden des Kommissionierers, der Weg zur Basis oder das Holen eines Sammelbehälters. Der Kommissioniervorgang lässt sich in den Weg vom Ausgangspunkt zum Entnahmeort, die Wege zwischen den Entnahmeorten und dem Weg zum Abgabeort sowie die Entnahme, die Ablage in den Sammelbehälter und die Abgabe des Auftrags unterteilen. Die Wege vom Ausgangspunkt und zum Abgabeort sowie die Abgabe sind einmalige Schritte während eines Kommissioniervorgangs. Die Entnahme, die Ablage und die Wege zwischen den Entnahmeorten erfolgen mehrfach und iterativ. Diese Bausteine lassen sich noch weiter unterteilen. Die „Weg-Bausteine“ sind alle gleich aufgebaut. Der Kommissionierer braucht zunächst die Information, wohin er gehen muss, dann erfolgt die eigentliche Bewegung und die Ankunft am entsprechenden Zielort muss er quittieren. Bei der Entnahme erfolgt zuerst die Identifikation des entsprechenden Lagerorts bevor der Artikel ggf. vereinzelt und gegriffen sowie in einem fließenden Übergang abgelegt wird, wobei der Ablageort identifiziert werden muss. Dieser Prozess kann je nach Entnahmemenge ebenfalls mehrfach erfolgen. Je nachdem, ob nach jeder Entnahme oder nach jeder Position quittiert werden muss, ist ein Baustein für die Quittierung vorzusehen. Im Weiteren wird von einer Quittierung einer ganzen Position ausgegangen. Nach der Identifizierung des Abgabeorts erfolgen die Abgabe und eine Quittierung des Auftrags. Zur Nachbereitung des Auftrags gehören z. B. die Abgabe des Sammelbehälters, die Verpackung des Auftrags, der Weg zurück zur Basis oder auch das Abmelden vom System. Das Verpacken wird nicht weiter betrachtet. Eine Übersicht über die einzelnen Bausteine bietet Abbildung 3-2. In der Abbildung werden Iterationen zwischen einzelnen Schritten nicht berücksichtigt.



**Abbildung 3-2: Allgemeiner Kommissionierprozess**

Es müssen nicht bei jedem Kommissioniersystem alle Prozessschritte durchlaufen werden und es ist für eine genauere Betrachtung auch möglich, die Schritte weiter zu unterteilen. Dies ist allerdings für diesen Anwendungsfall nicht nötig. Da einige Prozessschritte identisch sind, werden sie zusammengefasst. Die verschiedenen zu betrachtenden Prozessschritte sind:

1. Anmelden an das System
2. Weg zur Basis
3. Sammelbehälter holen
4. Informationsaufnahme Entnahmeort
5. Weg zum Entnahmeort
6. Quittierung Ankunft (am Entnahmeort oder bei der Abgabe)
7. Identifikation Entnahmeort
8. Vereinzeln der Artikel
9. Greifen der Artikel
10. Identifikation Ablageort
11. Ablage
12. Quittierung Position
13. Identifikation Abgabeort
14. Abgabe
15. Quittierung Auftrag

16. Abgabe Sammelbehälter

17. Abmelden

### 3.5.2 Informationen und Interaktionen im Kommissionierprozess

Zu jedem der 17 Prozessschritte werden in Tabelle 3-8 die benötigten Informationen und Interaktionen dargestellt. Die Informationen und vor allem die Interaktionen sind unabhängig von der Kommissioniertechnik und den möglichen Visualisierungsmedien und Interaktionsgeräten.

Prozessschritt	nötige Informationen	zu erledigende Interaktionen
1. Anmelden	Tätigkeiten für Login (z. B. Eingabe von Name und Passwort, Scannen des Ausweises etc.)	je nach Anweisung (z. B. Name und Passwort eingeben; Scannen des Ausweises etc.)
2. Weg zur Basis	Wegbeschreibung zur Basis; was ist an der Basis zu tun; Auftragsnummer, ggf. Termin	Ausführen der Aufgaben
3. Sammelbehälter holen	Ort, Nummer des Behälters	Scannen des Barcodes
4. Informationsaufnahme Entnahmeort	wohin muss gegangen werden (Angabe des Entnahmeorts)	-
5. Weg zum Entnahmeort	Wegbeschreibung bzw. Unterstützung bei Wegfindung, Lagerfachnummer	-
6. Quittierung Ankunft	„Bitte Ankunft bestätigen“, Lagerfachnummer	Ankunft quittieren
7. Identifikation Entnahmeort	Entnahmeort anzeigen, Lagerfachnummer, Artikelnummer	-
8. Vereinzeln	Anzahl Entnahmeeinheiten (bzw. Greifeinheiten), Artikelnummer, Bild; ggf. Information, dass er die Artikel vereinzeln muss	-
9. Greifen	Anzahl Entnahmeeinheiten, Bild	-
10. Identifikation Ablageort	Ort, an dem der Artikel abgelegt werden muss (v. a. wichtig bei mehreren Möglichkeiten)	es kann möglich sein, dass der Ablageort gescannt werden muss
11. Ablage	-	-
12. Quittierung Position	„Bitte quittieren“, Artikelnummer, Menge	Entnahme quittieren
13. Identifikation Abgabeort	ggf. Weginformationen zum Abgabeort	-
14. Abgabe	-	-
15. Quittierung Auftrag	„bitte Abgabe quittieren“, Auftragsnummer	-
16. Abgabe Sammelbehälter	Ort der Abgabe, evtl. zusätzliche Informationen (z. B. Scannen)	evtl. Scannen des Behälters nötig
17. Abmelden	ggf. Tätigkeiten zum Logout	Ausführen der Informationen

Tabelle 3-8: Informationen und Interaktionen im allgemeinen Kommissionierprozess

### 3.5.3 Kommunikationskonzept für Pick-by-Vision

Bei Pick-by-Vision muss der Kommissionierer nicht mehr zur Basis gehen, denn er ist online in Echtzeit mit dem WMS verbunden (Prozessschritt 2). Alle weiteren Prozessschritte können auch bei einem AR-gestützten Kommissioniersystem auftreten. Es lässt sich festhalten, dass keine wesentlichen Unterschiede zum allgemeinen Kommissionierprozess bestehen. Allerdings kann auf einige Bausteine verzichtet und manche Bausteine können parallelisiert werden, um die Kommissionierzeit zu reduzieren. Im Folgenden werden die Prozessschritte mit den nötigen darzustellenden Informationen und durchzuführenden Interaktionen unabhängig von den Hardwarekomponenten untersucht. Das Kommunikationskonzept dient als Grundlage für das Kapitel 4.2, in dem die GUI und die Interaktion festgelegt werden. Aus den Prozessschritten lässt sich das in Abbildung 3-3 dargestellte Ablaufdiagramm für eine allgemeine AR-unterstützte Kommissionierung ableiten.

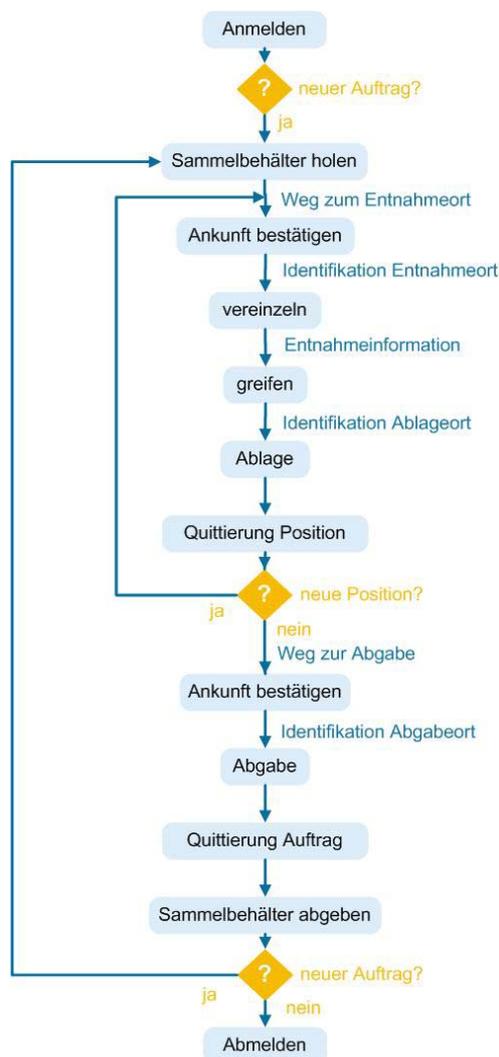


Abbildung 3-3: Ablaufdiagramm für einen AR-gestützten Kommissionierprozess

Neben der Kommissionierung, d. h. dem reinen Zusammenstellen des Auftrags, und dem An- und Abmelden wird das Fehlermanagement in das Kommunikationskonzept einbezogen. Dabei handelt es sich um die Eingabe von Mengenfehlern und des Nulldurchgangs, d. h. dass weniger Teile im Lagerfach liegen als der vom WMS erstellte Kommissionierauftrag vorgibt. Der Nulldurchgang ist neben der Quittierung die wichtigste Interaktion in der Kommissionierung, weil er eine direkte Auswirkung auf die Kommissionierleistung und -qualität hat. Der Auftrag ist nicht vollständig bzw. lässt sich erst durch Nacharbeit komplettieren. Weitere mögliche Fehler, wie z. B. Typfehler, werden nicht betrachtet.

### 3.5.4 Kommunikationskonzept für die ausgewählten Szenarien

Das für jeden Kommissionierprozess mit AR gültige Kommunikationskonzept wird auf die drei ausgewählten Szenarien übertragen. Es werden weiterhin keine Interaktionsgeräte oder Trackingsysteme mit einbezogen. Tabelle 3-9 zeigt eine Übersicht über die einzelnen Prozessschritte und die benötigten Informationen und Interaktionen. Welcher Prozessschritt in welchem der drei ausgewählten Szenarien benötigt wird, ist in der rechten Spalte angegeben.

Prozessschritt	nötige Informationen	zu erledigende Interaktionen	Szenarien
1. Anmelden	Login (Aufforderung zur Eingabe des Namens und des Passworts)	Eingabe (Namen und Passwort)	K1, K2, K3
2. Sammelbehälter holen	Ort, Nummer des Behälters, Auftrag, Auftragsnummer, ggf. Termin	Bestätigung der Aufnahme des Behälters	K1
3. Informationsaufnahme Entnahmeort	Angabe des Entnahmeorts	-	K1, K3
4. Weg zum Entnahmeort	Wegbeschreibung bzw. Unterstützung bei Wegfindung, Lagerfachnummer	-	K1, K3
5. Quittierung Ankunft	„Bitte Ankunft bestätigen“, Lagerfachnummer	Ankunft quittieren	K1, K3
6. Identifikation Entnahmeort	Entnahmeort anzeigen, Lagerfachnummer, Artikelnummer	-	K1, K2, K3
7. Vereinzeln	Anzahl Entnahmeeinheiten; ggf. Information, Artikelnummer, Bild, dass er die Artikel vereinzeln muss	-	K1, K2, K3
8. Greifen	Anzahl Entnahmeeinheiten, Bild	-	K1, K2, K3
9. Identifikation Ablageort	Ort, an dem der Artikel abgelegt werden muss (v. a. wichtig bei mehreren Möglichkeiten)	-	K1, K2

Prozessschritt	nötige Informationen	zu erledigende Interaktionen	Szenarien
10. Ablage	-	-	K1, K2
11. Quittierung Position	„Bitte quittieren“, Artikelnummer, Menge	Entnahme quittieren	K1
12. Identifikation Abgabeort	ggf. Weginformationen zum Abgabeort	-	K1, K3
13. Abgabe	-	-	K1, K3
14. Quittierung Auftrag	„bitte Abgabe quittieren“, Auftragsnummer	-	K1, K2, K3
15. Abgabe Sammelbehälter	Ort der Abgabe, evtl. zusätzliche Informationen (z. B. Scannen)	-	K1
16. Abmelden	ggf. Tätigkeiten zum Abmelden	Ausführen der Informationen	K1, K2, K3

**Tabelle 3-9: Informationen und Interaktionen zum AR-gestützten Kommissionierprozess**

In Szenario K1 bearbeitet der Kommissionierer in einem Fachbodenregallager mehrere Aufträge parallel und entnimmt die Artikel manuell. Er braucht AR-Unterstützung bei der Wegfindung, der Entnahme und der Abgabe. Deshalb durchläuft er alle Schritte des allgemeinen AR-Kommissionierprozesses. In Szenario K2 wird der Kommissionierer an einem stationären Kommissionierarbeitsplatz nach dem WzM-Prinzip mit Artikeln versorgt. Er benötigt keine Weginformationen, aber eine Unterstützung beim Picken und Ablegen. Es können mehrere Aufträge parallel abgearbeitet werden. Da keine Wege anfallen, die Versorgung mit den Sammeleinheiten über Fördertechnik abläuft und die Ablage gleich die Abgabe ist, sind mehrere Schritte aus dem AR-Kommissionierprozess nicht nötig. Im Szenario K3 arbeitet der Kommissionierer entlang eines Durchlaufregals. Er benötigt Informationen zum Weg (nur im Nahbereich) und zum Picken. Zur Ablage steht nur ein Behälter zur Verfügung, der automatisch über Fördertechnik zur Verfügung gestellt wird. Bei allen drei Szenarien können Mengenfehler auftreten. Diese werden jeweils gleich gehandhabt. Dazu sind die in Tabelle 3-10 aufgestellten Prozessschritte nötig.

Prozessschritt	nötige Informationen	zu erledigende Interaktionen
17. Fehler melden	-	dem System mitteilen, dass ein Fehler aufgetreten ist
18. Fehlerart spezifizieren	Welcher Fehler ist aufgetreten? (Auswahl anbieten)	Auswahl des aufgetretenen Fehlers
19. Fehler spezifizieren	Was ist fehlerhaft? (z. B. Wie viele Teile liegen im Lagerfach)	Eingabe des Fehlers (z. B. die Anzahl der tatsächlich im Lagerfach befindlichen Teile)
20. Quittierung Fehler	„Bitte bestätigen Sie die Eingaben“	Bestätigung Eingaben

**Tabelle 3-10: nötige Informationen und Interaktionen zur Eingabe von Fehlmengen bei der AR-unterstützten Kommissionierung**

## 3.6 Recherche geeigneter Hardwarekomponenten

In diesem Kapitel werden die Hardwarekomponenten (Datenbrille, mobiler Rechner, Interaktionsgerät) für ein Pick-by-Vision-System ausgewählt. Die Auswahl des Trackingsystems erfolgt in Kapitel 7.1.2.2. Bei den Softwarekomponenten wird auf Produkte der Projektpartner zurückgegriffen. Als WMS wird PROLAG<sup>®</sup> World der CIM GmbH und als AR-Software der unifeye SDK der metaio GmbH bzw. das Ubitrack Framework des Fachgebiets für Augmented Reality (FAR) der TU München [Hub-07] eingesetzt.

### 3.6.1 Datenbrille

Die Datenbrille ist das wichtigste Element im Pick-by-Vision-System. Sie ist die direkte Schnittstelle zum Benutzer und trägt damit entscheidend zur Akzeptanz des Gesamtsystems bei. Neben der zeitlich und örtlich optimalen Darstellungsweise der Daten sind auch die Ergonomie und die arbeitsphysiologische Unbedenklichkeit des Geräts zu beachten. Der Kommissionierer muss den ganzen Tag, d. h. im Normalfall eine Schicht über acht Stunden, damit arbeiten. Deshalb soll der Tragekomfort hoch sein und die Anzeige ihn nicht ermüden. Des Weiteren sind Aspekte aus dem Einsatz in industriellen Umgebungen, z. B. der Arbeitsschutz, zu berücksichtigen.

Am Markt ist nur eine geringe Auswahl an Datenbrillen mit einer geringen Benutzerakzeptanz verfügbar [Ede-05]. HMDs entsprechen hinsichtlich Größe, Gewicht und darstellbarem Blickfeld<sup>9</sup> noch nicht den Anforderungen eines industriellen Umfelds [Küc-03]. Experten nehmen seit Jahrzehnten an, dass ein Boom um HMDs einsetzen wird, aber er ist noch ausgeblieben. Die Gründe dafür sind die unterschätzte Komplexität und die Zusammenarbeit vieler Disziplinen (Elektrotechnik, Optik, Medizin, Sozialwissenschaften, Psychologie). Es gibt keine gesetzlichen Vorgaben bzw. Richtlinien speziell für HMDs, z. B. eine europäische CE-Kennzeichnung über eine DIN-EN oder in den USA eine Kennzeichnung über UL (Underwriters Laboratories). Über viele mögliche ergonomische Auswirkungen gibt es nur Vermutungen, weil noch keine Langzeituntersuchungen vorliegen.

---

<sup>9</sup> Blickfeld: Wahrnehmungsbereich des Menschen bei ruhendem Kopf, aber mit bewegten Augen [Bok-06]. Kopfbewegungen sind auch durch den Einsatz eines HMD noch notwendig (Umblickfeld).

### 3.6.1.1 Bewertungskriterien für die Auswahl der Datenbrille

Aus der Anforderungsliste aus Kapitel 3.4 und den Kenngrößen für HMDs werden die Bewertungskriterien für die Auswahl abgeleitet.

#### ***Field of View***

Das Field of View (FoV) ist zusammen mit der Auflösung die wichtigste Größe für die Bewertung von HMDs. Unter FoV wird die maximale Größe des Bildes verstanden, in dem ein HMD Informationen darstellen kann (FoV Display, FoVD) bzw. in welchem ein Durchschauen auf die reale Szene möglich ist (FoV Environment, FoVE). Dieses Kriterium bezieht sich auf das FoVD. Es kann der horizontale, der vertikale und/oder der daraus berechenbare diagonale Winkel in Grad angegeben werden. Das menschliche monokulare Blickfeld liegt bei 160° horizontal (Außenseite 100°, Innenseite zur Nase 60°) und 120° vertikal. Binokular erweitert sich das horizontale FoV auf 200° [Mel-97]. Da kein existierendes HMD das Blickfeld des Menschen umfasst, sollte es in horizontaler Richtung 150° und in vertikaler Richtung 60° betragen [Pat-04], wobei derzeitige HMDs nur 30 % des menschlichen Blickfeldes abdecken [Küc-03]. Bei einem kleinen FoVD muss der Mensch seinen Kopf häufiger bewegen, d. h. es ist mehr Zeit für die Informationssuche nötig und dies führt zu Diskomfort und Desorientierung [Mel-97]. Bei der Kommissionierung werden die Auftragsdaten als statischer Text angezeigt. Dafür ist kein großes FoVD nötig. Für die Visualisierung von dynamischen 3D-Daten im Raum, wie dem Hervorheben des Lagerfachs, ist ein großes FoVD von Vorteil. Da das FoVD aufgrund verschiedenster Herstellerangaben meist schlecht vergleichbar ist, kann das FoVD normiert werden, d. h. der Winkel wird auf ein Pixel bezogen [Ber-06].

#### ***Bauform***

Datenbrillen lassen sich in die beiden Bauformen Look-Through- (Durchsichtssysteme) und Look-Around-HMD (Umsichtssysteme) unterteilen. Look-Through-HMD zeichnen sich dadurch aus, dass der Benutzer seine Umwelt komplett durch das HMD wahrnimmt und das gesamte Blickfeld vom HMD bedeckt ist. Sie lassen sich weiter unterteilen in Optical-See-Through- (OST) und Video-See-Through-HMDs (VST). Bei VST-Systemen wird die Umwelt über eine Kamera aufgenommen und über Monitore vor den Augen dargestellt, d. h. der Benutzer sieht ein um die virtuellen Objekte angereichertes Video seiner Umwelt. Bei OST ist das Display halbtrans-

parent und das virtuelle Objekt wird z. B. über einen halbdurchlässigen Spiegel in das Blickfeld des Benutzers projiziert. Er kann auch durch das Display sehen und seine Umwelt wahrnehmen. Bei Look-Around-Geräten wird nur ein Teil des Gesichtsfeldes vom HMD verdeckt. Bei VST erfolgt dies durch einen kleinen, meist auf einem Brillengestell montierten Monitor, auf dem das um virtuelle Informationen erweiterte Kamerabild dargestellt wird. Eine Spezialform von Look-Around-HMD mit OST sind Virtual Retinal Displays (VRD), bei denen mit Hilfe eines Laserstrahls das Bild über einen halbdurchlässigen Spiegel direkt auf die Netzhaut projiziert wird. Das FoVE wird nicht eingeschränkt.

Der vom Menschen einsehbare Bereich (FoVE) kann durch die Bauweise des HMD eingeschränkt werden. Wegen des Arbeitsschutzes ist eine Einschränkung des Blickfeldes nicht zulässig und deshalb werden Look-Through-Systeme mit VST und Look-Around-Geräte im Umfeld mit Staplerbetrieb ausgeschlossen [Bra-05]. Aber auch ohne den Einsatz eines Flurförderzeugs ist bei Look-Through-Geräten mit OST und Look-Around-Geräten zu prüfen, ob das FoVE eingeschränkt wird.

Gegen den Einsatz von VST-Systemen im industriellen Umfeld spricht noch ein weiterer Grund. Bei VST-Systemen besteht eine Latenzzeit zwischen der Realität und den über das Display angezeigten Daten. Diese müssen mit der Kamera aufgenommen, verarbeitet, mit den virtuellen Objekten kombiniert und ausgegeben werden. Der Benutzer nimmt seine Umgebung nicht mehr in Echtzeit wahr und bei einem Ausfall des Systems ist der Mitarbeiter „blind“.

#### **Okularität**

Datenbrillen lassen sich nach der Okularität in monokulare, biokular und binokular Geräte einteilen. Bei monokularen HMDs gibt es nur eine Bildquelle für ein Auge. Der Vorteil liegt darin, dass das zweite Auge die Umgebung in voller Sehschärfe wahrnehmen kann. Da nur die Optik für ein Auge nötig ist, baut es leichter, ist kostengünstiger und einfacher als HMDs, die beide Augen abdecken. Der Nachteil ist, dass keine stereoskopische Darstellung möglich ist, dafür ist aber die Berechnungszeit für die Szene kürzer. Dreidimensionale Effekte müssen mit anderen Methoden erzielt werden. Es kann eine binokulare Rivalität auftreten, weil ein Auge das um virtuelle Objekte angereicherte, reale Bild und das andere Auge nur die reale Umgebung wahrnimmt [Ham-06]. Dies führt zu alternierenden Perioden monokularer Dominanz, d. h. dass das Gehirn abwechselnd das Bild eines Auges bevorzugt. Diese Phasen dau-

ern ein bis zehn Sekunden. Da der Mensch ein dominantes Auge besitzt und er keine bewusste Kontrolle der binokularen Rivalität hat, kann es zu einer Verringerung der visuellen Leistung kommen. Allerdings geben andere Quellen die Vermutung an, dass sich der Mensch daran gewöhnt [Lar-02]. Ein weiteres Problem ist, dass mit einem Auge ständig zwischen dem virtuellen Bild und der Realität gewechselt wird [Ham-06]. Ein gleichzeitiges Scharfstellen auf das reale und das virtuelle Objekt ist nur dann möglich, wenn sich die Projektionsfläche in gleicher Entfernung befindet wie das reale Objekt [Oeh-04].

Bei biokularen HMDs werden mit einer Bildquelle beide Augen angesprochen. Da es nur eine Bildquelle gibt, ist keine räumliche Darstellung möglich. Durch die Integration von Shutter-Gläsern können beide Augen abwechselnd verdunkelt und ein stereoskopischer Effekt erzeugt werden. Die binokulare Rivalität spielt keine Rolle. Bei diesen Brillen ist vor allem auf das FoVD und FoVE sowie das höhere Gewicht zu achten.

Binokulare HMDs besitzen zwei Bildquellen für die Erzeugung eines echten 3D-Bildes mit Tiefenwahrnehmung. Die Bauweise ist schwer, komplex und teuer und es ist eine genaue Berechnung und Kalibrierung durchzuführen. Ein weiteres Problem ist meist die extreme Einschränkung des FoVE. Bei binokularen Displays überschneidet sich das FoVD der beiden monokularen Displays, d. h. dass das gesamte FoVD nicht gleich der Summe der beiden einzelnen FoVD ist.

Es kann keine der drei Arten als bevorzugt angesehen werden, weil alle große Nachteile besitzen. Wenn die HMDs mit den wichtigsten Anforderungen aus Sicht der Kommissionierung miteinander verglichen werden, ist ein monokulares HMD am besten für den Einsatz geeignet. Dies liegt daran, dass sie den ergonomischen Anforderungen eher genügen, auch wenn die Möglichkeiten der Visualisierung eingeschränkt sind.

#### **Auflösung**

Die Auflösung ist neben dem FoV das wichtigste Bewertungskriterium für HMDs. Unter der Auflösung wird die Anzahl der Pixel pro Grad des FoVD verstanden [Mel-97]. Es gibt dabei verschiedenste Wege die Auflösung zu berechnen. Unabhängig von der Berechnung lässt sich sagen, dass ein HMD besser ist, je näher die Auflösung am entsprechenden visuellen Limit (z. B. der Sehstärke des Benutzers) liegt. Um HMDs zu vergleichen, ist es wichtig zu wissen, welche Zählmethode für die Pixel

verwendet wurde. Bei farbigen Displays können alle Pixel oder wegen der drei Farben nur jedes dritte gezählt werden. Deshalb haben monochrome Displays oft eine bessere Auflösung. Die Auflösung spielt auch eine wichtige Rolle für das FoVD. Wenn ein Gesichtsfeld von 150° horizontal und 60° vertikal erreicht werden soll, ist eine Auflösung von 9.000 x 3.600 Pixel nötig [Pat-04], wobei sie allerdings meistens bei 1.024 x 768 oder sogar noch niedriger liegt. Die Auflösung hängt auch von der Bauart und der Projektionstechnologie ab. Bei OST-Systemen nimmt der Benutzer die Realität in der realen Auflösung wahr, während bei VST die Realität in einer bestimmten Auflösung als Video dargestellt wird. Für die Kommissionierung sind die Anforderungen an die Darstellung der Daten nicht sehr hoch.

#### ***Bildwiederholrate***

Unter Bildwiederholfrequenz wird die Vertikalfrequenz, d. h. die Anzahl Bilder, die pro Sekunde komplett neu aufgebaut werden, verstanden. Ab einer Bildwiederholfrequenz von 70 bis 80 Hz ist das Bild für den Menschen flimmerfrei [Oeh-04]. 70 Hz sind für eine Auflösung von 1.024 x 768 nötig. Bei VRD liegt die Bildwiederholfrequenz aufgrund technischer Probleme wie z. B. der Trägheit des Spiegels nur bei 60 Hz. Für 70 Hz bei einer Auflösung von 1.024 x 768 Pixel muss der Laser 70 x 768 Bildpunkte pro Sekunde abfahren, d. h. er muss 53.760 Zeilen pro Sekunde aufbauen. VRD erreichen deshalb nur mit einer Auflösung von 640 x 480 Pixel ein flimmerfreies Bild. CRT<sup>10</sup> verfügen zwischen 70 und 80 Hz und bei LCD<sup>11</sup> spielt die Bildwiederholfrequenz keine so große Rolle, da sie nur die Frequenz wiedergibt, mit der die einzelnen Pixel neu angesteuert werden [Oeh-04]. Zu beachten ist, dass die Bildwiederholrate nur angibt wie schnell das Ausgabegerät das Bild auf dem Display aus dem Bildspeicher aktualisiert. Dazu muss der Szenengenerator dieses Bild ebenso schnell in den Bildspeicher platzieren [Bow-05].

#### ***Größe und Gewicht***

Die Größe und das Gewicht hängen sehr stark von der Bauform ab. So sind biokulare und binokulare schwerer und größer als monokulare HMDs. Ein HMD ist auch leichter, je einfacher es gebaut ist. So sind z. B. monochrome leichter als farbige.

---

<sup>10</sup> CRT (Cathode Ray Tube): Kathodenstrahlröhre

<sup>11</sup> LCD (Liquid Crystal Display): Flüssigkristalldisplay

Auch die Art des Systemträgers (Tragegestell) hat auf die Größe und das Gewicht einen Einfluss. Helme sind schwerer als Brillen. Das Gewicht ist ein entscheidender Faktor, wenn ein HMD über eine gesamte Schicht getragen wird.

#### ***Ergonomie***

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Schwerpunktlage des Displays [Ede-05]. Bei gleichem Gewicht ist ein System umso komfortabler, je näher der Schwerpunkt am Kopfbereich liegt. Für einen optimalen Tragekomfort ist ein nach hinten verlagertes Zentrum des Schwerpunkts wünschenswert, das eine gleichmäßige Gewichtsverteilung auf Nase und Ohren ermöglicht. Helme bieten daher eine bessere Gewichtsverteilung als Brillen. Neben der Schwerpunktlage des Displays wird auch die Anpassbarkeit des Systemträgers an den Menschen einbezogen. Der Benutzer soll am Systemträger Einstellmöglichkeiten haben, um das HMD optimal an seine Kopfform anpassen zu können. Die Kabel, die vom mobilen Rechner zum HMD führen, können den Benutzer stören. Aufgrund der vielen Daten, die übertragen werden, kann das Kabel nicht ersetzt werden. Es gibt aber erste Ansätze, hochauflösende Videosignale per Funk zu übertragen [Kuh-07]. Die Integration von Technik in die Arbeitskleidung (wearable computing) wird die Benutzer weiter entlasten. Vorreiter ist dabei das Militär [Bad-07]. Für eine arbeitsmedizinische Unbedenklichkeit von HMDs existieren keine Richtlinien und Vorgaben. Es werden nur Einzelkomponenten nach bestimmten Richtlinien entwickelt, z. B. das Display, der Laser etc. Vor allem bei VRD werden oft Bedenken geäußert, dass die Projektion eines Lasers mitten auf die Netzhaut eine Gefahr für die Augen sein kann. Um dies auszuschließen, soll der Laser nach IEC 60825-1 als Class 1 Laser zertifiziert sein. Im Kriterium Ergonomie fließen somit die Einstellbarkeit des Systemträgers, die Gewichtsverteilung und die arbeitsmedizinische Unbedenklichkeit (Benutzerstudien, Zertifikate etc.) ein.

#### ***Bildqualität***

Zusammen mit der Auflösung bilden die Schärfe und der Kontrast des Bildes die Bildqualität und bestimmen gleichermaßen die Qualität der Optik [Ede-05].

Das Display soll an die persönlichen Wünsche des Benutzers anpassbar sein (z. B. Kontrast und Helligkeit). Bei einem AR-System gibt es keine definierten Kontrastbedingungen zwischen virtuellem Objekt und Hintergrund. Der Kontrast kann sich sehr

schnell bei Kopf- und Kamerabewegungen ändern [Oeh-04]. Der Kontrast muss vor allem bei OST ständig an die Umgebungsbedingungen angepasst werden.

Bei der Chromatik des Displays gibt es die zwei Möglichkeiten monochrom und farbig. Monochrome Displays haben einen besseren Kontrast, eine höhere Auflösung, sind leichter und kostengünstiger. Eine monochrom rote Farbe ist gut, weil in der Mitte der Fovea, wo die Sehschärfe am besten ist, doppelt so viele rotempfindliche Zapfen wie grünempfindliche sind. Es existieren keine blauempfindlichen Zapfen in der Mitte [Mel-97]. Farbige Displays haben den Vorteil, dass Farbinformationen besser als Formen, Größe oder Helligkeit dazu beitragen, die Suchzeit zu reduzieren. Dazu ist eine farbige Darstellung realistischer [Mel-97]. Für die Kommissionierung sind nicht sehr viele Farben nötig.

#### ***Industrielle Tauglichkeit***

Das System wird in rauen Lagerumgebungen eingesetzt. Das heißt, dass es vor Staub, Spritzwasser und einem Sturz aus 1,5 m Höhe geschützt sein muss und mit Handschuhen bedient werden kann. Für die Datenbrille sollte es Zertifikate über die industriellen Einsatzfähigkeit geben. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Stromversorgung des Geräts durch ein eigenes Netzgerät und ein integrierter Rechner mit genügend Leistung und WLAN<sup>12</sup>-Anschluss. Ein zusätzliches Netzteil oder ein weiterer Rechner sind für den Tragekomfort hinderlich. Muss das HMD direkt an eine Steckdose angeschlossen werden, ist dies ein KO-Kriterium. Die Akkulaufzeit wird ebenfalls miteinbezogen. Diese sollte am besten acht Stunden überdauern, damit es den ganzen Arbeitstag genutzt werden kann. Für die Kommissionierung in Tiefkühlagern muss der Temperaturbereich betrachtet werden.

#### ***Kosten***

Die Kosten der Datenbrille sind ein großer Anteil an den Gesamtkosten eines Pick-by-Vision-Systems. Für Datenbrillen existiert aber noch keinen Massenmarkt. Datenbrillen werden v. a. im Forschungsbereich eingesetzt. Im Consumer-Bereich gibt es erste Videobrillen, die aber für industrielle Anwendungen nicht geeignet sind. Es ist mit einer stetigen Weiterentwicklung und einem breiteren Einsatzgebiet zu rechnen, so dass die Kosten weiter sinken.

---

<sup>12</sup> WLAN: Wireless Local Area Network

### **Zusammenfassung der Bewertungskriterien**

Zwischen den einzelnen Kriterien herrschen oft Zielkonflikte. Beispielsweise ist ein größeres FoVD mit einer größeren Bauweise und somit mehr Gewicht verbunden. Deshalb ist ein Gesamtoptimum für den Anwendungsfall Kommissionierung zu finden. Zuerst werden KO-Kriterien festgelegt, die die Tauglichkeit einer Datenbrille für Pick-by-Vision ausschließt. Look-Through-HMD mit VST werden aus arbeitsschutzrechtlicher Sicht ebenso nicht betrachtet wie Datenbrillen mit einer Auflösung kleiner 640 x 480 Pixel und einem Gewicht von mehr als 500 g. Für die industrielle Tauglichkeit ist eine autonome Stromversorgung entscheidend, so dass ein Kabelanschluss an die Steckdose ausgeschlossen wird. Für die Bewertung der Datenbrillen wurden folgende zehn Entscheidungskriterien festgelegt.

1. Bauart: OST
2. FoVD: möglichst groß
3. Okularität: monokular
4. Auflösung: mindestens 640 x 480 Pixel
5. Bildwiederholfrequenz: mindestens 60 Hz
6. Gewicht: höchstens 250 g (Visualisierungseinheit inklusive Systemträger), ist kein Systemträger dabei werden 100 g (Montage auf Brille) bzw. 150 g hinzugeaddiert
7. Ergonomie: Einstellbarkeit Tragegestell, Schwerpunktlage, arbeitsmedizinische Unbedenklichkeit
8. Bildqualität: Kontrast, Helligkeit, Farbe
9. Industrielle Tauglichkeit: Robustheit, Strom- und Datenanbindung, Temperaturbereich
10. Kosten: maximal 7.000 Euro

#### **3.6.1.2 Auswahl der Datenbrille**

43 HMDs verschiedener Hersteller und Bauart wurden im ersten Schritt nach den KO-Kriterien bewertet, wobei gleich 21 ausgeschlossen werden konnten. Zwei weitere sind nur eine spezielle Anfertigung für das Militär. Fünf werden nicht mehr produziert und es ist kein Support mehr möglich. Zwei HMDs unterscheiden sich nur dadurch, dass es eine OST- und eine VST-Variante gibt. Das VST wird von der Bewertung ausgenommen. Zwei Modelle eines Herstellers sind nahezu identisch, so dass

eines, das speziell für medizinische Anwendungen konzipiert, nicht weiter berücksichtigt wird. Weitere zwei Modelle eines anderen Herstellers sind identisch und unterscheiden sich nur dadurch, dass in das Netzteil eines HMDs ein vollständiger Rechner integriert ist. Dieses wird weiter betrachtet. Folgende zehn Datenbrillen fließen in die abschließende Bewertung ein:

- icuiti M920-CF
- Liteeye LE-750
- Lumus PD-10
- Lumus PD-20-Serie (das PD-25 ist monokular und das PD-26 binokular)
- Microoptical SV-6 PC
- Microvision Nomad ND 2100
- Rockwell Collins Optronics ProView SO35
- Shimadzu Data Glass 2/A
- Sony Glasstron PLM-S 700 (E)
- Zeiss HMD (Prototyp)

Mit Hilfe einer Nutzwertanalyse wurden die Datenbrillen hinsichtlich ihres Einsatzes in der Kommissionierung folgendermaßen bewertet (siehe Anhang A):

- Das **icuiti M920-CF** schneidet am schlechtesten ab, weil es ein Look-Around HMD ist und für den Consumer-Bereich gestaltet wurde.
- Das **Microoptical SV-6 PC** ist ein Look-Around-System, das robuster gebaut ist als das icuiti M920-CF, aber ein kleineres FoVD hat.
- Das **Rockwell Collins Optronics ProView SO35** ist ein sehr gutes HMD, das aufgrund seiner Konzeption für den militärischen Bereich auch robust genug für den industriellen Einsatz ist. Es ist aber das schwerste und teuerste HMD, so dass es nur mittelmäßig abschneidet.
- Das **Sony Glasstron** ist das einzige biokulare HMD. Das FoVD ist klein und der gesamte Sichtbereich sehr eingeschränkt, wie in Untersuchungen festgestellt wurde [Scb-07a]. Außerdem kam es bereits 1999 auf den Markt, ist somit veraltet und wird nicht mehr vom Hersteller unterstützt.
- Das **Liteeye LE-750** ist ein neues, extra für den industriellen Einsatz entwickeltes HMD. Aufgrund der robusten Bauweise ist es relativ schwer und die Halterung des Displays schränkt das FoVE trotz OST ein.

- Das **Shimadzu Data Glass 2/A** schneidet sehr gut ab, weil es vor allem die optischen und die ergonomischen Punkte erfüllt. Allerdings ist es aufgrund der Bauweise nicht für den industriellen Einsatz geeignet. Die Zielgruppe sind die Consumer.
- Die **Lumus PD-20-Serie** wurde auf der Consumer Electronics in Las Vegas 2007 vorgestellt, ist aber bis Ende 2008 noch nicht in den Markt eingeführt worden. Daher sind noch nicht alle Daten vorhanden. Durch seine unauffällige Konstruktion bietet es wohl einen guten Tragekomfort. Diese Brille ist für Consumer-Anwendungen konzipiert und wird aufgrund der späten Markteinführung nicht weiter betrachtet.
- Das **Lumus PD-10** ist bereits auf dem Markt und für den professionellen, allerdings weniger für den industriellen Einsatz konzipiert. Es schneidet sehr gut ab, allerdings sind nicht alle nötigen Daten verfügbar.
- Das **Zeiss HMD** war ein Erfolg versprechender Prototyp. Deswegen sind nicht alle nötigen Daten vorhanden. Es wird nicht weiter betrachtet, da diese OST-Variante nicht weiterentwickelt wird.
- Am besten schneidet das **Microvision Nomad ND2100** ab. Neben der ergonomischen Trageweise überzeugt es vor allem dadurch, dass der Sichtbereich durch die Konstruktion mit dem halbdurchlässigen Spiegel nicht eingeschränkt wird.

Das Ergebnis spiegelt die Meinung der einschlägigen Literatur wider, dass sich für den industriellen Einsatz, der über einen längeren zusammenhängenden Zeitabschnitt erfolgt, eine gewisse Mobilität erfordert und in sicherheitskritischer Umgebung stattfindet, nur kleine monokulare OST- oder Look-Around-Displays eignen ([Alt-03], [Oeh-04], [Pat-04]).

#### 3.6.2 Tragbarer Computer

Bei der ausgewählten Datenbrille Microvision Nomad ND2100 ist das Netzteil in einen tragbaren Computer integriert. Dieser läuft mit dem Betriebssystem Windows CE.Net und hat ein eigenes WLAN-Modul. Dazu ist das Gehäuse industrietauglich ausgelegt. Die großen Tasten und das Touchpad unterstützen dies ebenfalls. Nur das Kabel zwischen dem Rechner und dem HMD ist störend, allerdings ist dies bei

allen HMDs nötig. Die Leistung des Rechners ist für das FM1 ohne Tracking und aufwendige graphische Darstellungen ausreichend. Für das FM2 genügt die Leistung mit dem 400 MHz Intel X-Scale®-Prozessor und das schwer handhabbare Betriebssystem nicht, so dass auf das baugleiche Microvision Nomad ND 2000<sup>13</sup> umgestiegen werden muss, das über einen VGA-Anschluss verfügt. Bei der Auswahl eines dazugehörigen mobilen Rechners muss ein Optimum aus mehreren Zielkonflikten gefunden werden. Je höher die Leistung, desto größer und schwerer baut das Gerät. Handelsübliche mobile Rechner besitzen dazu kein robustes Gehäuse. Es soll ein mehrstündiger Dauerbetrieb unter den jeweiligen Umgebungsbedingungen möglich sein. Dazu ist eine entsprechend lange Akkulaufzeit bzw. die Integration eines einfachen und schnellen Batteriewechselmodus erforderlich. Die meisten handelsüblichen mobilen Rechner haben noch nicht den technischen Stand erreicht, der wünschenswert wäre. Eine kontinuierliche Energieversorgung ist eines der Hauptprobleme. Die Wärmeentwicklung und -ableitung ist ein weiterer Punkt, der oft noch nicht ausreichend geklärt ist.

Für Pick-by-Vision wäre ein kleiner UMPC<sup>14</sup> die ideale Lösung aus ergonomischer Sicht. Alle betrachteten UMPCs verfügen über keinen VGA-Ausgang oder über die benötigten zwei Prozessoren. Somit wurde das Lifebook T4220 von Fujitsu-Siemens ausgewählt. Dies ist ein besonders kleiner, leichter, aber doch leistungsstarker Tablet PC. Die Größe von 37 x 295 x 244 mm und das Gewicht von 2,0 kg sind für den mobilen Einsatz sehr hoch, aber es musste ein Kompromiss zwischen den Zielkonflikten Leistung und Tragbarkeit gefunden werden. Er besitzt einen stromsparenden Intel Core™ 2 Duo Prozessor mit 2,60 GHz mit einer Laufzeit bis zu 7,4 Stunden. Durch den Einbau eines zweiten Akkus lässt sich die Laufzeit auf bis zu 13,2 Stunden erhöhen, wodurch das Gewicht auf 2,3 kg steigt. Es sind WLAN und Bluetooth als kabellose Netzwerkverbindungen integriert. Das Gehäuse ist allerdings nicht industrietauglich ausgelegt.

---

<sup>13</sup> Da sich beide Datenbrillen hinsichtlich der Optik nicht unterscheiden wird im Folgenden nur noch der Ausdruck Nomad verwendet.

<sup>14</sup> UMPC: Ultra Mobile PC

### **3.6.3 Interaktionsgeräte**

Neben der Datenbrille ist das Interaktionsgerät die zweite wichtige Schnittstelle zum Kommissionierer. In der Kommissionierung sind nicht sehr viele Interaktionen nötig. Diese müssen vor der Auswahl eines Interaktionsgeräts genauer bestimmt werden.

#### **3.6.3.1 Benötigte Interaktionen für Pick-by-Vision**

Im Kapitel 3.5.3 wurden die nötigen Systemein- und -ausgaben für ein AR-gestütztes Kommissioniersystem erarbeitet. Nun gilt es festzulegen, auf welche Weise die Eingaben erfolgen und wie dies entsprechende Interaktionsgeräte umsetzen können. Die Anforderungen an die Geräte für mobile Tätigkeiten unterscheiden sich deutlich von denen an Desktop-Geräte. Sie müssen am Körper getragen und in der Bewegung am besten ohne den Einsatz der Hände genutzt werden können. Die Bedienung soll ohne Unterlage erfolgen und darf nicht von der eigentlichen Arbeitsaufgabe ablenken. Es gibt derzeit noch kein angemessenes Eingabegerät für mobile Systeme mit HMD. Es wurden spezielle Mausgeräte, die für die mobile Bedienung optimiert wurden, entwickelt [Rüg-02]. Sie werden dem Anspruch einer effizienten und einfachen Bedienung nicht gerecht. Der wesentliche Grund hierfür ist, dass das feinmotorische Positionieren des Mauszeigers in einem HMD mit bewegtem Hintergrund eine sehr anstrengende, ineffiziente und fehlerträchtige Tätigkeit ist.

Das Interaktionsgerät hängt sehr stark vom Interaktionskonzept ab, d. h. welche Art von Informationen eingegeben werden müssen. Sind dies freier Text, nur einzelne Zeichen, Bestätigungen bzw. Aktivierungen / Deaktivierungen, muss in mehr oder weniger komplexen Menüstrukturen navigiert oder mit anderen Menschen kommuniziert werden. In der Kommissionierung sind nur vier Arten von Eingaben nötig. Die wichtigste ist das Bestätigen von Arbeitsschritten, z. B. für die Quittierung einer Entnahme. Dazu sind der Aufruf und die Bedienung von Menüs nötig, z. B. zur Eingabe von Fehlern. Zur Navigation in Menüs muss nach oben und unten gescrollt und der Menüpunkt ausgewählt werden. Dies erfolgt analog der Interaktion zum Bestätigen. Zum Login und zur Eingabe von Zahlen ist eine Texteingabe nötig. Die Interaktionen für die drei Konzepte zeigt Tabelle 3-11. Eine genaue Ausarbeitung der Interaktion erfolgt in Kapitel 4.2.

Neben den Interaktionen müssen die Randbedingungen beachtet werden. Dabei sind die Geräuschkulisse, die Umgebung (Nässe, Temperatur, Staub), die Arbeitsklei-

derung, Arbeitsschutzmaßnahmen, die Verfügbarkeit der Hände, die nötige Aufmerksamkeit auf die eigentliche Tätigkeit, die Körperhaltung bei der Tätigkeit oder weitere benötigte Werkzeuge zu beachten.

Prozessschritt	Was muss eingegeben werden?	Was wird zur Eingabe benötigt?
Anmelden	Login (Aufforderung zur Eingabe des Namens und des Passworts)	Texteingabe, Bestätigung
Bestätigung, Quittierung	Arbeitsschritt abschließen	Bestätigung
Menüaufruf	es gibt Menüs zum Fehlermanagement, zur Systemsteuerung	Menüaufruf
Menübedienung	Es muss durch die einzelnen Menüs navigiert werden.	Auf- und Abscrollen sowie eine Bestätigung

**Tabelle 3-11: Nötige Eingaben für die für die Kommissionierung nötigen Interaktionsschritte**

### 3.6.3.2 Interaktionsgeräte

Der Markt für mobile Eingabegeräte entwickelt sich erst. Viele Geräte sind Prototypen oder wurden in Forschungsprojekten für spezielle Anwendungen angefertigt [Rüg-02]. Es werden nur Geräte betrachtet, die am Markt erhältlich sind. Deshalb wird auf zukunftssträchtige Technologien wie die Gedankensteuerung oder die Gestenerkennung nicht eingegangen.

#### ***Dreh-/Drückknopf***

Der Dreh-/Drückknopf wurde bereits im ARVIKA-Projekt für AR-Anwendungen benutzt ([Beu-04], [FrW-04]) (siehe Abbildung 3-4). Der Name gibt bereits die beiden Interaktionsmöglichkeiten wieder, nämlich das Drücken und das Drehen des Knopfes. Seine Freiheitsgrade (drehen nach links und rechts, sowie drücken entlang der Achse) lassen sich einfach auf die Benutzerschnittstelle übertragen. Mit intuitivem Drehen kann durch ein 1D-Menü navigiert oder Buchstabenreihen durchlaufen werden. Aufgrund der Größe und der Robustheit ist die Bedienung in industriellen Umfeld ggf. mit Handschuhen möglich. Trotzdem baut er kompakt und wiegt nur 110 g. Der Benutzer muss bei der Bedienung nicht auf das Eingabegerät sehen und der Knopf lässt sich – auch in der Bewegung – einfach, schnell und zielsicher ergreifen. Dennoch führt der Griff zum Knopf zu Zeitverlusten. Er kann einfach an der Bekleidung beispielsweise am Gürtel befestigt werden und über einen USB-Anschluss wird mit dem mobilen Rechner verbunden. Am Gürtel stört er nicht, wenn er nicht benötigt wird. Es ist zu beachten, dass Linkshänder das Gerät anders benutzen als Rechtshänder.



Abbildung 3-4: Dreh-/Drückknopf [Gri-08]



Abbildung 3-5: Mini Click auf dem mobilen Rechner des Nomad

### ***Button / Mini Click***

Für den Einsatz in industriellen Umgebungen eignet sich ein einfacher, großer Klickbutton wie z. B. der USB Mini Click der Firma Tash. Dieser Button kann nur für die Bestätigungen, wie z. B. die Quittierung, eingesetzt werden. Diese Bewegung erfolgt sehr schnell und intuitiv mit einer Hand, so dass kaum Zeitverluste anfallen. Er muss aber mit einem weiteren Interaktionsgerät, z. B. Spracheingabe oder den Tasten am mobilen Rechner des Nomad, kombiniert werden (siehe Abbildung 3-5). Der Button wiegt 70 g, ist kompakt, aber dennoch robust und wird über USB an den mobilen Rechner angeschlossen. Bei einem Feldversuch zum Einsatz von AR in der Kommissionierung wurde dieser Button zur Quittierung benutzt [Bra-05]. Die weiteren Interaktionen erfolgten über die Funktionstasten am mobilen Rechner.

### ***Tasten am mobilen Rechner des Nomad***

Der mobile Rechner des Nomad bietet vier Funktionstasten sowie ein Touchpad, das für Eingaben genutzt werden kann. Beim Nomad wird über die Tasten das Display eingestellt (Helligkeit, Kontrast etc.) und mit dem Touchpad eine virtuell eingeblendete Tastatur bedient. Mit dieser Lösung entstehen keine zusätzlichen Kosten, das Gewicht, die Größe und die Anzahl der Kabel ändern sich nicht. Der Nachteil ist, dass die Tasten sehr klein sind und sich nicht für das industrielle Umfeld eignen, v. a. wenn Interaktionen wie die Quittierung schnell durchgeführt werden müssen. Ein Touchpad lässt sich in industriellen Umgebungen schlecht einsetzen, weil es eine feinmotorische Bedienung voraussetzt. Deswegen wäre eine Kombination mit einem

großen Button, der auf dem mobilen PC befestigt wird, denkbar (siehe Abbildung 3-5).

#### ***Armtastatur***

Tastaturen ermöglichen die Eingabe beliebiger Informationen in Textform, die Eingabe von Befehlen sowie über die Positionstasten die Navigation in Menüs. Armtastaturen sind kleiner und leichter als herkömmliche Tastaturen, werden am Unterarm befestigt und eignen sich für die Verwendung in der Kommissionierung. Armtastaturen wurden bereits in Projekten zum AR-Einsatz in der Kommissionierung verwendet ([Mue-05], [Tüm-08]). Sie haben den Vorteil der sehr schnellen und einfachen Eingabe ganzer Texte. Allerdings werden für die Interaktionen beide Hände bzw. ein Arm und die andere Hand benötigt und der Benutzer muss bei den kleinen Tasten auf die Tastatur sehen. Außerdem können Tastaturen, die am Handgelenk befestigt werden, den Arbeitsschutz beeinträchtigen, weil sie sich beim Griff in ein Regal oder einen Behälter verhaken können. Armtastaturen werden in der Praxis beschädigt, weil das Gerät z. B. beim Griff ins Regal gegen die Regalaufbauten geschlagen wird. Dazu muss noch ein Kabel vom Handgelenk bis zum mobilen Rechner verlegt werden.

#### ***Spracheingabe***

Mit der Sprache interagiert der Mensch am natürlichsten und ohne seine Hände zu benutzen. Die Sprachbedienung ist intuitiv und damit schnell erlernbar. Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Spracheingabesystemen. Diese werden bereits für PbV eingesetzt (siehe Kapitel 2.1.2.4). Pick-by-Vision benötigt nur die Spracheingabe, wofür ein Headset und Software, die auf dem mobilen Rechner läuft, benötigt werden. Das Headset ist über ein Kabel oder bei neueren Geräten über Bluetooth mit dem Controller verbunden. Sprecherabhängige Sprachsysteme sind auf eine geringe Anzahl trainierter Benutzer limitiert und erfordern ein Training am Anfang. Dies ist bei sprecherunabhängigen Systemen nicht nötig. Dafür können aber individuelle Eigenheiten der Sprache (Dialekt, besondere Aussprache) nicht berücksichtigt werden. Durch Sprache lässt sich ein System nahezu beliebig bedienen, allerdings ist bei vielen Systemen der Wortschatz beschränkt. Die Systeme mit kleinem Wortschatz funktionieren sprecherunabhängig sehr gut und eignen sich für die Kommissionierung. Die Sprachbedienung bringt eine Reihe von Restriktionen mit sich. Die Spracherkennungsqualität wird von Nebengeräuschen im Hintergrund beeinträchtigt. Abhilfe

schaffen Spracherkennungssysteme, die alle registrierten Geräusche ignorieren, die unter einem gemessenen Pegel liegen. Dazu werden die Umgebungsgeräusche mit einem Mikrofon gemessen [FrW-04]. Spracheingaben können beispielsweise aufgrund schlechter Aussprache oder phonetischer Ähnlichkeit der Worte (z. B. drei und zwei) nicht verstanden werden. Dies stellt in der Kommissionierung mit der notwendigen Eingabe vieler Zahlen ein Problem dar. Durch Fehlinterpretationen oder Wiederholungen von Befehlen wird die Kommissionierzeit erhöht. Bei guten Systemen kann der Benutzer in Sprachausgaben hineinsprechen und den Vorgang beschleunigen. Eine schlechte Spracherkennung kann auch zur Demotivation führen. Ein weiteres Problem ist, dass das System nicht weiß, ob die Worte an das System oder an einen Mitmenschen gerichtet sind. Dies schränkt die Kommunikation mit den Kollegen ein. Für ein sprachgesteuertes System fallen hohe Kosten für professionelle Softwaresysteme an. Dazu muss noch ein gutes industrietaugliches Headset ggf. mit Bluetooth-Anschluss erworben werden.



Abbildung 3-6: Fingerscanner [Sym-08]



Abbildung 3-7: Ringmouse [Cio-07]

#### **Geräte am Finger**

Es gibt spezielle Geräte für den mobilen Einsatz, die über einen Handschuh oder Ring an einem Finger montiert und mit den anderen Fingern dieser Hand bedient werden. Ein Beispiel dafür ist z. B. die RingMouse der Firma Globlink Technology (siehe Abbildung 3-6). Es sind nicht nur drei Knöpfe angebracht, sondern es können auch die Bewegungsrichtungen einer normalen Maus über das integrierte Trackball Pad ausgeführt werden. Ein Fingerscanner ermöglicht ein Scannen von Barcodes ohne Hände (siehe Abbildung 3-7). Mit dem Scannen kann die Entnahme quittiert

werden, allerdings ist für weitere Interaktionen ein zusätzliches Eingabegerät notwendig. Bei diesen auf den Finger montierten Geräten sind Probleme hinsichtlich des Arbeitsschutzes zu erwarten, weil das Gerät beim Griff in enge Regalfächer mit dem Regal kollidieren oder sich verhaken kann.

### **3.6.3.3 Bewertungskriterien für das Interaktionsgerät**

Das Gerät soll die benötigten Interaktionen Bestätigung/Quittierung, Menüaufruf, Scrollen durch ein Menü sowie die Eingabe von Zahlen und Buchstaben ermöglichen. Ein weiteres Kriterium ist, dass die Bedienung möglichst ohne den Einsatz der Hände erfolgen soll. Dies hat Einfluss auf die Geschwindigkeit, aber auch auf die Handhabung größerer Artikel unter Einsatz beider Hände. Alle oben aufgeführten Interaktionsgeräte müssen nicht immer in der Hand gehalten werden. Das Interaktionsgerät soll sich leicht und mit geringem Aufwand in ein Pick-by-Vision-System integrieren lassen (Umsetzbarkeit). Plug & Play-Lösungen mit einer einfachen Schnittstelle erleichtern das Austauschen von verschiedenen Interaktionsgeräten. In einem weiteren Punkt werden die Elemente der Ergonomie zusammengefasst. Darunter fallen die Größe und das Gewicht, die Montierbarkeit an der Kleidung und der Trage- sowie der Bedienkomfort. Unter der industriellen Tauglichkeit werden die Robustheit, die Einsatzbedingungen (Lärm, Staub etc.) und die arbeitsschutzrechtlichen Bestimmungen (z. B. Verletzungsgefahr) erfasst. Die Kosten dürfen nicht vernachlässigt werden. Somit lassen sich diese Bewertungskriterien zusammenfassen:

1. Bestätigung/Quittierung
2. Menüaufruf
3. Scrollen durch das Menü
4. Buchstaben- und Zahleneingabe
5. Umsetzbarkeit
6. Ergonomie
7. Industrietauglichkeit
8. Kosten

### **3.6.3.4 Auswahl des Interaktionsgeräts**

Als Bewertungsverfahren wird eine Nutzwertanalyse mit vier Interaktionsgeräten durchgeführt (siehe Anhang A). Dies sind die Spracheingabe, ein Dreh-/Drückknopf,

Armtastaturen und die Kombination aus dem Touchpad des Nomad mit den Funktionstasten und dem Button. Armtastaturen eignen sich nicht für den Einsatz in einem AR-gestützten Kommissioniersystem. Die Variante mit dem Button auf dem mobilen PC ist am einfachsten und kostengünstigsten umzusetzen, allerdings ist die Bedienung v. a. des Fehlermanagements und der Systemsteuerung umständlich. Der Dreh-/Drückknopf schneidet vom Preis-Leistungs-Verhältnis am besten ab. Sein Nachteil ist, dass er nicht hands-free bedient werden kann. Die natürliche Spracheingabe wird ebenso gut bewertet, ist allerdings am schwierigsten und mit dem höchsten Aufwand umzusetzen. Der Dreh-/Drückknopf und die Spracheingabe werden im Weiteren als mögliche Interaktionsgeräte für die AR-unterstützte Kommissionierung untersucht.

## 4 Erstellung der Benutzerschnittstelle

Dieses Kapitel gliedert sich in zwei große Abschnitte. Zunächst wird die Wegfindung untersucht, d. h. ob und wie der Mitarbeiter auf seinem Weg durch das Lager unterstützt werden kann. Anschließend wird eine mögliche GUI für ein Pick-by-Vision-System mit allen nötigen Interaktionen erarbeitet. Die Untersuchungen sind zunächst unabhängig von der Datenbrille bevor sie für das Nomad und die ausgewählten Szenarien spezifiziert werden.

### 4.1 Wegfindung

Unter der Wegfindung wird der Vorgang während des Kommissionierprozesses verstanden, bei dem der Kommissionierer die Informationen zum nächsten Lagerplatz erhält und sich zu diesem bewegt. In diesem Kapitel werden Einflussfaktoren, mögliche Visualisierungen sowie Potenziale und Probleme aufgezeigt.

Die Aufträge werden vom WMS wegoptimiert erstellt. Es werden bei allen Evaluierungen die in PROLAG® World standardmäßig hinterlegten Kommissionierstrategien benutzt, so dass diese auf die Ergebnisse keinen Einfluss haben.

#### 4.1.1 Einflussfaktoren auf die Wegfindung

Es gibt eine Reihe von Parametern, die auf die Kommissionierzeit Einfluss nehmen [Arn-05]. Dabei spielen die Größe, die Artikelstruktur und die räumliche Verteilung des Bestands ebenso eine Rolle wie die Anzahl der Auftragspositionen und die Artikelstruktur des Kommissionierauftrages. Die Wegzeit ist eine Funktion der Anzahl Positionen pro Auftrag [Gud-05]. Den größten Einfluss haben Vorgänge, die mit der Entnahme zu tun haben bzw. die mit jeder Auftragsposition verbunden sind. Auf den Wegzeitanteil hat weder die Beschaffenheit der Artikel noch der Bereitstell- oder der Entnahmeeinheiten einen Einfluss, während er sehr stark vom Aufbau des Kommissioniersystems abhängt. Bei einem stationären Kommissionierarbeitsplatz ohne Wege ist eine Unterstützung bei der Wegfindung unnötig. Bei MzW-Systemen ist der Wegzeitanteil vom Menschen beeinflussbar. Deshalb bieten Konzepte, bei denen sich der Kommissionierer zu Fuß oder auf einem manuell gesteuerten Man-up-

Kommissionierstapler durch das Lager bewegt, die größten Potenziale für die AR-unterstützte Wegfindung. Die Lagerplatzanordnung hat keinen Einfluss auf die Wegfindung. Bei fester Lagerplatzanordnung kennt der Kommissionierer nach einer Einlernphase das Lager bzw. die Lagerfachbeschriftung. Auch bei chaotischer Lagerung orientiert sich der Kommissionierer über die gleich bleibenden Lagerplatznummern und nicht über die Artikel selbst. Die Anzahl der Aufträge nimmt weiter zu, während deren Größe abnimmt. Deswegen werden Aufträge immer öfter parallel bearbeitet. Der Basiszeitanteil an der Kommissionierzeit steigt, während der Wegzeitanteil fällt. Der Kommissionier selbst hat mit seiner Motivation, seiner Erfahrung und seinem Leistungsvermögen einen wesentlichen Einfluss auf die Wegzeit. Je besser er sich im Lager auskennt, desto weniger braucht er die Unterstützung bei seinem Weg. Mit viel Erfahrung erkennt er bereits aus der textuellen Beschreibung des Lagerplatzes, wo sich dieser befindet. Bei wenig Erfahrung, die z. B. Mitarbeiter von Logistikdienstleistern oder Leiharbeiter haben, kann es durchaus vorteilhaft sein, diese bei der Wegfindung zu unterstützen. Beim Anlernen neuer Mitarbeitern kann es ebenso hilfreich sein. Eine steile Lernkurve ist auch bei einer häufigen Umgestaltung des Lagerbereichs aus Flexibilitätsgründen sinnvoll.

Grundsätzlich gilt für die AR-unterstützte Wegfindung, je höher der Wegzeitanteil und je größer und komplexer der Lageraufbau, desto hilfreicher ist sie. Die Erfahrung des Mitarbeiters ist ein weiterer wichtiger Einflussfaktor. Tabelle 4-1 fasst die Erkenntnisse zusammen.

Einflussfaktoren	Potenziale der Wegfindung
<b>Kommissioniersystem</b>	
MzW, WzM	bei WzM keine Wegzeit => keine Unterstützung notwendig; bei MzW ja nach Aufbau des Kommissioniersystems hilfreich
Lagerfläche	je größer, desto mehr muss der Mitarbeiter unterstützt werden
Komplexität des Lageraufbaus	je komplexer, desto mehr muss der Mitarbeiter unterstützt werden
Layoutflexibilität	bei häufigem Umbau ist eine Wegfindung hilfreich
Statische / chaotische Lagerung	kein Einfluss, da sich die Mitarbeiter an der gleich bleibenden Lagerfachbeschriftung orientieren
Artikel	Artikeleigenschaften wie Größe, Gewicht etc. haben keinen Einfluss auf die Wegzeit
Bereitstell-/ Entnahmeeinheiten	kein Einfluss auf die Wegzeit
<b>Auftragsstrukturdaten</b>	
Aufträgen pro Periode	Anzahl der Aufträge steigt => Basiszeitanteil steigt, der Wegzeitanteil fällt
Positionen pro Auftrag	Anzahl der Positionen sinkt => Basiszeitanteil steigt

Einflussfaktoren	Potenziale der Wegfindung
<b>Kommissionierstrategien</b>	
parallele Bearbeitung von Aufträgen	Basiszeitanteil steigt, Verkürzung der Wege und des Wegzeitan- teils
<b>Mitarbeiter</b>	
Kommissioniererfahrung	Potenzial bei geringer Erfahrung (z .B. Leiharbeiter)

**Tabelle 4-1: Zusammenfassung der Einflussfaktoren auf die Wegfindung**

## 4.1.2 Graphische Unterstützung der Wegfindung

In diesem Kapitel werden Möglichkeiten zur Darstellung von Weginformationen aufgezeigt. Die optimale Einbettung in die GUI folgt in Kapitel 4.2. Konzepte zur optischen Hervorhebung des Lagerorts werden in Kapitel 7 vorgestellt.

### 4.1.2.1 Text

Jeder Lagerplatz ist durch eine numerische oder alphanumerische Beschriftung eindeutig gekennzeichnet. Auf einer herkömmlichen Kommissionierliste steht ebenso die Lagerfachbezeichnung wie sie bei PbV angesagt wird. Selbst bei PbL ist die Bezeichnung als Backup-Lösung am Lagerfach angebracht. Der Weg zum Lagerplatz kann ähnlich wie bei PbV in „Etappen“ aufgeteilt werden, die der Kommissionierer nach jeder Ankunft bestätigen muss, z. B. nach Eintritt in die Gasse. Diese Aufteilung nimmt Pick-by-Vision den Vorteil, dass der Kommissionierer wegen der visuellen Bereitstellung mehr Informationen aufnehmen kann. Die Angabe von Text ist natürlich und intuitiv. Sie ist im WMS vorgesehen und erfordert weder einen großen Implementierungsaufwand, noch ein Trackingsystem.

### 4.1.2.2 Pfeile

Pfeile sind eine bekannte Metapher zur Anzeige von Richtungen. Es gibt unterschiedlichste Arten, wie Pfeile für die Navigation genutzt werden. Sie können in die vier Himmelsrichtungen zeigen, was in einem zweidimensionalen Display mit den Richtungen oben, unten, links und rechts umgesetzt wird. Mit einem dreidimensionalen Anzeigegerät können die Pfeile im Raum liegen und auf den Zielort zeigen (siehe Abbildung 4-1). Dies bedingt ein Tracking des Benutzers und seiner Blickrichtung.



Abbildung 4-1: ein Pfeil zur Wegfindung

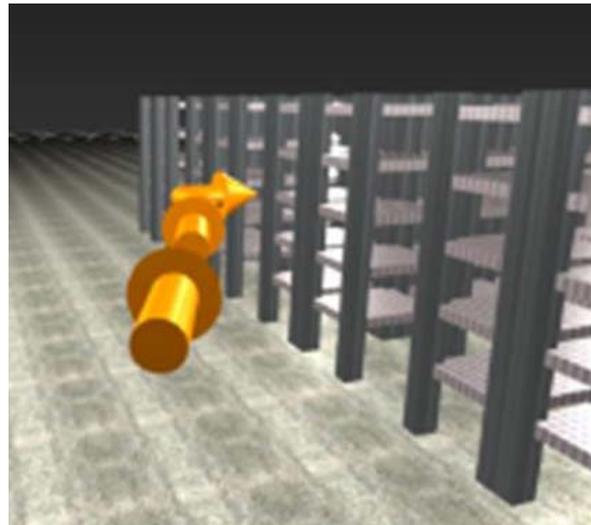


Abbildung 4-2: Vorgabe eines Pfades aus Pfeilen

Wenn ein Pfeil auf einen Endpunkt zeigt, kann dieser verdeckt sein, weil kein direkter Weg zum Endpunkt führt. Der genaue Weg wird dann über Zwischenpunkte angezeigt, wofür die entsprechenden Wegpunkte bekannt sein müssen. Der Weg und mögliche Zwischenpunkte hängen vom Aufbau des Lagers und von der Position des Mitarbeiters ab. Eine Möglichkeit ist, dass ein Pfeil zur nächsten Gasse zeigt und sobald der Kommissionierer die Gasse betritt, zeigt ein Pfeil zum Lagerort. Bei der Pfeildarstellung ist zu beachten, dass das FoVD von HMDs sehr beschränkt ist (z. B. Nomad 23° horizontal, 17,25° vertikal). Es ist somit eine Metapher zur Führung des Blicks notwendig. Die Blickführung kann ein ortsfest im FoVD vor dem Benutzer angezeigter Pfeil sein. Um die weiteren Informationen zu sehen, muss er dem Pfeil folgen. Die Blickführung kann auch realisiert werden, wenn mehrere Pfeile entlang einer bestimmten Bahn in die Richtung weisen. Die Pfeile werden auf Brusthöhe angezeigt, damit der Benutzer sie ohne großes Neigen des Kopfes sieht (siehe Abbildung 4-2). Der Nachteil ist, dass das Bild überladen ist. Um dies zu vermeiden, können die Pfeile auf Bodenhöhe angezeigt werden und zur Hälfte im Boden verschwinden (ähnlich realen Pfeilen, die auf den Boden aufgeklebt sind). Bei dieser Variante muss der Benutzer seinen Kopf stark neigen, wenn er die Informationen braucht.

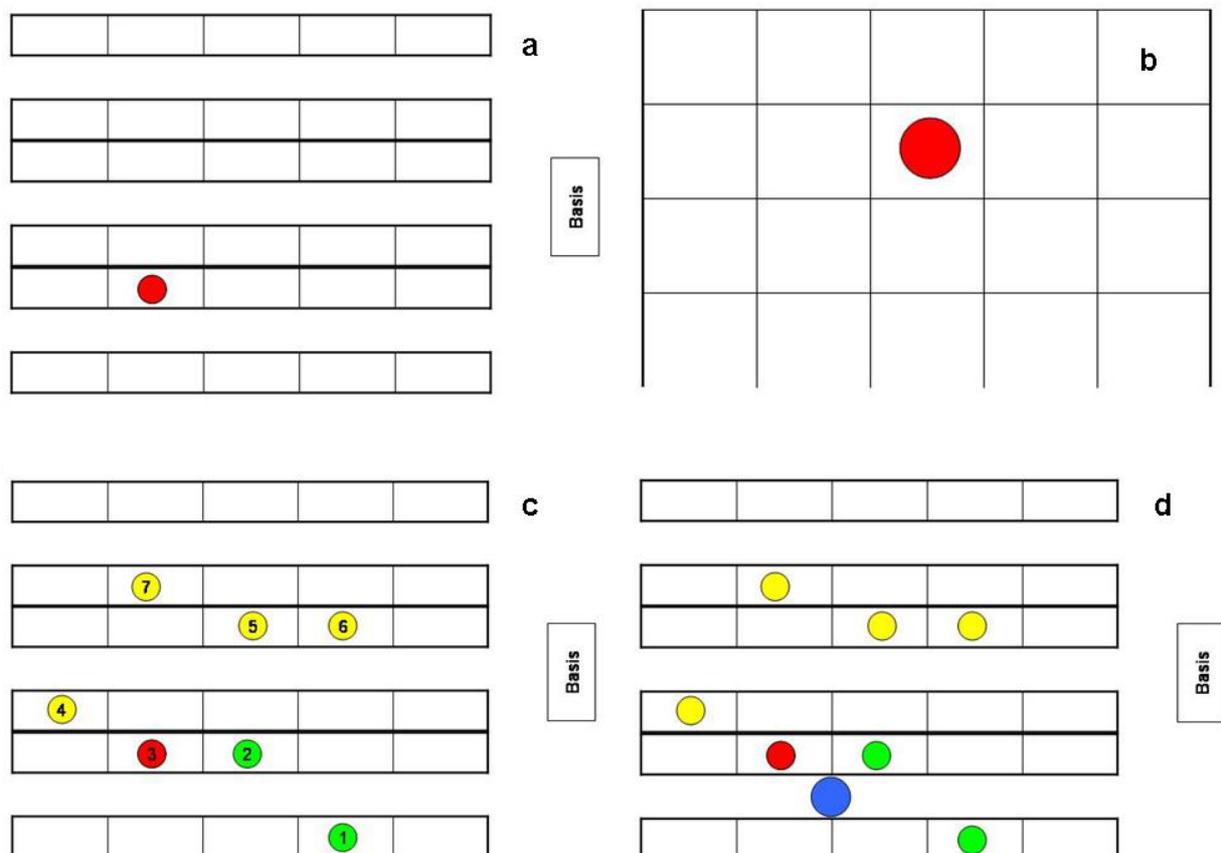
#### 4.1.2.3 Karte

Karten sind ein intuitives Mittel für den Menschen zur Navigation. Sie werden an einem festen Ort im FoVD angezeigt und somit ist keine Blickführung notwendig. Für

eine übersichtliche Darstellung nehmen die Karten einen großen Teil des FoVD ein und verdecken die Sicht auf die Realität. Die für die Kommissionierung möglichen Kartendarstellungen lassen sich in statische und dynamische sowie in 2D- und 3D-Karten unterteilen.

### Statische 2D-Karte

Eine statische Karte zeigt nur den Lageraufbau sowie Objekte an festen Orten an. Eine Änderung der Darstellung erfolgt nur über Systemeingaben. Der Lagerort der aktuellen Position wird durch einen Punkt hervorgehoben. Nach der Bestätigung der Entnahme verschwindet der Punkt und erscheint am nächsten Lagerort (siehe Abbildung 4-3a).



**Abbildung 4-3: statische 2D-Karte eines Lagers in der Draufsicht (a), Vorderansicht eines Regals (b), statische 2D-Karte mit allen Positionen in der Abarbeitungsreihenfolge und farblicher Kennzeichnung des Status (c) und dynamische 2D-Karte mit allen Positionen mit farblicher Statusangabe und der Position des Kommissionierers (d)**

Eine Karte bietet normalerweise eine Draufsicht auf einen bestimmten Bereich. Wenn der Kommissionierer nur entlang einer Regalzeile arbeitet, ist eine Vorderansicht des Lagers anzuzeigen (siehe Abbildung 4-3b). Dabei ist es wichtig, dass aus

der Darstellung hervorgeht, wo oben und unten ist. Es ist denkbar, beide Ansichten zu kombinieren. Entweder wechselt die Ansicht automatisch, wenn der Kommissionierer eine Gasse betritt, oder durch eine Systemeingabe. Bei ersterem ist ein Trackingsystem nötig (dynamische Karte). Es ist zu beachten, dass der Benutzer in einer Gasse zwischen zwei Regalen steht. Entweder werden beide Seiten gleichzeitig angezeigt oder es ist ein Wechsel zwischen den Seiten möglich.

Es gibt eine Vielfalt von Gestaltungsmöglichkeiten. Das Abbild des grundsätzlichen Aufbaus des Lagers ist zwingend erforderlich. Aber wie dies abgebildet wird und welche zusätzlichen Informationen enthalten sind, muss dem Anwendungsfall entsprechend implementiert werden. Die Anzeige wichtiger Punkte wie der Basis und des Abgabeortes sind eine Hilfe für die Orientierung des Mitarbeiters. Es können auch alle Positionen des Auftrags angezeigt werden, damit der Kommissionierer eine Übersicht hat. Der Status der einzelnen Positionen (bereits kommissioniert, noch zu kommissionieren) kann optisch unterschiedlich über Farben oder Formen dargestellt werden. Die nächste Position muss sich deutlich von den anderen hervorheben. Zusätzlicher Text kann die Darstellung bereichern, wie die Angabe der Reihenfolge der Positionen durch Nummern (siehe Abbildung 4-3c). Es gibt eine Vielzahl von Elementen, aber eines ist bei allen statischen Karten gleich. Der Mitarbeiter muss sich seinen Weg immer noch selbst suchen.

### ***Dynamische 2D-Karte***

Bei einer dynamischen Karte ändert sich die Darstellung mit der Zeit, wodurch ein Trackingsystem erforderlich ist. Die Umsetzung ist aufwendiger, da ein Tracking der Position des Kommissionierers, nicht aber seiner Blickrichtung, notwendig ist. Dynamische Karten ermöglichen, dass sich die Ansicht von der Draufsicht auf die Vorderansicht automatisch ändert, wenn der Kommissionierer in die entsprechende Gasse geht. Für eine schnellere Orientierung kann dem Kommissionierer seine aktuelle Position angezeigt werden (siehe Abbildung 4-3d). Ansonsten bietet die dynamische Karte die gleichen Möglichkeiten der Darstellung wie die statische.

### ***3D-Karten***

Statt der Abbildung einer Karte in 2D, kann dem Kommissionierer auch eine dreidimensionale Abbildung des Lagers angezeigt werden. Die aus VR-Anwendungen bekannte World-In-Miniature-Metapher lässt sich zur Interaktion in AR-Umgebungen

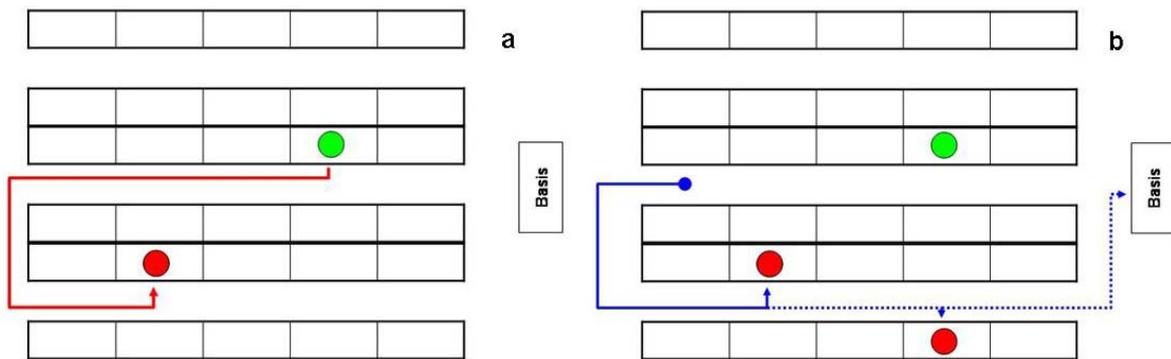
verwenden [Bow-05]. Dabei wird dem Benutzer eine kleine dynamische 3D-Abbildung seiner Umgebung eingeblendet. Lager werden heutzutage oft in 3D geplant, so dass die Daten vorhanden sind. Während die Planung erst in letzter Zeit von 2D auf 3D umschwenkt, navigieren die Benutzer in Computerspielen bereits seit Jahren durch 3D-Welten. Deswegen könnten auch Kommissionierer mit einer 3D-Karte vertraut sein. Ob die Navigation in einer 3D-Welt genauso intuitiv ist wie in bekannten 2D-Karten ist fraglich. In einer 3D-Karte sind die nächsten Lagerfächer wie in der Realität nicht immer ersichtlich. Es müsste in der 3D-Karte eine zusätzliche Navigationshilfe eingebaut werden. Dies ist sehr aufwendig. Wird nur ein Tracking der Position eingesetzt, kann nur eine Visualisierung unabhängig vom Blickwinkel des Mitarbeiters erfolgen. Es gibt dabei entweder nur einen festen Blickwinkel auf das Lager oder der Mitarbeiter kann den Blickwinkel selbst einstellen, wobei dies zusätzliche Zeit und Metaphern für die Interaktion beansprucht. Generell können mit einer 3D-Karte die gleichen optischen Darstellungsformen wie bei der 2D-Karte benutzt werden. Die Darstellung des Lagers in 3D nimmt jedoch einen großen Teil des FoVD ein und verdeckt die Sicht auf die Realität.

### **4.1.2.4 Wegverfolgung**

Unter Wegverfolgung wird verstanden, dass der Weg vom aktuellen Ort zum nächsten in das Display eingeblendet wird. Es gibt dabei mehrere Möglichkeiten. Zum einen kann dies auf einer Karte, zum anderen in der Realität erfolgen. Die Karte kann wieder in statische und dynamische Varianten eingeteilt werden.

#### ***Wegverfolgung mit einer 2D-Karte***

Der Lagerort der aktuellen Position, der nächste Lagerort sowie eine Verbindungslinie zwischen den beiden werden angezeigt. Es muss klar ersichtlich sein, in welche Richtung gegangen wird. Der Verbindungslinie wird durch ein Pfeilende eine Richtung gegeben (siehe Abbildung 4-4a). Bei dieser Variante können die verschiedensten Visualisierungen für die Karte aus dem Kapitel 4.1.2.3 verwendet werden. Durch die Anzeige des gesamten Wegs für einen Auftrag wird die Darstellung unübersichtlicher. Es wäre allerdings möglich, dass die Wege zu den abgearbeiteten Lagerplätzen mit der Quittierung verschwinden.

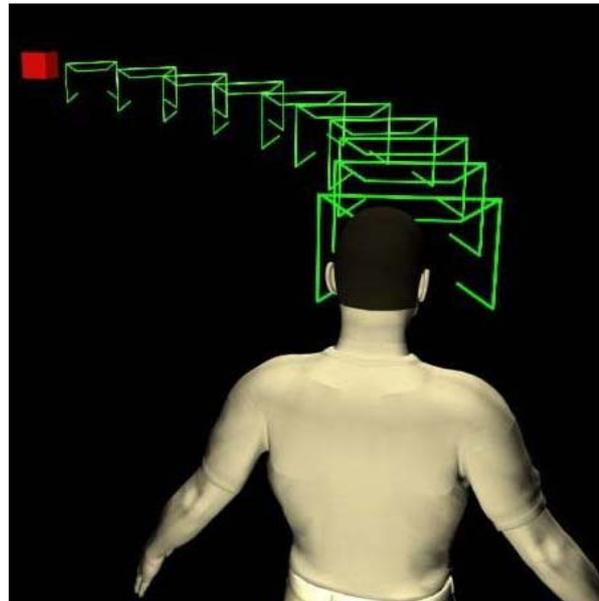


**Abbildung 4-4: statische Wegverfolgung von der aktuellen zur nächsten Position mit Karte (a) und zu allen Lagerorten (b)**

Die Darstellung kann auch dynamisch erfolgen. Dazu wird die Wegfindungslinie in Abhängigkeit der Position des Kommissionierers dynamisch verändert. Hier sieht der Kommissionierer seine aktuelle Position und sein Ziel. Es können ebenfalls wieder alle graphischen Möglichkeiten für die Kartendarstellung verwendet werden. Für die Anzeige aller Wege pro Auftrag gilt das gleiche wie für die statische Karte (siehe Abbildung 4-4b).

### ***Wegverfolgung in der Realität***

Eine weitere Möglichkeit ist, den Weg direkt in der realen Umgebung auf den Boden vor dem Kommissionierer einzublenden (siehe Abbildung 4-5). Dafür müssen seine Position und seine Blickrichtung bekannt sein. Eine derartige Lösung wäre sehr intuitiv und dem Weg könnte direkt gefolgt werden, ohne dass der Mensch die Metapher mit der Karte auswerten muss. Diese Art der Visualisierung ist Gegenstand der Forschung bei Navigationssystemen für Fahrzeuge. Ein großes Problem dabei ist, dass noch andere Verkehrsteilnehmer im Sichtbereich auftauchen und die virtuellen Daten auf diese anstatt auf die Straße projiziert werden. Die Verdeckung virtueller Daten durch reale ist kaum zu lösen. In einem Lager lässt sich die Umgebung leichter abbilden und vorherbestimmen als im Straßenverkehr. Trotzdem bleibt das Problem, dass sich Flurförderzeuge oder andere Kommissionierer mit einem Wagen im Blickfeld bewegen und die Darstellung des virtuellen Wegs ebenso beeinflussen, wie die Lagereinrichtung. Diese Art der Wegführung hat ein großes Potenzial, doch sie ist technisch nur unter sehr hohem Aufwand auszuführen.



**Abbildung 4-5: Wegverfolgung in der realen Welt** **Abbildung 4-6: Tunnel vom Auge zum Zielort**

#### 4.1.2.5 Tunnel

Der so genannte Attention Funnel ist ein Tunnel mit torähnlichen Gebilden aus sehr dünnen Linien [Bio-06]. Der Tunnel zeigt vom Auge des Benutzers bzw. von der Datenbrille zum Zielort und somit ist keine zusätzliche Metapher zur Blickführung notwendig (siehe Abbildung 4-6). Der Tunnel kann aus Kreisen oder Rechtecken bestehen. In engen Kurven, z. B. wenn der Benutzer direkt vor dem Lagerfach steht, liegen die Tunnelelemente sehr nah zusammen und es kann zu einer Überladung der Szene kommen. Der Abstand der Tunnelelemente kann in Abhängigkeit von der Nähe zum Lagerfach variieren. Ein Vorteil dieses Tunnels ist die gute Tiefenwahrnehmung auch bei nicht stereoskopischen HMDs. Wird nur entlang einer Regalzeile kommissioniert eignet sich dieser Tunnel hervorragend. Sind allerdings Gassenwechsel wie in K1 nötig, muss der Tunnel den Benutzer zuerst in die nächste Gasse führen bevor er auf das Lagerfach zeigt, weil er sonst durch das zwischen den Gassen stehende Regal zeigt. Alternativ kann der Tunnel mit einer anderen Metapher kombiniert werden, die für den Gassenwechsel zuständig ist. Der Tunnel ist nur aktiviert, wenn sich der Benutzer in der richtigen Gasse befindet. Der Tunnel kann auch mit einer zusätzlichen Metapher für den Pickvorgang kombiniert werden, z. B. dass der Rahmen am Ende, d. h. am Lagerfach, dicker ist. Ist eine Bestätigung für die Ankunft am Lagerort nötig, kann der Tunnel nach dieser ausgeblendet werden und es wird nur noch der Rahmen um das Lagerfach angezeigt.

#### 4.1.2.6 Übersicht über mögliche Visualisierungen zur Wegfindung

Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten die Wegfindung zu unterstützen (siehe Tabelle 4-2). Die Entscheidung für eine Darstellung erfolgt nach der Auswahl des Trackingsystems in Kapitel 7.1.

Kategorie	mögliche Ausprägungen		
Text	nur Text (Lagerort)	Text mit Hinweisen und Zwischenschritten	
Pfeile 2D	ohne Tracking (grobe Vorgabe Richtung)	mit direkter Zielführung Lagerplatz (Pfeil zeigt direkt auf Ziel)	mit Wegführung zum Lagerplatz über Wegpunkte
Pfeile 3D	mit direkter Zielführung Lagerplatz (Ziel)	mit Wegführung zum Lagerplatz über Wegpunkte	mit zusätzlicher Metapher zur Blickführung
	mehrere Pfeile weisen den Weg auf Brusthöhe	mehrere, im Boden eingelassene Pfeile weisen den Weg	
Karte 2D statisch	Draufsicht mit Wegpunkten (Lagerorte)	Drauf-, Vorderansicht, Wegpunkte (manuell)	Drauf-, Vorderansicht, Wegpunkte (automatisch)
Karte 2D dynamisch	Draufsicht, Wegpunkte und Position Kommissionierer	Drauf-, Vorderansicht, Wegpunkte und Position Kommissionierer (Draufsicht)	
Karte 3D	wird nicht näher betrachtet		
Wegverfolgung statisch	mit Karte von Position zu Position	mit Karte mit allen offenen Positionen	
Wegverfolgung dynamisch	mit Karte von Position zu Position	mit Karte mit allen offenen Positionen	Einblenden des realen Weges
Tunnel	Tunnel aus Rahmen, der auf das Lagerfach zeigt	Tunnel mit Kreisen, der auf das Lagerfach zeigt	

Tabelle 4-2: Zusammenfassung der möglichen Visualisierungen für die Wegfindung

#### 4.1.3 Potenziale und Grenzen der AR-unterstützten Wegfindung

Zunächst gilt zu klären, ob eine Wegfindung überhaupt notwendig ist, weil der Kommissionierer sehr schnell seinen Lagerbereich kennt und er meist den gleichen Weg durch das Lager nimmt. Die meisten der möglichen Darstellungen für die Wegfindung benötigen ein Trackingsystem, das mit hohem Aufwand und Kosten in das Gesamtsystem integriert werden muss. Inwieweit ein Trackingsystem Vorteile bei der Wegfindung bringt, hängt von vielen Randbedingungen (Lagergröße, Auftragsverteilung, Genauigkeit, Robustheit etc.), der eingesetzten Technologie und der Visualisierung ab. Aufgrund dieser vielen Variablen kann keine generelle Aussage über den Einsatz eines Trackingsystems getroffen werden, sondern dies hängt vom jeweiligen Anwendungsfall ab. Visuelle Weginformationen ohne Tracking können ebenfalls zu einer Steigerung der Kommissionierleistung beitragen, sind aber weniger kostenintensiv

umzusetzen. Bei einer Evaluierung eines AR-gestützten Kommissioniervorgangs waren Probanden mit 1D-Text und 2D-Karte schneller als mit einem 3D-Pfeil [Scb-07a]. Es ergab sich eine hohe Lernkurve und AR/VR-erfahrene Probanden waren mit der 3D-Darstellung sogar schneller als andere mit 1D und 2D (keine signifikanten Ergebnisse). Der Benutzer hat einen entscheidenden Einfluss auf die Praktikabilität des Systems. Für den Kommissionierer könnte es unangenehm sein, wenn ihm bei seinem langen Weg durch das Lager stets die Weginformation eingeblendet wird. Der kürzeste und damit grafisch unterstützte Weg muss nicht unbedingt praktikabel sein, wenn der Kommissionierer bei seinen Wegen keine Systematik erkennt. Er empfindet dies als störend und die Kommissionierleistung sinkt. Eine weitere Problematik ist, dass die Position des Mitarbeiters während seiner Arbeit aufgenommen wird. Bei mehreren Projekten zur Verfolgung und Visualisierung der Position der Mitarbeiter in Bürogebäuden konnten interessante Ergebnisse gewonnen werden. Bei potenzieller Überwachung der Mitarbeiter ist aus Datenschutzgründen deren Zustimmung einzuholen (Beteiligung bei der Planung, Integration des Betriebsrates, Betriebsvereinbarung). Die Positionierungsdaten sollten nicht gespeichert und es sollte nur Arbeitsbereichen (keine Aufenthaltsräume oder Toiletten) abgedeckt werden. Eine für Kollegen sichtbare Visualisierung der Position der einzelnen Mitarbeiter ist zu vermeiden ([Dit-07], [Han-04], [Pro-06]).

### **4.1.4 Wegfindung in den ausgewählten Szenarien**

Es werden nur die Szenarien K1 und K3 betrachtet, da bei Szenario K2, dem stationären Kommissionierarbeitsplatz, keine Wege auftreten.

#### **4.1.4.1 Szenario K1**

In diesem Szenario sind die längsten Wege zurückzulegen und der Mitarbeiter muss sich in einem größeren Lagerbereich zurechtfinden. Bei herkömmlichen Kommissioniersystemen orientiert er sich anhand der Lagernummerierung, die an den Regalen oder den Gasseneingängen auf Schildern angebracht ist. Er vergleicht dies mit den Daten, die auf seiner Kommissionierliste oder seinem MDT stehen oder die er über eine Sprachausgabe erhält. Zuerst müssen die Informationen auf dem Hilfsmittel gesucht und dann mit der Realität verglichen bzw. bei PbV muss die Ansage abgewartet werden. Dies sind Informationssuchzeiten, also Totzeiten. Durch das HMD hat er

die Informationen ständig vor Augen, so dass diese Suchzeiten wegfallen. Wird der Lagerplatz über Text oder eine stationäre Karte ausgegeben, entfällt der Abgleich dieser Daten mit seiner Umgebung nicht. Werden ihm Pfeile oder der Weg angezeigt, kann er sich intuitiv in diese Richtung bewegen.

Im Szenario K1 ist der Wegzeitanteil mit am höchsten, so dass eine bessere informationstechnische Unterstützung Vorteile bringen kann. Es gibt verschiedene Möglichkeiten diese Daten anzuzeigen. Es muss abgewägt werden, welche das beste Nutzenpotenzial hat.

### **4.1.4.2 Szenario K3**

Bei Szenario K3 bewegt sich der Kommissionierer nur entlang einer Regalzeile und der Wegzeitanteil ist gering. Dies ist ein klassischer Anwendungsfall für PbL. Es fallen Suchzeiten zum aktuell leuchtenden Lämpchen an. Ein Problem ist, dass der Kommissionierer in der Mitte der Regalzeile startet, d. h. er hat zwei Möglichkeiten, nach dem leuchtenden Lämpchen zu blicken. Herkömmlich wird ihm ggf. am stationären Monitor die Richtung angezeigt. Mit der Datenbrille kann die entsprechende Richtung gleich über Pfeile oder das Einblenden einer Vorderansicht der Regalfront angezeigt und die Suchzeit verringert werden. Das WMS optimiert die Aufträge so, dass sich der Kommissionierer nur in eine Richtung vom Ausgangspunkt zum Regalende bewegen muss und minimiert das Drehen des Kopfes. Das Einblenden eines Lagerschemas mit den Entnahmeorten in der Vorderansicht kann das Greifen in das richtige Fach unterstützen. AR bietet durchaus Potenziale in diesem Szenario, wobei die Wegfindung aufgrund der geringen Wegzeiten mit der Suche nach dem aktuellen Lagerplatz kombiniert wird. Wegen des begrenzten Arbeitsraums ist die Ausstattung mit einem Trackingsystem weniger aufwendig wie in K1.

## **4.2 Daten in der Kommissionierung**

Bevor ein Interaktionskonzept festgelegt wird, gilt es zu klären, welche Daten in der Kommissionierung nötig sind und welche davon in diesem Projekt betrachtet werden. Ein Kommissionierauftrag enthält allgemeine Informationen (z. B. Auftragsnummer, Auftragsart, Kunde etc.) und Positionsinformationen [Men-99]. Die Informationen zu jeder Auftragsposition sind für die operative Ausführung des Kommissionierauftrags

notwendig (Lagerort, Artikelnummer, Entnahmemenge, Entnahmeeinheit etc.). Die allgemeinen Informationen werden für die eigentliche Durchführung der Arbeitsaufgabe nicht benötigt. Deshalb können sie wie alle Daten, die nicht ständig zur Verfügung stehen müssen, als Annotationsdaten dargestellt werden. Annotationsdaten erscheinen erst durch das Ausführen einer Interaktion. So wird der Sichtbereich des Kommissionierers nicht mit virtuellen Daten überladen.

Für die Kommissionierung können viele Informationen wichtig sein, es sind aber nur wenige unverzichtbar. Dies sind die Artikelnummer und -bezeichnung, der Lagerort und die Entnahmemenge (Greifeinheiten) mit Bezeichnung der Verpackungseinheit (Stück, Packung, Karton etc.). Es können weitere Textinformationen, z. B. die Charge aus Gründen der Rückverfolgbarkeit dargestellt werden. AR bietet neue Möglichkeiten, wie die Anzeige eines Bildes des zu entnehmende Artikels, wenn Artikel mit gut zu unterscheidenden optischen Merkmalen nebeneinander liegen. Das Lagerfach selbst, der auszuwählende Behälter an der Basis oder der Sammelbehälter bei paralleler Bearbeitung mehrerer Aufträge können optisch hervorgehoben werden. Bei der Ablage der Artikel lässt sich ein bestimmtes Schichtmuster bzw. Palettierschema anzeigen. Die Hervorhebung von Eilaufträgen kann z. B. in der Übersichtskarte durch Blinken erfolgen und der Abgabetermin wird zusätzlich angezeigt. Generell können verschiedenste Arbeitsanweisungen wie Etikettieren, Falten, spezielles Verpacken etc. mitgeteilt werden. Eine wichtige Aufgabe des Kommissionierers sind Bestandskorrekturen, falls der tatsächliche Bestand im Lager vom Buchungsbestand abweicht. Die nötigen Schritte zur Eingabe dieser Korrektur lassen sich visualisieren. Das Nachholen bzw. Vervollständigen von Positionen muss möglich sein, wenn nicht genügend Teile am Entnahmeort liegen.

Das System kann nicht nur die Kommissionierung, sondern auch die Nachschubunterstützung berücksichtigen. Der Nachschubmitarbeiter muss ggf. das Leergut aus dem Lagerfach entfernen und die Nachschubeinheiten auf die Bereitstellplätze bringen. Dabei kann er bei der Wegfindung und der Identifizierung des Lagerplatzes sowie durch weitere Arbeitsanweisungen oder Bilder unterstützt werden.

Jedes Unternehmen hat seine eigenen Anforderungen, welche Daten dem Kommissionierer zur Verfügung stehen sollen. In diesem Forschungsvorhaben werden nur die Artikelnummer, -beschreibung, Lagerort, Entnahmemenge, Bild, Hervorhebung des Entnahme- bzw. Ablageortes und die Eingabe von Mengenfehlern weiter betrachtet.

## 4.3 Interaktionskonzept

Für die Gestaltung der Benutzerschnittstelle mit AR gibt es keine speziellen Vorgaben, aber Normen für Darstellungsformen wie z. B. die DIN EN ISO 9241, die EU-Richtlinie 90/270/EWG oder die DIN EN ISO 13407 für den benutzerzentrierten Gestaltungsprozess, können für die Visualisierung mit AR herangezogen werden ([DIN9241], [EU90270], [DIN13407]). Im Rahmen des Verbundforschungsprojekts ARVIKA wurden Gestaltungsrichtlinien für AR für verschiedene Aus- und Eingabegeräte erarbeitet [Beu-04]. Im Folgenden wird sich auf die Darstellung am Ausgabegerät HMD orientiert, ohne sich auf das monokulare und monochrome Nomad festzulegen. Erst bei den konkreten Konzepten für die drei Szenarien wird die Darstellung spezifiziert. Die von herkömmlichen Bildschirmarbeitsplätzen gemachten Erfahrungen können nicht ohne Weiteres auf Datenbrillen übertragen werden. Beispielsweise ändern sich bei mobilen Systemen ständig die Lichtverhältnisse.

### 4.3.1 GUI-Design für Datenbrillen

Das Erfassen von Informationen über ein HMD ist immer noch Forschungsgegenstand, aber es lassen sich generelle Aussagen treffen. AR-Systeme werden in Systeme ständiger, zeitweiser und vereinzelter Unterstützung eingeteilt. Untersuchungen verdeutlichen, dass die Benutzer nicht permanent virtuelle Daten im Blickfeld angezeigt haben wollen [Beu-04]. Deshalb ist eine kontextabhängige Einblendung nötig, d. h. der Benutzer bekommt nur die Daten visualisiert, die er gerade braucht. Ein Überladen der Szenerie mit virtuellen Informationen (Cluttering) ist zu vermeiden und es sollen nur die wichtigen Informationen (stets) sichtbar sein. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass Benutzer große Informationsmengen über ein HMD aufnehmen, weil dies zuviel Aufmerksamkeit von der realen Umgebung nimmt [Oeh-04]. Die Aufnahme der realen Informationen soll nicht durch virtuelle Objekte behindert werden. Es ist zudem zu beachten, dass das HMD nur ein eingeschränktes FoVD und somit wenig Platz für das Einblenden der virtuellen Informationen hat.

Es gibt drei Arten der grafischen Unterstützung für AR-Anwendungen [FrW-04]. Die Benutzer können mit Text, einfachen und komplexen Geometrien unterstützt werden. Die Textdarstellung ist mit einem sehr geringen Erstellungsaufwand und wenig benötigter Rechenleistung verbunden. Sie dient nicht der Verdeutlichung komplexer Sachverhalte. Der Text lässt sich um einfache 2D-Geometrien (Kreise, Pfeile etc.)

ergänzen, die (meist) ohne Tracking in die Umgebung eingepasst werden. Der Benutzer erzeugt die Überlagerung durch Kopfbewegungen und die guten menschlichen Eigenschaften zur Mustererkennung selbst [Sas-08]. Die Ladezeiten und der Erstellungsaufwand bleiben gering, allerdings ist die Darstellung vom Blickwinkel abhängig und für komplexe Sachverhalte wenig geeignet. Wird die Szene um dreidimensionale, lagerichtige eingeblendete Objekte erweitert, erfolgt eine schnelle intuitive Informationsaufnahme für komplexe Sachverhalte. Allerdings steigen hierbei die Ladezeiten und der Erstellungsaufwand.



**Abbildung 4-7: generelle Aufteilung der Daten in Inhalt und Navigation bei der Darstellung mit einem HMD [Beu-04]**

Im Folgenden soll auf die Besonderheiten für den Einsatz eines HMD, speziell eines monochromen und monokularen HMD, eingegangen werden. Die Aussagen basieren auf den Gestaltungsrichtlinien zum Prototyp des Nomad ([Beu-04], [Oeh-04]). Abbildung 4-7 zeigt die generelle Einteilung der Darstellung in einem HMD in eine Basisnavigation am oberen Bildrand und den Inhalt (Content Panel). Die Basisnavigation kann noch in eine Kopfzeile zum Inhalt (Header Panel) und eine Funktionsleiste (Funktion Panel) unterteilt werden. Es soll immer möglich sein mit einem Knopfdruck (Home) zurück zu dieser Basisnavigation zu kommen.

Aufgrund der speziellen Anforderungen von HMDs lassen sich folgende Regeln für die Visualisierung für das Nomad ableiten:

### **Darstellung von Graphiken**

- Mögliche Informationsdarstellungsarten sind Text, geometrische Figuren und Formen, Skizzen, Zeichnungen und Schaltpläne sowie Animationen.
- Vektorgrafiken bestehen aus dünnen Linien und ein Großteil ihrer Fläche ermöglicht die Durchsicht auf die reale Welt. Die Linien mit Strichstärken von einem Bildpunkt sind gut geeignet.
- Bei Bildern, Videos etc. ist zu beachten, dass sie die reale Welt verdecken. Ihr Einsatz ist sehr stark von der Art und der Bauweise des HMD abhängig.
- Hervorhebungen von Informationen durch Grafiken, große Schriften und Animationen sind zwar wirkungsvoll, sollten aber nur sparsam eingesetzt werden, um die Aufmerksamkeit des Kommissionierers nicht vom Wesentlichen abzulenken.
- Farben können nur sehr eingeschränkt benutzt werden (Rotstufen).

### **Darstellung von Zeichenfolgen und Text**

- Mindestschriftgröße [Lol-01]:  $Mindestschriftgröße [mm] = \frac{Leseentfernung [mm]}{200}$
- Die Zeilenbreite in HMDs soll 60 Zeichen nicht überschreiten.
- Text wird neben virtuellen Graphiken oder Icons nicht wahrgenommen.
- längere Textpassagen vermeiden, maximal zwei Sätze
- Optimal sind zwei Schriftgrößen für die Haupt- und die Zusatzinformationen [Oeh-04]. Die Darstellungsgrößenwahl ist wichtig, um eine möglichst ermüdungsfreie Informationsaufnahme zu gewährleisten. Hauptinformationen sind in der empfohlenen und Zusatzinformationen in der mindest erforderlichen Darstellungsgröße anzuzeigen.

### **Displayeinteilung und Anordnung von Elementen**

- Informationen müssen sehr prägnant und strukturiert dargestellt werden. Die virtuelle Information darf die Aufmerksamkeit nicht von der realen Umgebung ablenken.
- Maximal 40 bis 50 % des Displays sollten mit Zeichen und anderen Anzeigeelementen belegt sein. Eine Überfüllung des FoVD ist zu vermeiden.
- Die Informationen und Dialogelemente werden an einem virtuellen Gitter ausgerichtet.

- Sämtliche Informationen, die ein Kommissionierer in einem bestimmten Arbeitskontext benötigt, werden gemeinsam auf dem Display angezeigt.
- Informationen und Dialogelemente sind sinnvoll zu gruppieren. Rahmen und Trennlinien zur Gruppierung sind allerdings sparsam zu verwenden, um die Anzeige nicht mit Linien zu überladen. Oftmals ist eine Vergrößerung der Abstände zwischen den Elementen ausreichend.
- Wegen der in westlichen Ländern üblichen Leserichtung von „links nach rechts“ und von „oben nach unten“ werden Informationen links oben auf dem Display als erstes wahrgenommen.
- Der Benutzer soll eine Möglichkeit haben, die Bündigkeit des HMDs einzustellen (rechts- oder linksbündig). Geht der Kommissionierer z. B. einen Gang entlang, an dem nur auf der rechten Seite ein Regal ist, sollte die Information linksbündig sein.
- Vertikales Scrollen ist erlaubt, sollte aber auf das Nötigste beschränkt sein.
- Da über das HMD nur ein Teil des gesamten Blickfeldes abgedeckt wird, können die Seitenränder sehr gering sein. Zu beachten ist allerdings, dass v. a. bei VRD die Randbereiche unscharf sind bzw. die Randbereiche verzerrt sein können.
- Anwendungen mit HMD sollen über eine „Ausblenden“-Taste verfügen, weil Benutzer nicht permanent virtuelle Daten im Blickfeld sehen wollen. Sie wollen bei feinmotorischen Handlungen und beim Lesen keine störenden Informationen vor sich haben und auch manchmal den „Blick schweifen lassen“, um die Augen auszuruhen [Beu-04].
- Bei den Darstellungsgrößen der virtuellen Informationen ist das Dilemma zu klein (schlechte Lesbarkeit => mehr Fehler) und zu groß (Verdeckung der realen Welt => Arbeitsschutz) zu beachten. Bei einem Versuch zur Verdeckung bei einem VRD wurde die Überlagerung der realen Welt durch die virtuellen Informationen als nicht störend empfunden [Oeh-04].

### ***weitere Besonderheiten beim Einsatz eines HMDs***

- Die Navigation durch Menüs etc. hängt vom entsprechenden Interaktionsgerät ab. Sollen verschiedene Geräte eingesetzt werden, muss ein Navigationskonzept ausgewählt werden, das auf alle Geräte passt.

- Vor allem in HMDs können Informationen wie Meldungen oder Warnungen durch auditive Ausgaben ergänzt werden.

### ***Anforderungen aus Sicht der Kommissionierung***

Aus Sicht der Kommissionierung lassen sich diese Hinweise für die Darstellungsformen um folgende Punkte ergänzen ([Vog-97], [VDI3311]):

- Den Informationsinhalt kurz und klar halten (nur Orts- und Mengenangaben).
- Die gleichzeitige Informationsverarbeitung wird ab einer Menge von fünf Informationselementen kritisch (Psychologie des Menschen). Beispielsweise sollten sich Angaben von Zahlengruppen auf maximal fünf Zeichen beschränken.
- gute Lesbarkeit der Anzeigen aus der Entfernung, bei unterschiedlichen Blickwinkeln und bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen
- Einhalten der erforderlichen Schriftgröße sowie Verwendung einer gut lesbaren Schriftart
- Zahlen und Buchstaben trennen, z. B. durch Leerzeichen oder Bindestrich
- Inhalte sind zu differenzieren und in Gruppen einzuteilen.
- grafische Unterscheidbarkeit einzelner Positionen sicherstellen (z. B. unterschiedliche Farben der Zeilen)
- Identifikationsmerkmale müssen kurz gefasst werden.
- Die Menge in Greifeinheiten ausdrücken.
- Lagerortverschlüsselung kurz alphanumerisch, logisch und gleichartig in allen Zonen
- direkte Arbeitsanweisungen in großer Schrift, immer am gleichen Ort und ggf. abgesetzt von angezeigten Zusatzinformationen darstellen

### **4.3.2 Dateneingabe**

Dateneingaben sind ebenso wichtig wie die Darstellung der Informationen und entscheiden über den Erfolg oder Misserfolg eines AR-Systems. Es ist zu beachten, dass die Dateneingabe nicht allgemeingültig, sondern auf die Kommissionieranwendung zugeschnitten ist. Für die Kommissionierung sind nur wenige Eingaben nötig (Quittierung, Nulldurchgang, Fehler), aber jeder Anwendungsfall ist einzeln zu betrachten, da in jedem Unternehmen spezifische Eingaben gefordert werden. Im Kapi-

tel 3.6.3 wurden bereits der Dreh-/Drückknopf und die Sprachsteuerung als Eingabegeräte für Pick-by-Vision ausgewählt. Die Interaktionskonzepte werden für diese beiden Geräte zugeschnitten.

### ***Dreh-/Drückknopf***

Der Dreh-/Drückknopf mit seinen drei Bewegungsmöglichkeiten Drehung nach links bzw. rechts und Drücken lässt sich sehr gut auf die für die Kommissionierung wichtigen Interaktionen wie Bestätigung oder die Navigation durch 1D-Menüs übertragen. Beim ausgewählten Powermate der Firma Griffin Technologies können diese drei zu insgesamt sechs Interaktionen kombiniert werden. Beim Knopfdruck wird zwischen einem kurzen und einem langen Knopfdruck unterschieden, wobei eine individuelle Konfiguration der Drückzeit möglich ist. Außerdem lassen sich der Knopfdruck und die Drehung kombinieren, d. h. dass während der Drehung der Knopf gedrückt wird. Die Kombination aus Drehen und Drücken erwies sich in der Praxis als schwierig, weil ein genaues Timing erforderlich ist, damit das Drücken und Drehen als gleichzeitig und nicht als nacheinander interpretiert wird. Deshalb wird diese Interaktion nicht weiter betrachtet. Somit bleiben die vier Möglichkeiten des kurzen und langen Drückens sowie des Drehens nach links und rechts.

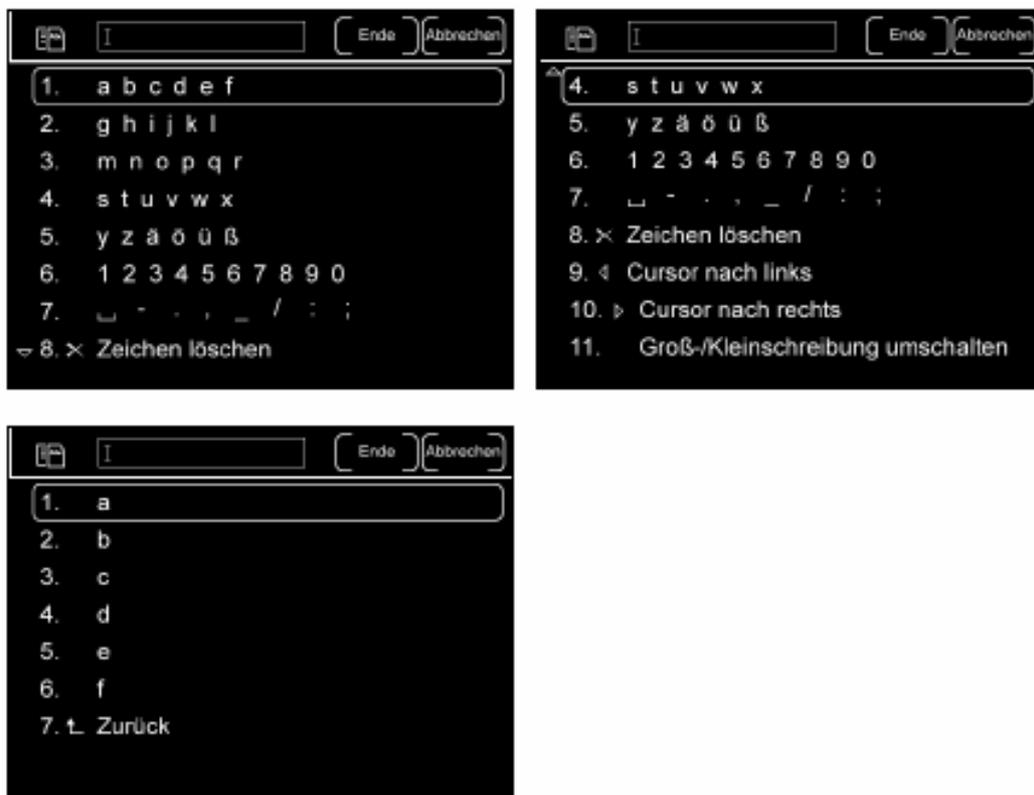


Abbildung 4-8: Texteingabe mit dem Dreh-/Drückknopf [Beu-04]

Die Texteingabe erweist sich als nicht so einfach. Mit der Einführung von Buchstaben- und Zeichengruppen, kann dies vereinfacht werden (siehe Abbildung 4-8). Es wird zunächst in einem Menü eine Gruppe von Zeichen durch einen Knopfdruck aktiviert, bevor in einem weiteren Schritt ein Zeichen aus dieser Gruppe ausgewählt wird. Dies ist trotzdem umständlich, so dass bei Pick-by-Vision auf längere Texteingaben verzichtet werden sollte.

### ***Spracheingabe***

Die Sprache ist eine natürliche, flexible, effiziente und die ökonomischste Form der menschlichen Kommunikation. Sie bietet die Möglichkeit mit dem AR-System zu interagieren, ohne die eigentliche Tätigkeit zu unterbrechen und ohne die Hände zu benutzen. Für den industriellen Einsatz sind einige Anforderungen zu beachten [FrW-04]:

- Sprecherunabhängigkeit
- Unterstützung mehrerer Sprachen
- flexibel anpassbarer Wortschatz bzw. Grammatik
- kontinuierliche Spracherkennung
- gute Erkennungsleistung in lauten Produktionsumgebungen
- einfache Anwendbarkeit

Aufbauend auf diesen Anforderungen lassen sich einige wichtige Regeln für den Einsatz einer Sprachsteuerung für AR-Systeme (nach [Beu-04]) ableiten:

- Ein wichtiger Grundsatz ist „What you see is what you can say.“ [Wec-04]. Der Kontext der Sprachinteraktion ist an die GUI anzupassen, d. h. die Icons sollen mit dem entsprechenden Sprachbefehl hinterlegt sein (Text im GUI = Sprachbefehl). Es brauchen nicht alle Sprachbefehle sichtbar sein.
- Für die Menübedienung müssen die Sprachbefehle kurz, aber trotzdem eindeutig sein, z. B. „Nummer 3“, wenn der dritte Eintrag eines Menüs ausgewählt werden soll (Selektionsbefehl). Dazu muss der Eintrag mit einer „3“ gekennzeichnet sein.
- Die Bestätigung (Aktionsbefehl) soll über Befehle wie „Öffnen“, „OK“, „Aktivieren“ erfolgen.
- Für eine schnellere Auswahl soll auch die Kombination von Selektions- und Aktionsbefehl möglich sein, z. B. „Nummer 3 öffnen“.

- das Scrollen durch Listen: „Nach unten scrollen“ bzw. „Nach oben scrollen“ sowie Befehle „Erster Eintrag“ und „Letzter Eintrag“
- Die Befehlsfolge soll sich an andere Eingabegeräte anlehnen.
- Fehlermanagement bei Sprache (zwei Arten von Fehlern):
  - versehentliches Auslösen eines Befehls über Sprache
  - Benutzer gibt Sprachbefehl, den das System falsch versteht
- Das Ausschalten der Sprachsteuerung soll einfach sein und ein visuelles Feedback muss anzeigen, in welchem Zustand sich das System befindet.
- Spracheingaben sollen sofort mit einer grafischen Rückmeldung bzw. multimodalem Feedback bestätigt werden.
- Ein Zurück-Button soll immer zur Verfügung stehen.
- Sprache ist nicht die beste Lösung für die Eingabe von Symbolen (Text etc.) [Bow-05].

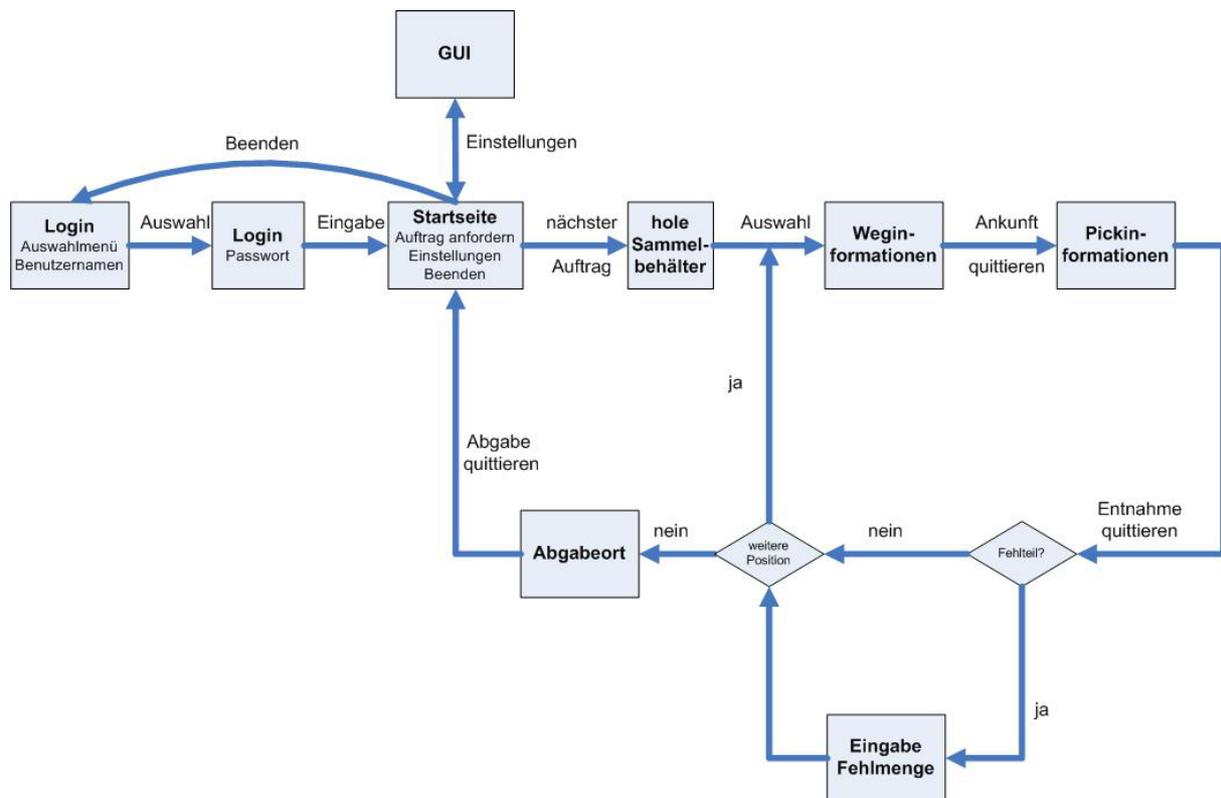
### 4.3.3 Interaktionskonzept für Pick-by-Vision

Im Kapitel 3.5.3 wurde ein allgemeingültiges Kommunikationskonzept für die AR-Kommissionierung erarbeitet. Dabei sind alle nötigen Interaktionsschritte unabhängig von den ausgewählten Szenarien und Interaktionsgeräten dargestellt.

#### 4.3.3.1 Benötigte Eingaben für Pick-by-Vision

Die wichtigsten Eingaben sind die Bestätigungen. Diese sind unabhängig vom jeweiligen Arbeitsschritt immer gleich. Das Fehlermenü muss mit einem eigenen Befehl aufgerufen werden. Neben diesen beiden grundlegenden Eingaben sind noch die An- und Abmeldung am System notwendig. Die Anmeldung erfolgt mit Benutzernamen und Passwort. Der Befehl zum Abmelden wird aufgerufen und bestätigt bzw. bei Fehlauflösung wieder abgebrochen, um weiterzuarbeiten. Durch weitere kurze Befehle lässt sich das HMD ausschalten bzw. die vorhergehende Aktion rückgängig machen. Der Benutzer soll auch spezifische Einstellungen treffen können, um das GUI seinen Bedürfnissen anpassen zu können. Er kann beispielsweise auswählen, ob eine Kommissionierliste oder nur eine Position angezeigt wird. Dafür braucht er einen Menüaufruf und eine Navigation durch das Menü. Alle Eingaben lassen sich auf die Eingabearten Bestätigen, Aufruf von Funktionen (Fehlermenü, Einstellungen,

Abbrechen), Navigieren durch ein Menü, Rückgängig und Ausblenden sowie dem Aufruf der Startseite beschränken.



**Abbildung 4-9: Arbeitsschritte bei Pick-by-Vision, die im GUI dargestellt werden**

Mit diesen Eingaben durchläuft der Mitarbeiter den AR-gestützten Kommissionierprozess (siehe Abbildung 4-9). Der Mitarbeiter beginnt mit dem Login, d. h. mit der Eingabe des Benutzernamens und des Passworts. Anschließend erscheint die Startseite, auf der er einen aktuellen Auftrag beginnen, die Anwendung beenden (Logout) oder die Systemeinstellungen ändern kann. Beginnt er einen Auftrag muss er zuerst einen Sammelbehälter holen. Nach der Bestätigung, werden ihm die Weginformationen zum Lagerort angezeigt. Nach der Bestätigung der Ankunft am Lagerplatz erhält er die Pickinformationen. Die Entnahme wird quittiert und anschließend wird er zur nächsten Position geführt. Ist er bei der letzten Position angekommen, bringt er den Sammelbehälter zum Abgabeort. Nach der Bestätigung der Abgabe erscheint wieder die Startseite. Diesen linearen Ablauf durchläuft der Kommissionierer Auftrag für Auftrag. Dazu benötigt er nur den Befehl zum Bestätigen. Ruft er das Fehlmengenmenü auf, kann er die vorhandene Menge eingeben. Bei Aufruf der Einstellungen erscheint ein Menü, in dem er die grafische Anzeige individuell konfigurieren kann. Mit einer Bestätigung wird der Menüpunkt ausgewählt und über ein neues Menü wird dieser Punkt spezifiziert. Diese Eingaben sollen mit den beiden Interaktionsgeräten Sprach-

eingabe und Dreh-/Drückknopf mit dem gleichen Interaktionskonzept durchgeführt werden können.

### **4.3.3.2 Mit dem HMD angezeigte Daten zur Kommissionierung**

Das wichtigste Element ist die Anzeige der als nächstes zu kommissionierenden Position. Viele Kommissionierer wollen gerne mehr Positionen sehen, damit sie das Gefühl haben, frei entscheiden zu können, was sie entnehmen, obwohl die Liste vom WMS bereits optimiert wurde. Erfahrene Kommissionierer finden oft noch Optimierungspotenzial. Durch Anzeige der gesamten Liste hat der Kommissionierer einen besseren Überblick, aber bei Aufträgen mit mehr Positionen führt dies schnell zu einer großen Verdeckung des FoVD. Als Kompromiss lässt sich ein für die nächste Entnahme relevanter Ausschnitt der Pickliste, z. B. die nächsten drei Positionen, anzeigen. Es sollte ein Wechsel zwischen den Anzeigeformen möglich sein. Die aktuelle Position ist stets hervorgehoben und die Artikelbezeichnung, -nummer, Entnahmemenge und Lagerort können abgelesen werden. Diese Daten lassen sich um eine kurze textuelle Beschreibung sowie ein Bild des aktuellen Artikels erweitern. Die Beschreibung und das Bild sind im WMS hinterlegt. Für die Darstellung der Karte gibt es mehrere Möglichkeiten. Diese wurden in Kapitel 4.1.2.3 ausgearbeitet. Neben der Draufsicht kann die Anzeige der Vorderansicht zur Unterstützung der Wegfindung und darüber hinaus für den Pickvorgang dienen. Die optimale Darstellung der Karte muss sich während der Evaluierung ergeben. Für erfahrene Kommissionierer sollte das Ausblenden der Karte möglich sein.

### **4.3.3.3 Visualisierung mit dem Nomad**

Als erstes wird der Bereich definiert, indem überhaupt virtuelle Daten angezeigt werden können, weil es in den Randbereichen des FoVD zu Verzerrungen und Unschärfen kommen kann (siehe Abbildung 4-15). Für das FM1, das nur statische Daten einblendet, ist dies nicht weiter von Bedeutung. Es stehen als Anzeigefläche 800 x 600 Pixel zur Verfügung. Die Seitenränder betragen 20 Pixel oben und unten sowie 30 Pixel links und rechts. Die Benutzeroberfläche ist in Quadraten mit einer Größe von zehn mal zehn Pixel gerastert. An diesem Gitter werden die Elemente ausgerichtet. Die verfügbare Fläche für die Visualisierung wird in zwei Teile aufgeteilt: die Kopfzeile und den Inhaltsbereich. Die Kopfzeile wird in einen Bereich für die Überschrift zum

Inhalt und einen Bereich zum Aufruf von Funktionen gegliedert. Im Inhaltsbereich erfolgt die Darstellung der aktuellen Inhalte, z. B. die Pickliste, die Einstellungen oder das Fehlermanagement. Der Inhalt wird von der Kopfzeile durch einen Strich mit der minimalen Strichstärke von zwei Pixel Breite abgetrennt. Die Kopfzeile hat 80, der Inhalt 480 der vertikal verfügbaren 560 Pixel. Links von der Kopfzeile sind 120, rechts davon 180 Pixel vorgesehen. Die Abgrenzung zur Kopfzeile erfolgt durch einen Abstand von zehn Pixel (siehe Abbildung 4-10). Es muss in jeder Maske die Möglichkeit bestehen, in die Funktionsleiste zu springen.

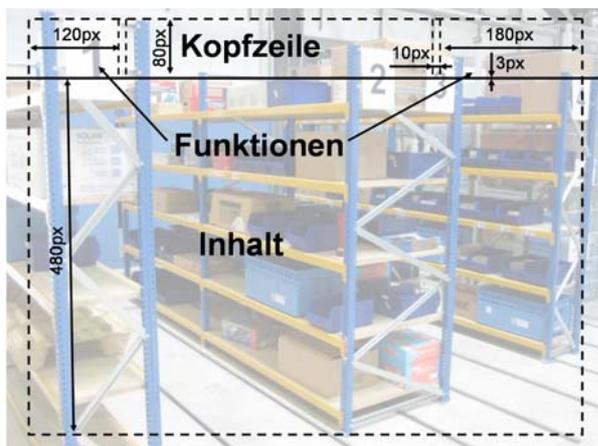


Abbildung 4-10: Einteilung des GUI

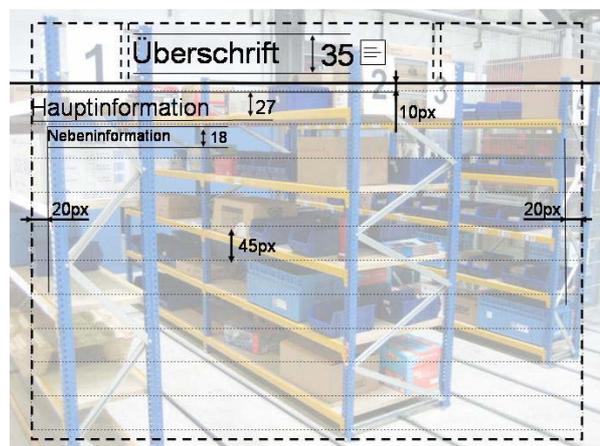


Abbildung 4-11: Schriftgrößen im GUI

Es gibt drei Schriftgrößen in einer Schriftart (Arial). Die Schriftgrößen sind 35 Pixel für die Kopfzeile, 27 für die Haupt- und 18 die Nebeninformationen. Die Seitenüberschrift wird linksbündig und in der Höhe mittig in der Kopfzeile ausgerichtet (siehe Abbildung 4-11). Der Aufbau des Inhaltfensters hängt von den dargestellten Daten ab. Der Inhalt beginnt zehn Pixel unterhalb der Trennlinie zur Kopfzeile. Die Seite wird in Zeilen mit einer Höhe von 45 Pixel eingeteilt (10 Zeilen). Unter einer Überschrift rücken die Informationen um 20 Pixel ein. Auf der rechten Seite befindet sich generell ein Rand von 20 Pixel, z. B. für eine Scrollleiste. Auf den Einsatz von farblichen Elementen wird beim monochromen Nomad verzichtet. Deswegen werden andere Mittel benutzt, um Text hervorzuheben (Schriftstärke, Umrandungen).

Für die Benutzerfreundlichkeit muss dem Kommissionierer angezeigt werden, welche Interaktionen verfügbar sind (siehe Abbildung 4-12). Der Zustand „verfügbar“ eines Objektes wird durch eine schwarze Farbe (im Nomad rot), der Zustand „nicht verfügbar“ durch invertierte Symbole dargestellt. Befindet sich ein Interaktionsobjekt im Fokus (aktives Objekt), lässt sich die mit dem Objekt verbundene Aktion auslösen. Das aktive Objekt ist durch einen Rahmen, der so genannten Fokusmarkierung, gekenn-

zeichnet. Dieser Balken reicht bei Menüs von einer Seite zur anderen und hat eine Höhe von 40 Pixel.

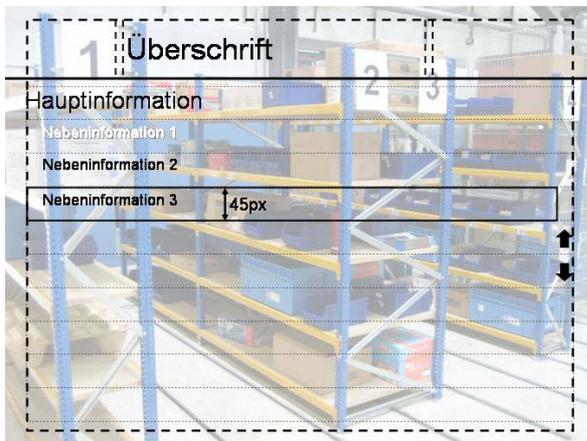


Abbildung 4-12: Zustände für Elemente (nicht verfügbar, verfügbar, aktiv)



Abbildung 4-13: verfügbare Funktionsleiste

Ist das Inhaltsfenster aktiv, werden die Icons in der Kopfzeile als „nicht verfügbar“ dargestellt. Erst wenn die Kopfzeile aktiviert wird, stehen die Icons zur Auswahl. Das aktive Icon ist mit einer Umrandung gekennzeichnet (siehe Abbildung 4-13). Es gibt nur vier Icons. Das Haus steht für den Sprung auf die Startseite, der Pfeil für das Rückgängigmachen des letzten Schritts, die Quader mit dem Blitz für das Fehlermanagement und die Quader mit dem Pfeil für die Rückkehr zum Auftrag.

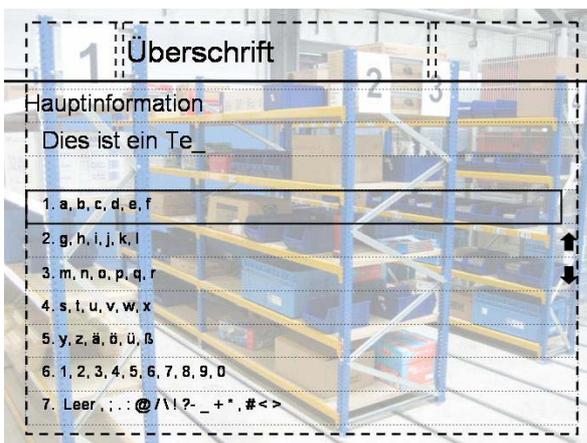


Abbildung 4-14: grobe Texteingabe (links) und feine Texteingabe (rechts)

Auch wenn bei einem AR-gestützten Kommissioniersystem nicht viele alphanumerische Eingaben nötig sind, sollte dies vorgesehen werden. Beim Dreh-/Drückknopf wird sich eng an das in ARVIKA vorgeschlagene Konzept gehalten [Beu-04] (siehe Abbildung 4-14). Zuerst kann in einem Menü eine Gruppe von Zeichen bzw. ein Steuerzeichen ausgewählt werden. Die Pfeile rechts zeigen an, dass durch das Me-

nü gescrollt werden kann. In einer Zeichengruppe kann in der gleichen Weise ein bestimmtes Zeichen ausgewählt werden. Der eingegebene Text erscheint mit einer Zeile Abstand über dieser Auswahl in der Hauptschriftgröße. An der ausgewählten Position erscheint das gerade angewählte Zeichen, das durch Invertierung hervorgehoben ist.

#### 4.3.3.4 Aufbau der einzelnen Masken

Die Masken lassen sich in drei Gruppen unterteilen. Die Masken zur Systemsteuerung (Anmelden, Einstellungen), zur Auftragsbearbeitung (Einlagern, Umlagern, Auslagern = Kommissionieren) und zum Fehlermanagement (Eingabe von Fehlmengen). Die Masken zur Systemsteuerung und zum Fehlermanagement bestehen aus Menüs bzw. Textausgaben und kurzen Texteingaben. Bei den Masken zur Auftragsbearbeitung werden graphische Elemente benötigt, deren Darstellung in unterschiedlichen Kombinationen erfolgt. Es kann die gesamte Kommissionierliste, nur die nächste Position oder als Kompromiss die nächsten drei Positionen in Textform angezeigt werden. Trotzdem werden die Positionen nacheinander, wie sie das WMS vorgibt, abgearbeitet, d. h. der Kommissionierer kann nicht jede beliebige Position auswählen. Als graphische Elemente lassen sich ein Lagerplan, Bilder des Artikels und 3D-Objekte zur Unterstützung anzeigen. Der Lagerplan wird bei der Wegfindung als Draufsicht und beim Pickvorgang als Vorderansicht eingeblendet. Das Bild erscheint nur beim Entnahmevorgang. Als 3D-Objekt wird zur Wegfindung ein Pfeil mit Blickführungsmetapher oder ein Tunnel und bei der Entnahme eine Umrandung des Lagerfachs dargestellt. Die gleichzeitige Anzeige aller Objekte ist wegen einer Überfrachtung des FoVD nicht möglich. Deswegen können nur die Karte mit dem Bild oder die 3D-Objekte angezeigt werden. Dies ergibt die in Tabelle 4-3 aufgeführten Kombinationen.

darzustellende Information		Text	2D-Graphiken		3D-Graphiken	
			Karte	Bild	Pfeil / Tunnel	Umrandung
1 Position	Weginfo	x	x	-	x	-
	Pickinfo	x	x	x	-	x
3 Positionen	Weginfo	x	x	-	x	-
	Pickinfo	x	x	x	-	x
Liste	Weginfo	x	-	-	x	-
	Pickinfo	x	-	-	-	x

Tabelle 4-3: mögliche graphische Darstellungen für einen Kommissionierauftrag

Die einzelnen Masken sowie die Navigation in diesen Masken mit den beiden Interaktionsgeräten Dreh-/Drückknopf und Spracheingabe zeigt Tabelle 4-4. Der Menüpunkt „Menüleiste“ dient zum Sprung in die Funktionsleiste. Dieses allgemeine Konzept kann auf die drei ausgewählten Szenarien übertragen werden.

Bild der Maske	Beschreibung	Interaktion
<b>Anmeldung, Startmenü und Einstellungen</b>		
	Eingabe des Benutzernamens über die Auswahl der angelegten Benutzer	DDK: mit Drehbewegung durch das Menü scrollen, Bestätigung mit Knopfdruck  Sprache: „3 aktivieren“ oder „Schmid, Franz aktivieren“
	Eingabe des Passworts	DDK: Navigation zu den einzelnen Buchstaben-gruppen mit Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck  Sprache: Passwort buchstabieren
	Startseite mit Hauptmenü mit den Punkten „Auftrag anfordern“, „Einstellungen ändern“, „Abmeldung“ und „Menüleiste“	DDK: durch das Menü scrollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck  Sprache: „3 aktivieren“ oder „Einstellungen aktivieren“
	Einstellungen für den graphischen Aufbau der GUI: Ein- und Ausschalten der Anzahl der angezeigten Positionen, die graphischen Hilfsmittel Lagerplan, Foto und 3D-Objekte	DDK: durch das Menü scrollen mit der Drehbewegung, Auswahl mit Knopfdruck  Sprache: „Lagerplan aktivieren“ bzw. „Lagerplan deaktivieren“ etc.

Bild der Maske	Beschreibung	Interaktion
<b>Auftragsbearbeitung</b>		
	<p>Auswahl der zur Verfügung stehenden Auftragsarten; im weitem wird nur das Auslagern (Kommissionieren) genauer betrachtet</p>	<p>DDK: durch das Menü scollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: „1 aktivieren“ oder „Auslagern aktivieren“</p>
	<p>Zu Beginn eines Kommissionierauftrags muss ein Sammelbehälter geholt werden. Der Weg dahin kann mit Hilfe einer Karte angezeigt werden. Ob ein bestimmter Lagerplatz oder eine Behälternummer nötig ist, hängt vom Kommissioniersystem ab.</p>	<p>DDK: durch das Menü scollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: „Behälter aufgenommen“ oder „Aktion fertig“</p>
	<p>Die Auslagerinformationen werden über die Kommissionierliste mit / ohne weitere graphische Unterstützung angezeigt. Die Wegfindung kann mit einem Pfeil unterstützt werden. Mit einer Bestätigung wird die Ankunft am Lagerplatz bestätigt.</p>	<p>DDK: durch das Menü scollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: „Aktion fertig“ oder „Lagerplatz erreicht“</p>
	<p>Die Auslagerinformationen werden über die Kommissionierliste mit / ohne weitere graphische Unterstützung angezeigt. Der Greifvorgang kann mit einer Umrandung des Lagerplatzes unterstützt werden. Mit einer Bestätigung wird die Entnahme quittiert.</p>	<p>DDK: durch das Menü scollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: „Aktion fertig“ oder Ansage der Entnahmemenge „5 fertig“</p>
	<p>Als Auslagerinformationen wird nur die aktuelle Position mit / ohne weitere graphische Unterstützung angezeigt. Die Wegfindung kann mit einer Karte oder einem Pfeil unterstützt werden, dazu ist der Text „fett“ hervorgehoben. Mit einer Bestätigung wird die Ankunft am Lagerplatz bestätigt.</p>	<p>DDK: durch das Menü scollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: „Aktion fertig“ oder „Lagerplatz erreicht“</p>

Bild der Maske	Beschreibung	Interaktion																				
 <p><b>Auslagerauftrag</b></p> <p>FB1 1-D-12</p> <p>12345 Schraube, Innensechskant, M4x10 3 Päckchen Entnahme quittieren</p> <p>Menüleiste</p>	<p>Als Auslagerinformationen wird nur die aktuelle Position mit / ohne weitere graphische Unterstützung angezeigt. Die Entnahme kann mit einer Karte oder einer Umrandung unterstützt werden, dazu ist der Text „fett“ hervorgehoben. Mit einer Bestätigung wird die Entnahme quittiert.</p>	<p>DDK: durch das Menü scrollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: „Aktion fertig“ oder Ansage der Entnahmemenge „5 fertig“</p>																				
 <p><b>Auslagerauftrag</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Pos</th> <th>Lagerort</th> <th>Art.-Nr</th> <th>Artikel</th> <th>Menge</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>3-B-02</td> <td>12345</td> <td>xyz</td> <td>5 Stk</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4-E-05</td> <td>67234</td> <td>abc</td> <td>8 Pack</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>6-F-03</td> <td>17654</td> <td>mfk</td> <td>10 Stk</td> </tr> </tbody> </table> <p>Lagerplatz erreicht</p> <p>Menüleiste</p>	Pos	Lagerort	Art.-Nr	Artikel	Menge	1	3-B-02	12345	xyz	5 Stk	2	4-E-05	67234	abc	8 Pack	3	6-F-03	17654	mfk	10 Stk	<p>Als Auslagerinformationen werden nur die nächsten drei Positionen mit / ohne weitere graphische Unterstützung angezeigt. Die Wegfindung kann mit einer Karte oder einem Pfeil unterstützt werden, dazu ist der Text „fett“ hervorgehoben. Mit einer Bestätigung wird die Ankunft am Lagerplatz bestätigt</p>	<p>DDK: durch das Menü scrollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: „Aktion fertig“ oder „Lagerplatz erreicht“</p>
Pos	Lagerort	Art.-Nr	Artikel	Menge																		
1	3-B-02	12345	xyz	5 Stk																		
2	4-E-05	67234	abc	8 Pack																		
3	6-F-03	17654	mfk	10 Stk																		
 <p><b>Auslagerauftrag</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Pos</th> <th>Lagerort</th> <th>Art.-Nr</th> <th>Artikel</th> <th>Menge</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>3-B-02</td> <td>12345</td> <td>xyz</td> <td>5 Stk</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4-E-05</td> <td>67234</td> <td>abc</td> <td>8 Pack</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>6-F-03</td> <td>17654</td> <td>mfk</td> <td>10 Stk</td> </tr> </tbody> </table> <p>Entnahme quittieren</p> <p>Menüleiste</p>	Pos	Lagerort	Art.-Nr	Artikel	Menge	1	3-B-02	12345	xyz	5 Stk	2	4-E-05	67234	abc	8 Pack	3	6-F-03	17654	mfk	10 Stk	<p>Als Auslagerinformationen werden nur die nächsten drei Positionen mit / ohne weitere graphische Unterstützung angezeigt. Die Entnahme kann mit einer Karte oder einer Umrandung unterstützt werden, dazu ist der Text „fett“ hervorgehoben. Mit einer Bestätigung wird die Entnahme quittiert.</p>	<p>DDK: durch das Menü scrollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: „Aktion fertig“ oder Ansage der Entnahmemenge „5 Stück“</p>
Pos	Lagerort	Art.-Nr	Artikel	Menge																		
1	3-B-02	12345	xyz	5 Stk																		
2	4-E-05	67234	abc	8 Pack																		
3	6-F-03	17654	mfk	10 Stk																		
 <p><b>Auftrag vollständig</b></p> <p>Alle Positionen des Auftrags kommissioniert. Gehen Sie zum Abgabeort.</p> <p>Abgabe bestätigen</p> <p>Menüleiste</p>	<p>Ist der Auftrag fertig, wird dies und ggf. der Weg zum Abgabeort mit graphischer Unterstützung angezeigt.</p>	<p>DDK: durch das Menü scrollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: „Aktion fertig“ oder Ansage der Entnahmemenge „5 Stück“</p>																				
<b>Fehlermanagement</b>																						
 <p><b>Fehlermanagement</b></p> <p>Wählen Sie eine Fehlerart aus.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Mengenfehler</li> <li>Typfehler</li> <li>Zustandsfehler</li> <li>Menüleiste</li> </ol>	<p>Im Fehlermanagement können verschiedene Fehlerarten ausgewählt werden.</p>	<p>DDK: durch das Menü scrollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: „1 aktivieren“ oder „Mengefehler aktivieren“</p>																				

Bild der Maske	Beschreibung	Interaktion
	<p>Neben den Artikeldaten wird auch der Lagerort angegeben. Die Eingabe der Anzahl erfolgt wie das Eingeben von Buchstaben.</p>	<p>DDK: durch das Menü scrollen mit der Drehbewegung, Bestätigung mit Knopfdruck</p> <p>Sprache: Anzahl buchstabieren</p>

**Tabelle 4-4: Einzelnen Masken und die Interaktion in den Masken mit den beiden Eingabegeräten Dreh-/Drückknopf (DDK) und Spracheingabe**

#### 4.3.4 Evaluierung und Bewertung der Benutzerschnittstelle

Die Evaluierung der Akzeptanz der entwickelten Benutzeroberfläche erfolgte mit Fragebögen (siehe Anhang C). 16 Mitarbeiter (Logistikleiter, Lagerleiter, Lagermitarbeiter) mit einer durchschnittlichen Berufserfahrung von 15 Jahren aus vier am Projekt beteiligten Unternehmen begutachteten die Datenbrille und die Interaktionsgeräte. Einzelne Masken zu allen Prozessschritten in der Kommissionierung wurden über das HMD angezeigt und der Gesamteindruck bewertet (z. B. siehe Maske in Abbildung 4-15). Nahezu jeder Teilnehmer hatte bereits mit einer Pickliste, aber kaum jemand mit PbV oder PbL gearbeitet. In etwa 20 % machten bereits Erfahrungen mit Sprachsystemen und gut ein Drittel mit MDTs. Es war kaum Erfahrung im Bereich AR/VR oder mit Datenbrillen vorhanden.

Die Ergebnisse bestätigten die Erkenntnisse zu den im Kommissionierprozess anzuzeigenden Daten. Der Lagerplatz, der Artikel und die Entnahmemenge sind unerlässlich. Eine grafisch unterstützte Wegfindung halten 73 % für unnötig. Die wichtigsten Systemeingaben sind die Bestätigung von Arbeitsschritten und die Eingabe von Fehlmengen. Dazu gibt es kein bevorzugtes Eingabegerät (Dreh-/Drückknopf, Sprache, Button). Dem Nomad wird ein guter Tragekomfort bescheinigt, aber es hat ein zu hohes Gewicht und das FoVD wird durch die virtuellen Daten aufgrund der hohen Informationsdichte eingeschränkt. Die Schriftgröße und der Kontrast sind gut und die Mehrzahl der Probanden hatte keine Probleme mit der monokularen Visualisierung. Die Anzeige der nächsten drei Positionen in Textform scheint am sinnvollsten. 3D-Daten (z. B. Pfeile) wird ein Potenzial eingeräumt, während 2D-Karten und Bilder keine entscheidenden Verbesserungen bringen. Die virtuellen Daten sind unterstüt-

zend und die entwickelte GUI wird als völlig ausreichend für den Kommissionierprozess angesehen. Es ist aber die Entwicklung neuer Datenbrillen notwendig (geringeres Gewicht, besserer Tragekomfort etc.). Eine hohe Akzeptanz eines derartigen Systems wird erreicht, wenn die Kommissionierer Mitsprache bei der Einführung haben<sup>15</sup> und eine individuelle Anpassbarkeit der Informationsdarstellung möglich ist. 80 % der Befragten können sich eine Teilnahme an einer Versuchsreihe vorstellen und glauben, dass sich das System in fünf bis zehn Jahren durchsetzen wird.

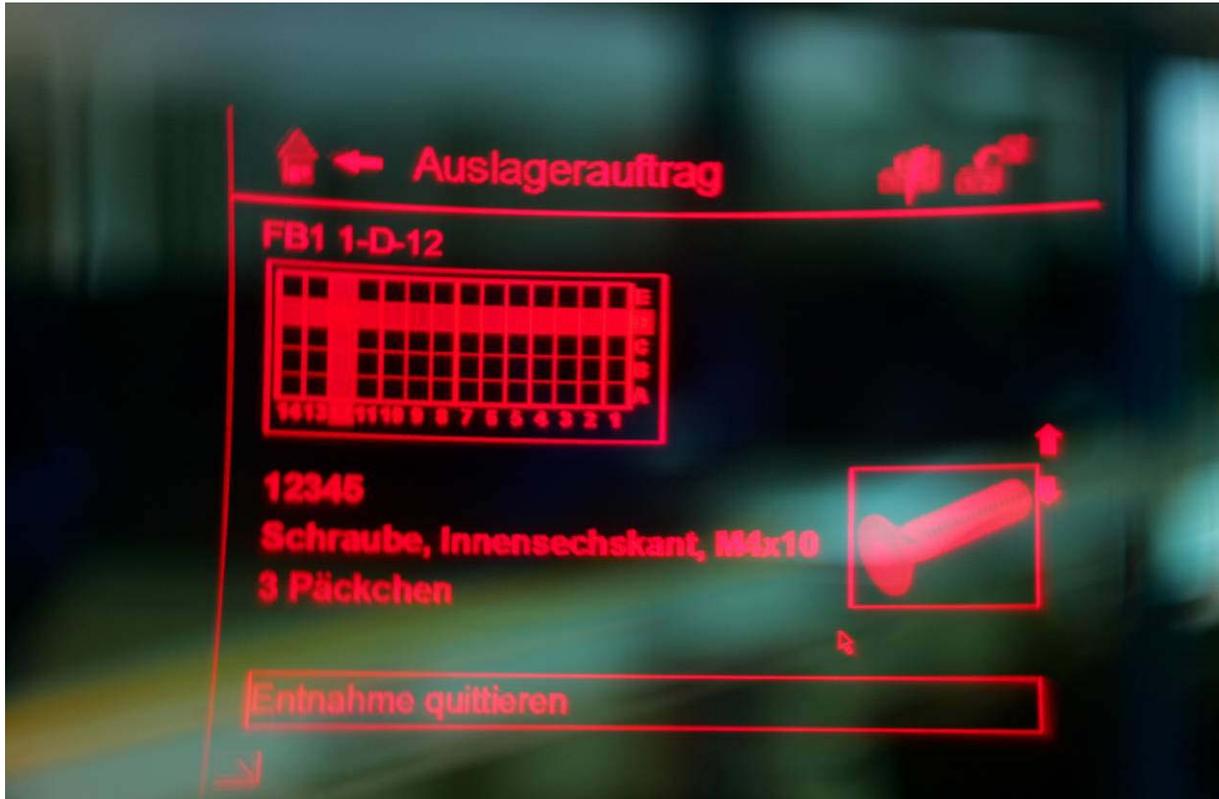


Abbildung 4-15: Blick durch das Nomad mit einer möglichen Visualisierung (2D-Karte in der Vorderansicht, Bild, Positionsdaten). Die Verzerrung im Randbereich eines VRD ist am linken Rand deutlich zu sehen.

<sup>15</sup> Zum Thema Einführung einer neuen Technologie (u. a. Datenbrillen) und deren Akzeptanz bei Mitarbeitern siehe [Sau-07]

## 5 Entwicklung eines Systems ohne Tracking (FM1)

Mit den Erkenntnissen aus den vorherigen Kapiteln wird ein funktionsfähiges Pick-by-Vision-System entwickelt. Beim FM1 wird auf den Einsatz eines Trackingsystems verzichtet und somit werden nur statische Daten (Text, Bilder) angezeigt.

### 5.1 Vorgehen beim Aufbau des Funktionsmusters 1

Zum FM1 gehören mehrere Komponenten: zum einen der Aufbau einer Lagerumgebung, zum anderen die Hard- und Software. Die Lagerumgebung setzt sich aus der Lagereinrichtung mit den Regalen, den Lagerhilfsmitteln, den Artikeln, dem Abgabepplatz, den Sammelbehältern etc. zusammen. Dieses Kommissioniersystem soll für die Laboruntersuchungen in diesem Forschungsvorhaben genutzt werden. Die Hardware umfasst das HMD, den tragbaren Rechner, das Interaktionsgerät, den WMS-Server und die entsprechende Funkinfrastruktur. Zur Software zählen das WMS und die Softwarekomponenten, die die Daten aus dem WMS in die Visualisierung und die Benutzereingaben in Befehle an das WMS umwandeln.

Das FM1 wird in einem iterativen Prozess entwickelt. Es wird zuerst ein System mit einer minimalen Anzahl an Funktionen aufgebaut. Nach und nach kann es optimiert und um weitere Funktionen ergänzt werden. Das FM1 soll zunächst nur Textinformationen anzeigen, die den Kommissionierer beim Holen des Sammelbehälters, dem Auffinden des Lagerplatzes, der Entnahme und der Abgabe des Auftrags unterstützen. Nach einer ersten Evaluierung wird es weiter optimiert. Da das System später in einem Feldversuch getestet werden soll, ist darauf zu achten, dass standardisierte Technologien verwendet werden. Dies sollen hardwareunabhängig sein und über standardisierte Schnittstellen (z. B. TCP/IP<sup>16</sup>, XML<sup>17</sup>) verfügen, um es ohne großen Aufwand in die Systeme der Industriepartner integrieren zu können.

---

<sup>16</sup> TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol): Netzwerkprotokoll im Internet zum Datenaustausch

<sup>17</sup> XML (Extensible Markup Language): Auszeichnungssprache zur Darstellung hierarchisch strukturierter Daten in Form von Text

## 5.2 Umsetzung und Aufbau des Funktionsmusters 1

In diesem Kapitel wird die Lagerumgebung für die Evaluierung, die Einbindung in das WMS und der Softwareaufbau des FM1 beschrieben.

### 5.2.1 Lagereinrichtung und -inhalt

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml wurde ein Regalaufbau aus zwei Gassen realisiert. Die Länge der Regale beträgt 3.360 mm, die Tiefe eines Regals 400 mm und die Breite der Gasse 1.000 mm. Ein Regal ist in zwei Lagerfächer mit 1.600 mm eingeteilt. Die Höhe des Regals mit fünf Fachböden ist 2.000 mm, wobei sich die höchste Regalebene aufgrund der manuellen Bedienung und den daraus folgenden ergonomischen Anforderungen auf maximal 1.800 mm befindet und die Abstände der Regalebenen bei 400 mm liegen. Die Einteilung der Lagerplätze ist nicht nur für das WMS wichtig, sondern auch für den späteren Einsatz eines Trackingsystems. Ein Lagerplatz ist 220 mm breit und 400 mm tief, so dass sieben in ein Regalfach passen. Somit stehen 280 Lagerplätze zur Verfügung. Bei der Beschriftung der Lagerplätze sind einige Regeln zu beachten, damit Fehler beim Ablesen reduziert werden können ([DLA-06], [Vog-97]). Durch das Abwechseln von Ziffern und Buchstaben können die einzelnen Elemente der Lagerplatzbezeichnung unterschieden werden. Die Lagerplatzbezeichnung besteht aus einer Ziffern für die Zeile, einem Buchstaben für die Ebene und wiederum einer Ziffern für den Platz. Somit ist die Beschriftung nicht nur eindeutig, sondern auch klar strukturiert und gut ablesbar. Das Lager besteht aus vier Zeilen, die am Gassenanfang mit den Ziffern 1-4 gekennzeichnet sind. Die Ebenen werden von unten beginnend mit den Buchstaben A bis E und die Lagerplätze einer Ebene am Gassenanfang beginnend mit 1 bis 14 durchnummeriert. Ein Lagerplatz ist nun beispielhaft mit 1 E 13 beschriftet. Diese Beschriftung wurde an jedem Lagerfach mit magnetischen Schilder angebracht. Als Lagerhilfsmittel dienen für ein Kommissionierlager übliche Sichtlagerkästen mit den Abmaßen 210 x 330 mm und Kleinladungsträger (KLT) mit 600 x 400 mm. Bei einer Höhe von 280 mm müssen die KLT beim Hineingreifen etwas aus dem Regal gezogen werden. Wenn ein Artikel die Abmaße hat, dass davon mindestens zwei Stück in diesen Sichtlagerkästen Platz finden können, wird dieser darin gelagert. Größere Artikel werden in den KLT oder ohne Lagerhilfsmittel eingelagert. Da die KLT und einige Kartons breiter als ein Lagerplatz sind, belegen diese

entsprechend ihrer Größe mehrere Lagerplätze. Mehrere Industriepartner stellten kleine und mittlere etikettierte Schachteln für kleine Normteile wie Schrauben in verschiedenen Größen zur Verfügung. Die Schachteln sind entweder leer oder mit den entsprechenden Artikeln gefüllt. Dazu werden Arzneimittel- und weitere Kartonagen aller Größen, sowie Papierware wie Broschüren, Projektblätter und Flyer ohne und mit Lagerhilfsmittel gelagert. Für die unetikettierten Artikel wurde ein einheitliches Etikett erstellt, damit sie leichter zu erkennen sind. Alle Artikel besitzen eine eigene eindeutige Artikelnummer, deren Aufbau variiert. Alle Artikel wurden chaotisch eingelagert. Um das Kommissioniersystem zu vervollständigen muss noch eine Basis festgelegt werden. Pick-by-Vision ist beleglos, so dass an der Basis nur der Sammelbehälter geholt und die Ausrüstung angelegt wird. Die Basis ist ein Tisch, der je nach Bedarf aufgestellt und platziert werden kann. Als Sammelbehälter dient ein KLT, der auf einem Kommissionierwagen transportiert wird.

### **5.2.2 Abbildung der Lagerumgebung im WMS**

Das WMS PROLAG<sup>®</sup> World liefert die Daten für die Kommissionierung mit Pick-by-Vision. Im Folgenden wird beschrieben, wie der Lageraufbau und der Lagerinhalt im WMS abgebildet werden. Alle Artikel besitzen eine eindeutige Artikelnummer ohne führende Nullen und erhalten eine Beschreibung sowie eventuell eine ausführlichere Zusatzbeschreibung. Dazu werden die Abmessungen in Millimeter, das Gewicht einer Verpackungseinheit in Gramm und eine Standardliefermenge eingetragen. Da auch das Anzeigen von Bildern über das AR-System möglich sein soll, wurde für die Artikel Fotos der realen Verpackungseinheit, sowie bei den Normteilen Zeichnungen, weil sich die Verpackungseinheiten kaum unterscheiden, hinterlegt. Jedem Artikel galt es die vorhandenen Standardkommissionierstrategien sowie ein Lagerhilfsmittel (Sichtlagerkästen der Größe 206 x 328 x 148 mm und KLT in der Größe 400 x 600 x 280 mm) zuzuordnen. Aufgrund der Einlagerung einiger Papierwaren und Kartons ohne Lagerhilfsmittel wurden für diese dummy-Lagerhilfsmittel in der ein-, zwei oder dreifachen Breite des Lagerfachs erstellt. Je nach Größe der Artikel werden sie auf den jeweiligen Dummys eingelagert. Als Sammelbehälter für die Kommissionierung lies sich der KLT verwenden. Vor der Generierung des Lagers wird die Einteilung eines Regalfachs in Lagerplätze vorgenommen. Diese Einteilung ist für alle Regale in diesem Lager gleich. Ein Lagerplatz wird mit einer Breite von

220 mm, einer Tiefe von 400 mm und einer Höhe 400 mm festgesetzt. Die Standardlagerfachbeschriftung des WMS wird an die verwendete Lagerfachbeschriftung angepasst. Mit diesen Daten ist nun eine Lagerverwaltung der Testumgebung und die Generierung von Kommissionieraufträgen möglich (siehe Abbildung 5-1).

The screenshot shows a web browser window with the title 'Ungeplante Entnahme'. The page header includes 'CIM GmbH' and the address 'Livny-Gargan-Str. 10, 82256 Fürstenfeldbruck'. The main content area contains a form with the following fields:

- Eigentümer: PUBLIC (dropdown)
- Logistikzentrum: (dropdown)
- Auftragsnummer: SYS14381
- Unterauftragsnummer: 0
- Auftragseingabe: (button)
- Entnahmestrategie: FIFO (dropdown)
- Beschreibung: null
- Kundennummer: 1
- Tourensteuerung: Selbstabhöler (dropdown)
- Lieferdatum: 24.03.2006 13:09:59.826

Below the form is a table with the following columns: Artikelnummer, Artikelbeschreibung, Menge, Mengeneinheit, Charge, Palettennummer, Packing list. The table contains one row with the value '1' in the 'Menge' column.

At the bottom of the form are buttons: 'Neu', 'Löschen', 'Abschließen', and 'Start'.

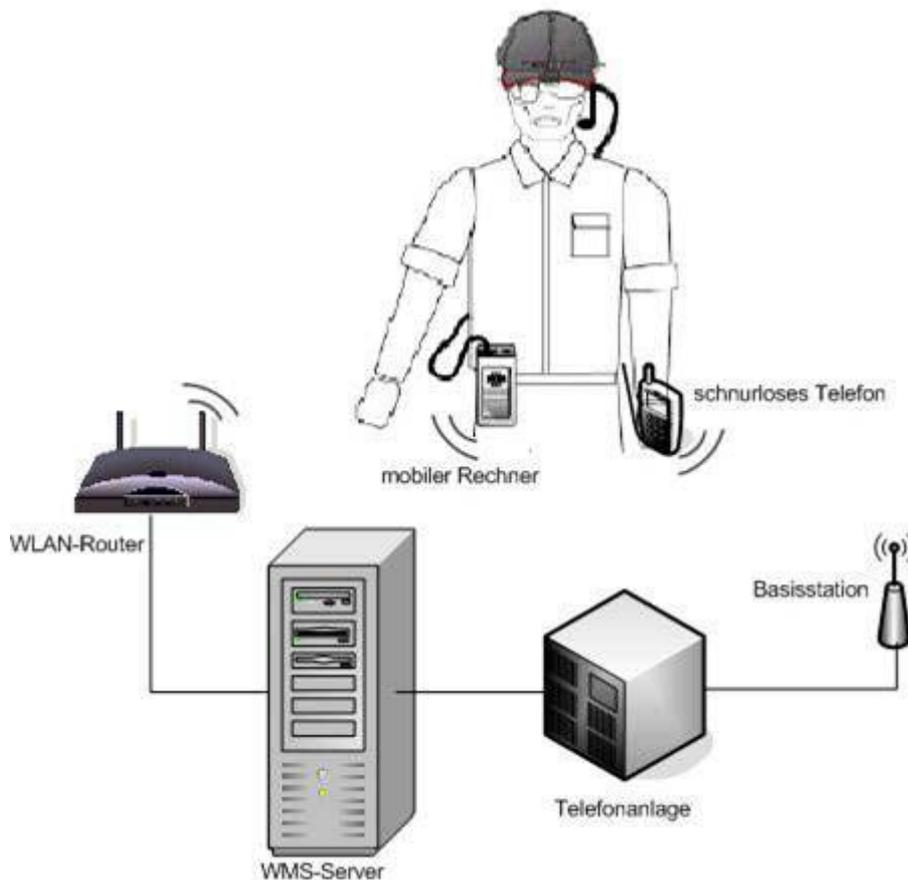
Below the buttons is another table with the following columns: Artikelnummer, Menge, Mengeneinheit, Charge, Palettennummer, Packing list. The table contains one row with the value '4711' in the 'Artikelnummer' column, '1' in the 'Menge' column, and a dropdown arrow in the 'Mengeneinheit' column.

Abbildung 5-1: Erzeugung eines Auslagerauftrags im WMS

### 5.2.3 Softwareaufbau des Funktionsmusters 1

Bei den ersten Überlegungen für den Aufbau eines Pick-by-Vision-Systems wurde erkannt, dass vorhandene Komponenten des WMS dafür genutzt werden können, um Pick-by-Vision einfach in das WMS zu integrieren. Zusammen mit dem Projektpartner CIM GmbH wurde das FM1 umgesetzt, das auf dem Staplerleitsystem und einer im WMS mit der Software SpeaKING® der MediaInterface Dresden GmbH implementierten PbV-Lösung basiert (siehe Abbildung 5-2). Das Staplerleitsystem wird über das Nomad visualisiert, indem der Rechner des Nomad über eine Remote-Desktop-Verbindung auf den WMS-Server zugreift. Die Interaktion erfolgt über Spracheingabe. Auf dem mobilen Rechner des Nomad mit Windows CE konnte keine eigenständige Anwendung erstellt werden, so dass auf die Lösung über Remote zurückgegriffen wurde. Somit erfolgt eine online-Anbindung über WLAN an das

WMS. Dies ist keine wünschenswerte Client-Lösung, aber für die Untersuchungen in diesem Projekt mit nur jeweils einem Kommissionierer ausreichend. Als Eingabegerät wurde die Spracheingabe eines im WMS prototypenhaft implementierten PbV-Systems verwendet. Die Entwicklung dieses Systems erfolgte unabhängig von Pick-by-Vision, so dass es auch als eigenständiges PbV-System verwendet werden kann. Die Spracherkennung der Software SpeaKING® wird über ein ActiveX-Control komfortabel in Anwendungen in ein an das WMS gekoppelte Visual Basic Programm integriert (siehe Abbildung 5-3). SpeaKING® verwendet den Spracherkenner SpeaKING® Engine, der sprecherunabhängig arbeitet und Schlüsselwörter aus der fließenden Rede erkennt. Systemausgaben können jederzeit durch „Hineinsprechen“ unterbrochen werden. Als Hardware sind dafür eine Telefonanlage, ein DECT-Telefon und ein über Kabel angeschlossenes Headset nötig. Bei professionellen PbV-Lösungen werden viel leistungsfähigere, aber auch teurere Headsets verwendet, die auch über Bluetooth mit dem mobilen Rechner verbunden sein können.



**Abbildung 5-2: Aufbau des FM1**

Mit diesem ersten System kann die Abarbeitung eines Kommissionierauftrags (Auslagerauftrag) durchgeführt werden. Dieser beginnt mit der Eingabe des Auftrags im

WMS. Nach der Anmeldung wählt der Benutzer seinen Auftrag aus und nimmt einen Behälter auf. Anschließend werden ihm alle Informationen zur nächsten Positionen angezeigt. Er muss die Ankunft am Lagerort bestätigen und die Entnahme quittieren. Am Ende des Auftrags gibt er den Behälter am Kontrollplatz ab. Dabei bestätigt er jede Aktion mit einem Sprachkommando.

Bei einem System mit einer Datenbrille sieht nur der Benutzer die Daten. Für den Außenstehenden ist somit schwer nachzuvollziehen, welche Daten dieser gerade vor sich hat und wo er sich im Prozessablauf genau befindet. Damit bei der Durchführung von Versuchsreihen die Versuchsleitung den Prozessablauf verfolgen kann, läuft das System auf zwei Rechnern. Die Konsole für das Staplerleitsystem wird auf einem Rechner visualisiert, auf den das Nomad per Remote-Desktop zugreift. Da unter Windows XP nur eine Session offen sein kann, wird dieser Rechner gesperrt. Anhand der Visualisierung kann der Prozessstand somit nicht nachvollzogen werden. Auf dem zweiten Rechner laufen das WMS und die Sprachsteuerung. Die Konsole der Sprachsteuerung zeigt den aktuellen Stand im Prozess sowie die gerade möglichen Spracheingaben an (siehe Abbildung 5-3). Es sind außerdem falsche Spracheingaben dargestellt und es können weitere Einstellungen, wie z. B. das Setzen der Funktion zur Spracheingabe während Sprachausgaben, vorgenommen werden. Ein weiterer Vorteil der Verteilung auf zwei Rechner ist, dass auch das WMS stets zur Verfügung steht und während des Betriebs von Pick-by-Vision Aufträge angelegt, eingesehen und verwaltet werden können.



Abbildung 5-3: Sprachkonsole (links) und dazugehörige Anzeige für den Kommissionierer (rechts)

### 5.3 Erste Evaluierung des Funktionsmusters 1

Innerhalb einer Versuchsreihe des Forschungsverbundes ForLog wurde das FM1 in diesem frühen Stadium mit untersucht [Rei-07]. 17 junge Probanden (94 % waren unter 35 Jahren) vor allem aus dem akademischen Umfeld (88 %) bearbeiteten die gleichen sieben Aufträge mit einer Papierliste, einem einfachen PbV-System und dem um eine Datenbrille ergänzten PbV-System (= FM1) sowie in einer komplett virtuellen Umgebung im VR-Labor des Lehrstuhls fml<sup>18</sup>. Es ist davon auszugehen, dass die Probanden positiv und aufgeschlossen gegenüber neuen Technologien eingestellt sind und diese gerne in Versuchsreihen ausprobieren. Bei den subjektiven Beanspruchungskriterien wurde Pick-by-Vision sehr positiv bewertet. Die kognitive Beanspruchung war sehr niedrig, die Motivation und die Benutzerakzeptanz hoch. Bei den logistischen Kennzahlen Kommissionierzeit und -fehler schnitt die Papierliste aufgrund des einfachen Kommissionierszenarios und der kurzen Anlernphase am besten ab. PbV und Pick-by-Vision wurden im Prototypenstadium getestet. Bei PbV zeigte sich, dass es noch deutliche Optimierungspotenziale hinsichtlich der Spracherkennung, aber auch des Prozesses gibt. Die Spracheingaben wurden oft nicht erkannt und mussten oft wiederholt werden, was zu einer Demotivation der Probanden führte. Eine Wiederholung der Sprachausgaben war nicht vorgesehen, wodurch viele Fehler entstanden, weil sich bei der Lagerplatzbeschriftung die Buchstaben für die Ebenen sehr ähnlich anhören (B, C, D, E). Da Pick-by-Vision auf der selben Sprachsteuerung basiert, gab es die gleichen Entwicklungsmöglichkeiten. Eine der wichtigsten Änderungen liegt darin begründet, dass die Sprachausgabe nicht gebraucht wird und diese einfach abgeschaltet werden kann. Die Probanden hatten aufgrund der visuellen Unterstützung keine Probleme mit ähnlichen Ausdrücken oder damit, dass Ansagen nicht wiederholt werden konnten. Einige würden auf das Sprachsystem verzichten und lieber andere Interaktionsgeräte wie Taster verwenden. Auch das Erkennen von Eingaben erst nach Abschluss einer kompletten Sprachausgabe, wurde als störend empfunden. Beispielsweise war eine Quittierung erst nach der Ansage des kompletten Lagerplatzes möglich, was für Pick-by-Vision mit der grafischen Unterstützung nicht nötig war. Die Ergonomie von Headset und Brille und v. a. das Ver-

---

<sup>18</sup> Die Untersuchung in VR wurde innerhalb des Forschungsverbundes ForLog am Lehrstuhl fml durchgeführt [Rei-07].

rutschen wurde als störend bezeichnet. Ein Befehl für das Aus- und Wiedereinschalten des Bildschirms wurde vermisst. Grundsätzlich half die visuelle Unterstützung über die Probleme beim Verstehen der Sprache hinweg. Trotzdem sind weitere Optimierungen hinsichtlich des Interaktionskonzepts, aber auch der Ergonomie nötig. Einige der Nachteile dieser ersten Variante des FM1 entstanden durch die Vorteile der schnellen Entwicklung eines in den Datenfluss integrierten Systems. Bei der Visualisierung ist man an die Vorgaben des Staplerleitsystems gebunden, die anderen Anforderungen an die Visualisierung unterliegen denen bei einem HMD. Die angezeigten Informationen für einen Staplerfahrer unterscheiden sich von den Daten eines manuellen Kommissioniersystems. Nicht nur an der Visualisierung, sondern vor allem an der Spracheingabe müssen noch weitere Verbesserungen vorgenommen werden.



Abbildung 5-4: FM1 mit Datenbrille und Headset für die Sprachinteraktion

In der ersten Versuchsreihe zeigten sich Potenziale von Pick-by-Vision. Die Fehlerrate war von Anfang an niedrig, aber trotzdem noch zu hoch für den industriellen Einsatz. Die Probanden bewerteten das System trotz seiner rudimentären Umsetzung sehr gut und es waren große Fortschritte zwischen dem ersten und zweiten Auftrag ersichtlich (Lern- bzw. Einübungseffekt). Einige Probanden waren fast so schnell bzw. sogar schneller als mit der Kommissionierliste. Etwas Erfahrung im Umgang mit AR-/VR-Systemen bringt erhebliche Zeit- (über 30 %) und Qualitätsvorteile (über 30 % weniger Fehler).

## 5.4 Weiterentwicklung des Funktionsmusters 1

Nach der ersten Versuchsreihe mussten einige Optimierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Diese betreffen vor allem die beiden Bereiche Visualisierung und Sprachsteuerung. An der Hardware wurde nichts geändert (siehe Abbildung 5-4). Bei der Visualisierung wurde die Anzahl der dargestellten Informationen in jedem Prozessschritt auf das Wesentliche beschränkt und die Anordnung angepasst. Die in Kapitel 4.3.3.3 vorgeschlagene GUI konnte aufgrund der Berücksichtigung der Visualisierungsmöglichkeiten des WMS nur teilweise umgesetzt werden. Einen Überblick über die einzelnen Masken der Benutzeroberfläche gibt Tabelle 5-1. Der Benutzer bekommt zu allen Aktionen ein optisches Feedback, so dass er an jeder Stelle des Prozesses geführt wird. Als weitere Hilfe ist ein Sprachbefehl eingebaut, der eine akustische Hilfe aufruft. Dabei werden dem Benutzer die möglichen Spracheingaben aufgezählt. Die einzige Systemeinstellung ohne optisches Feedback ist das Mikrofon. Es ist durch kein optisches Symbol erkennbar, ob es ein- oder ausgeschaltet ist. Da dies ein wichtiger Punkt ist, gilt es diesen bei weiteren Arbeiten zu integrieren.

Bild der Maske	Beschreibung	Interaktion
<b>Anmeldung, Startmenü und Einstellungen</b>		
	Eingabe des Benutzernamens	Ansage des Namens: z. B. „Testperson“

## 5 Entwicklung eines Systems ohne Tracking (FM1)

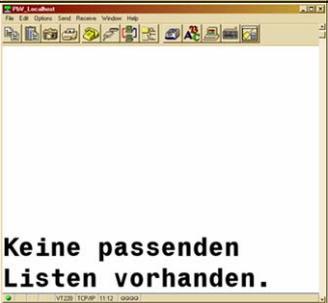
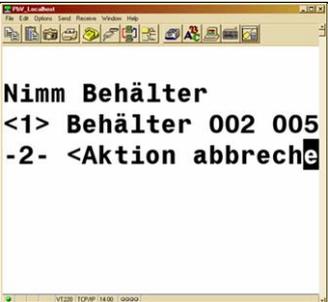
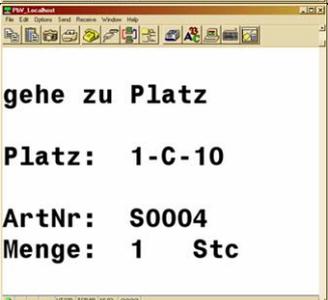
Bild der Maske	Beschreibung	Interaktion
 <p><b>Pick-by-Vision Lehrstuhl fm1 CIM GmbH</b></p> <p><b>Benutzername:</b> <b>Passwort:</b> █</p>	Eingabe des Passworts	Ansage des Passworts: z. B. „eins zwei“
 <p><b>&lt;1&gt; Aktion Auslagern -2- Aktion Einlagern -3- Aktion Umlagern -4- &lt;Aktion abreche</b></p>	Startseite mit Hauptmenü mit den Punkten Auslagern (= Kommissionieren) und Aktion abrechen (= Logout) sowie den deaktivierten Aktionen Einlagern und Umlagern	Beginn der Kommissioniervorgangs mit „Aktion Auslagern“ und Logout mit „Aktion abrechen“
 <p><b>Keine passenden Listen vorhanden.</b></p>	Ist kein Auftrag vorhanden oder sind alle Aufträge abgearbeitet, erscheint diese Maske.	Die Meldung verschwindet automatisch wieder und es erscheint das Hauptmenü.
<b>Auftragsbearbeitung</b>		
 <p><b>Nimm Behälter &lt;1&gt; Behälter 002 005 -2- &lt;Aktion abreche</b></p>	Aufnahme des Kommissionierbehälters (die Zahlen geben die noch abzuarbeitende Anzahl Aufträge und Positionen an) bzw. Abbruch des Auftrags	Bestätigung der Aufnahme des Behälters mit „Aktion fertig“ bzw. Abbruch des Auftrags mit „Aktion abrechen“
 <p><b>gehe zu Platz</b></p> <p><b>Platz: 1-C-10</b></p> <p><b>ArtNr: S0004</b> <b>Menge: 1 Stc</b></p>	Daten während des Weges zum Lagerplatz; es werden auch schon die Pickdaten angezeigt	Bestätigung für das Erreichen des Lagerplatzes: „Aktion fertig“

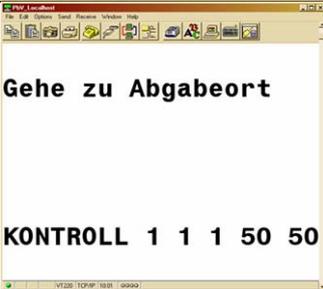
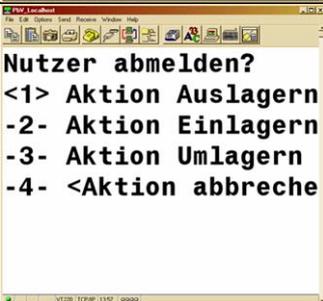
Bild der Maske	Beschreibung	Interaktion
 <p><b>Menge bestätigen</b>  <b>Platz: 1-C-10</b>  <b>ArtNr: S0004</b>  <b>Menge: 1 Stc</b></p>	<p>Nachdem der Befehl zur Ankunft am Lagerplatz erkannt wurde, wird der Kommissionierer zur Entnahme aufgefordert. Die Menge muss er mit der Ansage deren Ansage bestätigen.</p>	<p>Ansage der Entnahmemenge: z. B. „eins“</p>
 <p><b>falsche Menge</b>  <b>Platz: 1-C-10</b>  <b>ArtNr: S0004</b>  <b>Menge: 1 Stc</b></p>	<p>Hat das System eine falsche Menge verstanden, muss die Entnahmemenge erneut angesagt werden.</p>	<p>Erneute Ansage der Entnahmemenge: z. B. „eins“</p>
 <p><b>Gehe zu Abgabeort</b>    <b>KONTROLL 1 1 1 50 50</b></p>	<p>Nach der letzten Position wird der Kommissionierer aufgefordert zum Abgabeplatz zu gehen.</p>	<p>Betätigung der Abgabe des Auftragsbehälters mit „Aktion fertig“</p>
 <p><b>Nutzer abmelden?</b>  <b>&lt;1&gt; Aktion Auslagern</b>  <b>-2- Aktion Einlagern</b>  <b>-3- Aktion Umlagern</b>  <b>-4- &lt;Aktion abreche</b></p>	<p>Wird beim Menü der Logout ausgewählt, kommt nochmals eine Sicherheitsabfrage.</p>	<p>Endgültiger Logout mit „Nutzer abmelden“ oder Rückkehr ins Menü mit „Aktion weiter“</p>

Tabelle 5-1: Aufbau der Benutzeroberfläche beim FM1

Die Änderungen bei der Sprachsteuerung waren umfangreicher. Die Spracheingaben waren zu instabil. Bei der ersten Implementierung wurden mehrere Fehler begangen. Sprachbefehle werden am stabilsten erkannt, wenn sie aus zwei Wörtern mit zwei Silben bestehen. Bei zwei Silben ist die Fehlererkennung eines Wortes schon geringer. Bei zwei Worten wird dies weiter verringert. Die in manchen Befehlen verwendeten, schlecht erkennbaren Umlauten wurden ersetzt. Ausdrücke wie „äh“ und Füllwörter wie „und“ lassen sich über eine spezielle Funktion herausfiltern. Die zu große Anzahl an Sprachbefehlen wurde reduziert, so dass mit acht Eingaben (plus Benutzername und Eingabe der Ziffern 0 bis 9) durch den Kommissionierprozess von der Anmel-

derung bis zur Abmelden inklusive aller Hilfsbefehle navigiert werden kann. Für jeden Befehl ist nur noch eine Spracheingabe vorhanden. Die Sprachausgabe wurde abgestellt.

Die Spracherkennung ist für diesen Anwendungsfall ausreichend, aber reicht nicht an professionelle PbV-Systeme heran. Die Quote erkannter Befehle liegt bei ca. 90 %. Die Spracherkennung schwankte auch zwischen den Probanden sehr. Eine Verbesserung kann durch eine weitere Optimierung des Sprachsystems, aber auch durch den Einsatz eines besseren Headsets erreicht werden.

## 6 Evaluierung Funktionsmuster 1

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden mit dem FM1 zwei Versuchsreihen durchgeführt. Eine fand in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml und eine zweite praxisnahe Versuchsreihe sowie ein Praxistest in einem Distributionszentrum von Kühne + Nagel statt. Außerdem wurde das FM1 mit einer MTM-Analyse betrachtet.

### 6.1 Labortest

Diese Versuchsreihe wurde im Versuchslager des Lehrstuhls fml durchgeführt und beinhaltet den Vergleich der drei Technologien Pick-by-Vision, PbV und Papierliste.

#### 6.1.1 Versuchsaufbau Labortest

Zum Versuchsaufbau gehören die Lagerumgebung, die Kommissionieraufträge, die Kommissioniertechnologien und die eingesetzten Verfahren zur Ermittlung der subjektiven Beanspruchung.

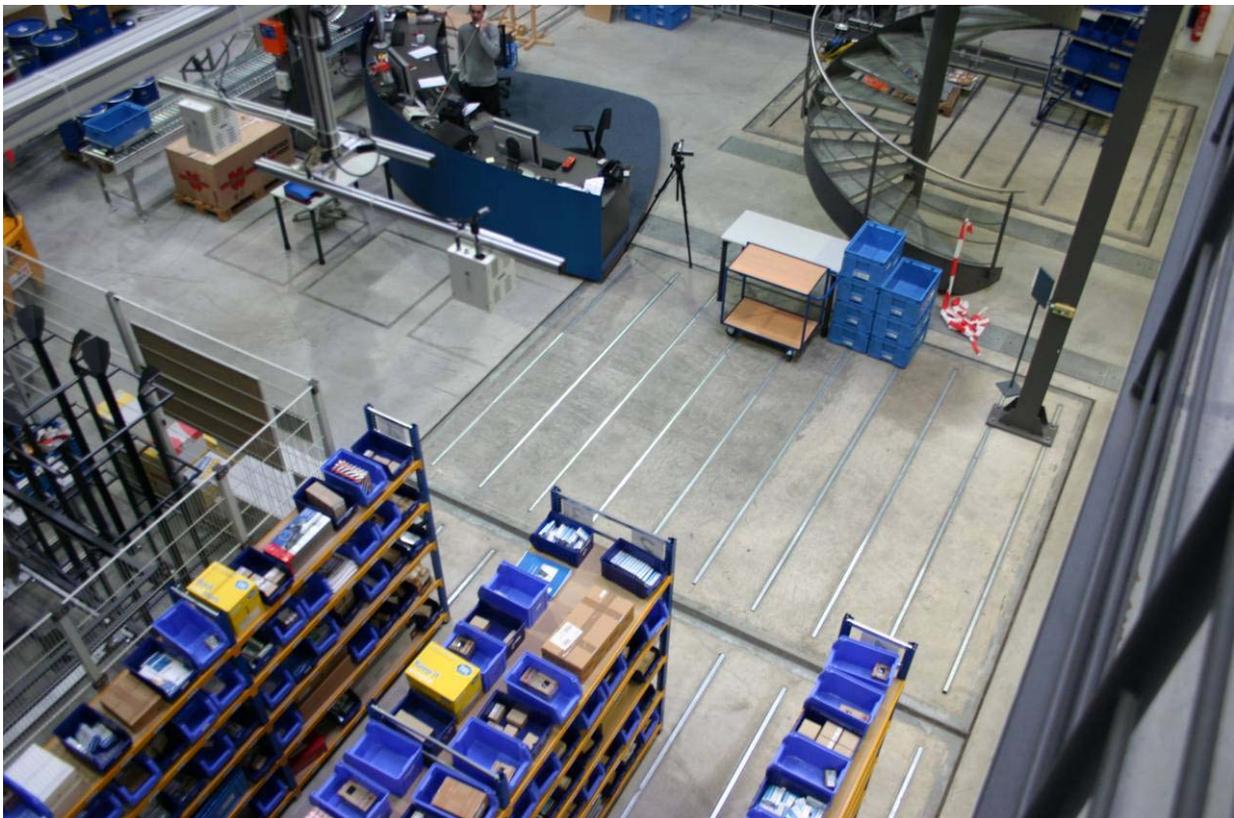


Abbildung 6-1: Lagerbereich mit Kommissioniervorzone und Leitstand

### **Versuchsumgebung**

Als Lagerbereich für die Laboruntersuchung wird das in Kapitel 5.2.1 aufgebaute Lager mit zwei Regalzeilen genutzt. Für diese Versuchsreihe war jeder der 280 Lagerplätze belegt, so dass ein Lagerfüllungsgrad von 100 % erreicht wird. Als Basis, an der der Proband startet, den Sammelbehälter holt und wieder abgibt, wird ein Tisch verwendet, der ca. drei Meter vor dem Lagerbereich aufgebaut wurde (Abbildung 6-1). Den Sammelbehälter stellten die Probanden auf einen Kommissionierwagen, den sie während der gesamten Kommissionierung mitführen mussten, d. h. der Wagen wird in die Gasse mitgenommen und nicht davor abgestellt.

### **Kommissionieraufträge**

In einer Studie zu verschiedensten Kommissioniertechniken wurde ermittelt, dass in der Praxis durchschnittlich ca. 2,2 EE/Pos üblich sind [Lol-03]. Dieser Wert wurde für die Versuchsreihe übernommen (bei 3,86 Pos/Auftrag). Die Aufträge enthalten schwere und große Artikel sowie Broschüren und Süßigkeiten (siehe Tabelle 6-1). Es werden sieben Aufträge pro Kommissioniertechnik abgearbeitet. Es ist kein expliziter Probeauftrag vorgesehen.

Auftrag	Anzahl Positionen	Entnahmeeinheiten	besondere Artikel
A1	3	7	
A2	3	7	
A3	5	10	
A4	2	5	1 x schwer
A5	5	10	1 x groß und 1 x aus KLT
A6	4	9	1 x groß
A7	5	10	1 x groß und 1 x aus KLT

**Tabelle 6-1: Auftragsstruktur beim Labortest zum FM1**

Die Probanden arbeiten bei jedem Einzelversuch mit der jeweiligen Technologie die Aufträge sequentiell ab. Alle sieben Aufträge sind bei allen drei Technologien gleich und jeder Proband beginnt mit jeder Technologie bei Auftrag 1 und beendet den Durchgang mit Auftrag 7. Die Reihenfolge der Positionen innerhalb eines Auftrags wird vom WMS wegoptimiert vorgegeben. Für jeden Probanden müssen die gleichen Aufträge in der gleichen Reihenfolge vorhanden sein (bessere Vergleichbarkeit).

### **Verwendete Kommissioniertechniken**

Es wird das Pick-by-Vision-System aus Kapitel 5.4 verwendet. Beim PbV-System wird der gleiche Workflow aus dem WMS abgearbeitet, nur dass die Visualisierung

fehlt und die Sprachausgabe aktiviert wird. Zu einem wirklich praxisnahen System fehlt noch die Möglichkeit der Prüzfifferneingabe. Es kann weder der Lagerplatz, noch die Artikelnummer mit den Vorgaben verglichen und überprüft werden. Zum einen ist dies eine Zeiteinsparung, aber zum anderen erhöht dies die Fehleranfälligkeit. Das Wiederholen der Sprachausgaben ist möglich und es kann in die Sprachausgaben hineingesprochen werden. Für die Versuche wurden eigene Kommissionierlisten entworfen (siehe Anhang C). Alle Aufträge sind auf einer Seite Papier abgedruckt. Somit ist der Nachteil, dass durch mehrere Seiten navigiert werden muss, nicht gegeben. Die Artikeldaten entsprechen den Angaben im WMS, das auch die Reihenfolge der Lagerorte wegoptimiert vorgibt. Die einzelnen Daten einer Auftragszeile (Lagerplatz, Artikel und Entnahmemenge) wurden klar voneinander getrennt. Am Ende der Zeile ist ein Kästchen, in dem ein Haken für die Quittierung gesetzt werden soll. Die Nummer der Position ist für den Kommissionierer unwichtig, aber sie dient als Ordnungsmerkmal in der Liste. Am Ende bestätigt der Kommissionierer die Abarbeitung des Auftrags mit Datum und seiner Unterschrift und legt die Liste in den Behälter. Beim Versuchsaufbau wurden die ausgedruckten Listen bereitgestellt, d. h. der Kommissionierer muss nicht auf den Ausdruck des nächsten Auftrags warten. Allerdings war der Bereitstellort der Listen einige Meter entfernt von der Basis angeordnet, um den Nachteil eines beleggebundenen Systems zu einem beleglosen, das die Daten online bekommt, zu simulieren.

### ***Erfassung der subjektiven Beanspruchung***

Bei Anwendungen von neuen Technologien wie AR ist es aus Akzeptanzgründen sehr wichtig, die Benutzer nach ihren Eindrücken und ihrer subjektiven Beanspruchung zu befragen. In einem Grundfragebogen werden die persönlichen Daten der Probanden (Alter, Geschlecht, 3D- oder Kommissioniererfahrung etc.) und in drei Fragebögen die Eindrücke zur jeweiligen Technologie erfasst (siehe Anhang C). Die meisten Fragen sind positiv formuliert, einige negativ. Die Probanden haben aber auch die Möglichkeit, eigene Anmerkungen zu machen. Die Fragebögen zielen auf folgende Punkte ab:

- Benutzerfreundlichkeit (nur bei PbV und Pick-by-Vision)
- Motivation und Akzeptanz des Systems
- Wirkung des Systems (nur bei PbV und Pick-by-Vision)
- Kognitive Belastung

### 6.1.2 Nullhypothesen Labortest

Die Kommissionierfehlerquote, die Kommissionierzeit und die subjektiven Beanspruchungskriterien Benutzerfreundlichkeit, Wirkung des Systems, Motivation und kognitive Belastung werden in dieser Versuchsreihe ermittelt. Die logistischen Kennzahlen lassen sich des Weiteren auf den Einfluss der 3D- und Kommissioniererfahrung bzw. der Lerneffekte untersuchen. Folgende Nullhypothesen werden getestet:

$H_{0,1}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für alle Kommissioniertechnologien gleich.

$$f_{\text{Liste}} = f_{\text{PbV}} = f_{\text{Pick-by-Vision}}$$

$H_{0,2}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von der 3D-Erfahrung.

$$f_{\text{Pick-by-Vision, 3D}} = f_{\text{Pick-by-Vision, ohne 3D}}$$

$H_{0,3a}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für die Papierliste unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$f_{\text{Liste, Kom-Erf}} = f_{\text{Liste, ohne Kom-Erf}}$$

$H_{0,3b}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für PbV unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$f_{\text{PbV, Kom-Erf}} = f_{\text{PbV, ohne Kom-Erf}}$$

$H_{0,3c}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$f_{\text{Pick-by-Vision, Kom-Erf}} = f_{\text{Pick-by-Vision, ohne Kom-Erf}}$$

$H_{0,4a}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für die Papierliste unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes, zweites oder drittes getestet wurde.

$$f_{\text{Liste, Durchgang 1}} = f_{\text{Liste, Durchgang 2}} = f_{\text{Liste, Durchgang 3}}$$

$H_{0,4b}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für PbV unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes, zweites oder drittes getestet wurde.

$$f_{\text{PbV, Durchgang 1}} = f_{\text{PbV, Durchgang 2}} = f_{\text{PbV, Durchgang 3}}$$

$H_{0,4c}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes, zweites oder drittes getestet wurde.

$$f_{\text{Pick-by-Vision, Durchgang 1}} = f_{\text{Pick-by-Vision, Durchgang 2}} = f_{\text{Pick-by-Vision, Durchgang 3}}$$

$H_{0,5}$ : Die Kommissionierzeit  $t$  ist für alle Kommissioniertechnologien gleich.

$$t_{\text{Liste}} = t_{\text{PbV}} = t_{\text{Pick-by-Vision}}$$

H<sub>0,6</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von der 3D-Erfahrung.

$$t_{\text{Pick-by-Vision, 3D}} = t_{\text{Pick-by-Vision, ohne 3D}}$$

H<sub>0,7a</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für die Papierliste unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$t_{\text{Liste, Kom-Erf}} = t_{\text{Liste, ohne Kom-Erf}}$$

H<sub>0,7b</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für PbV unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$t_{\text{PbV, Kom-Erf}} = t_{\text{PbV, ohne Kom-Erf}}$$

H<sub>0,7c</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$t_{\text{Pick-by-Vision, Kom-Erf}} = t_{\text{Pick-by-Vision, ohne Kom-Erf}}$$

H<sub>0,8a</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für die Papierliste unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes, zweites oder drittes getestet wurde.

$$t_{\text{Liste, Durchgang 1}} = t_{\text{Liste, Durchgang 2}} = t_{\text{Liste, Durchgang 3}}$$

H<sub>0,8b</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für PbV unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes, zweites oder drittes getestet wurde.

$$t_{\text{PbV, Durchgang 1}} = t_{\text{PbV, Durchgang 2}} = t_{\text{PbV, Durchgang 3}}$$

H<sub>0,8c</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes, zweites oder drittes getestet wurde.

$$t_{\text{Pick-by-Vision, Durchgang 1}} = t_{\text{Pick-by-Vision, Durchgang 2}} = t_{\text{Pick-by-Vision, Durchgang 3}}$$

H<sub>0,9</sub>: Die Benutzerfreundlichkeit  $BF$  ist bei beiden beleglosen Systemen gleich.

$$BF_{\text{PbV}} = BF_{\text{Pick-by-Vision}}$$

H<sub>0,10</sub>: Die Wirkung des Systems  $WS$  ist bei allen drei Systemen gleich.

$$WS_{\text{PbV}} = WS_{\text{Pick-by-Vision}}$$

H<sub>0,11</sub>: Die kognitive Belastung  $kB$  ist bei allen drei Systemen gleich.

$$kB_{\text{Liste}} = kB_{\text{PbV}} = kB_{\text{Pick-by-Vision}}$$

H<sub>0,12</sub>: Die Motivation  $Mo$  ist bei allen drei Systemen gleich.

$$Mo_{\text{Liste}} = Mo_{\text{PbV}} = Mo_{\text{Pick-by-Vision}}$$

### 6.1.3 Versuchsdurchführung Labortest

Vor der Versuchsreihe wurde festgelegt, in welcher Reihenfolge die Probanden die drei Durchgänge mit den verschiedenen Techniken durchführen. Die sechs verschie-

denen Reihenfolgen PbV-L-AR, L-PbV-AR, AR-PbV-L, PbV-AR-L, L-AR-PbV und L-PbV-AR<sup>19</sup> wurden über Zufallszahlen den Probanden zugeordnet.

Für einen Probanden war ein Zeitfenster von 90 min veranschlagt. In der vier Tage umfassenden Versuchsreihe wurden 18 Probanden getestet. Nach der Einweisung durch den Versuchsleiter (Projekthintergrund, Ablauf und Ziele der Versuchsreihe) wurde der Lageraufbau, die Lagerfachbeschriftung und die verschiedenen Artikel mit ihren Artikelnummern erklärt. Vor dem ersten Durchgang mit einer der beiden beleglosen Technologien erfolgte eine Einweisung in die Bedienung anhand von Bildern der GUI bzw. der Sprachausgabe mit den entsprechenden Sprachbefehlen. Der Login wurde geübt, um mit der Spracheingabe vertraut zu werden. Es gab keinen expliziten Probeauftrag. Bei der Liste erfolgte ebenfalls eine Unterweisung im Prozessablauf. Den Probanden wurde gesagt, dass sie den Kommissionierwagen mit in die Gasse nehmen sollen.



**Abbildung 6-2: Proband mit Pick-by-Vision**



**Abbildung 6-3: ein abgegebener Auftrag mit dem ganzen Artikelspektrum (kleine Schachteln, Papierware, große Kartons)**

Während der Versuchsreihe wurden die beiden Kennzahlen Kommissionierzeit und Kommissionierfehler ermittelt. Die Zeitaufnahme begann beim Login bzw. beim Losgehen und die Zwischenzeit nach jedem einzelnen Auftrag wurde bei der Abgabe des Kommissionierbehälters notiert. Bei Abgabe des letzten Sammelbehälters stoppte die Zeitaufnahme. Neben Mengen- und Typfehlern wurden auch Prozessfehler wie z. B. das Vergessen der Unterschrift bei der Papierliste direkt nach der Abgabe des

<sup>19</sup> L = Liste, AR = Pick-by-Vision

Auftrags aufgenommen. Nach Abschluss der einzelnen Durchgänge füllten die Probanden die jeweiligen Fragebögen sowie den Grundfragebogen aus. Währenddessen wurde das Lager eingeräumt und die Datenbank des WMS wieder auf den Ausgangszustand gebracht.

## 6.1.4 Ergebnisse des Labortests

In diesem Kapitel erfolgt die Auswertung der Versuchsreihe. Zunächst werden die Kommissionierzeit und -fehler mit deskriptiver Statistik untersucht bevor mit statistischen Mitteln die Signifikanztests erfolgen. Außerdem werden die Fragebögen und die Einflüsse verschiedener Parameter auf die Kommissionierzeit bzw. -fehler ausgewertet.

### 6.1.4.1 Probanden

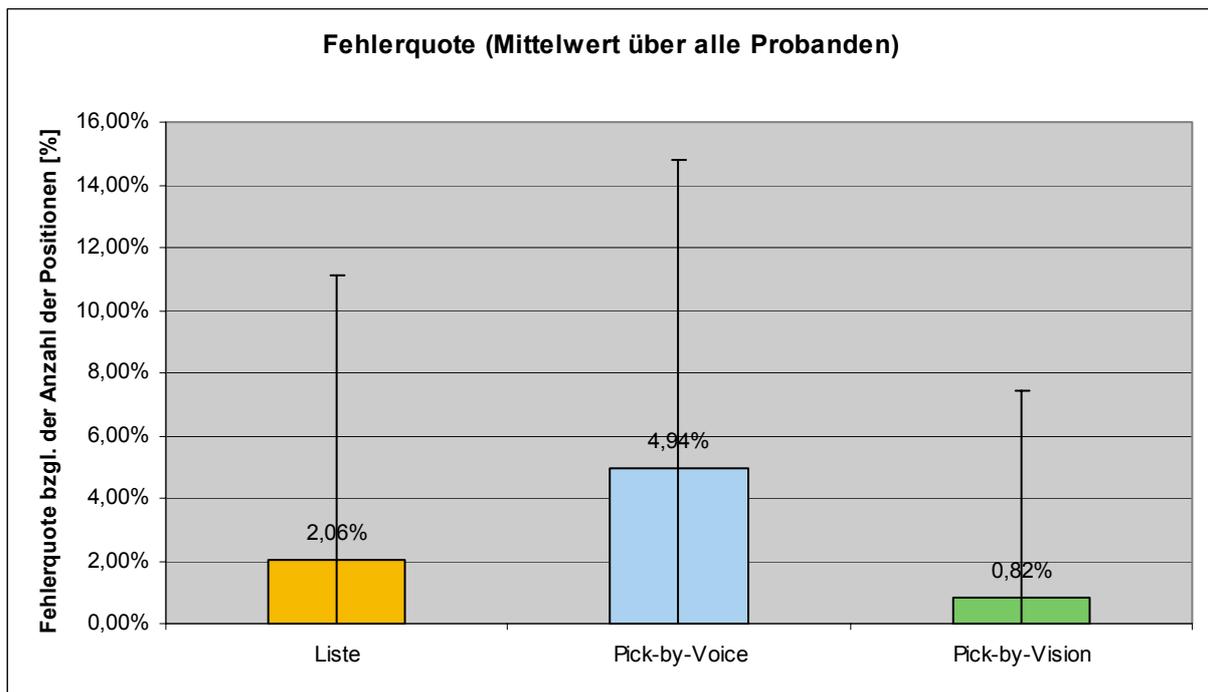
18 Probanden sind für aussagekräftige Ergebnisse und eine optimale Randomisierung der drei Technologien ausreichend. Die Probanden wurden aus dem Umfeld des Lehrstuhls fml ausgewählt (Azubis, Studenten, Mitarbeiter der Werkstatt, wissenschaftliche Mitarbeiter). Da es sich ausschließlich um Hochschulangehörige handelte, ist das Durchschnittsalter von 23,9 Jahren mit der relativ geringen Varianz von 4,32 zu erklären. Unter den fünf Facharbeitern waren vier Auszubildende. Diese Verteilung entspricht nicht unbedingt der in der Praxis in vielen Kommissionierlagern vorhandenen. Drei Probanden, für die Deutsch eine Fremdsprache ist, nahmen teil, wobei dies nur bei einem chinesischen Probanden zu (erheblichen) Problemen bei der Sprachsteuerung führte. Tabelle 6-2 zeigt die Zusammenfassung.

<b>Geschlecht</b>	2 Frauen		16 Männer
<b>Durchschnittliches Alter</b>	23,9 Jahre		
<b>Alterspanne</b>	16 Jahre	bis	30 Jahre
<b>Standardabweichung</b>	4,32		
<b>Beruf</b>	5 Facharbeiter	7 Studenten	6 Akademiker
<b>3D-Erfahrung</b>	6 Probanden		
<b>Kommissioniererfahrung</b>	8 Probanden		
<b>Deutsch ist Fremdsprache</b>	3 Personen		

**Tabelle 6-2: Zusammenfassung Probandenstruktur im Labortest zu FM1**

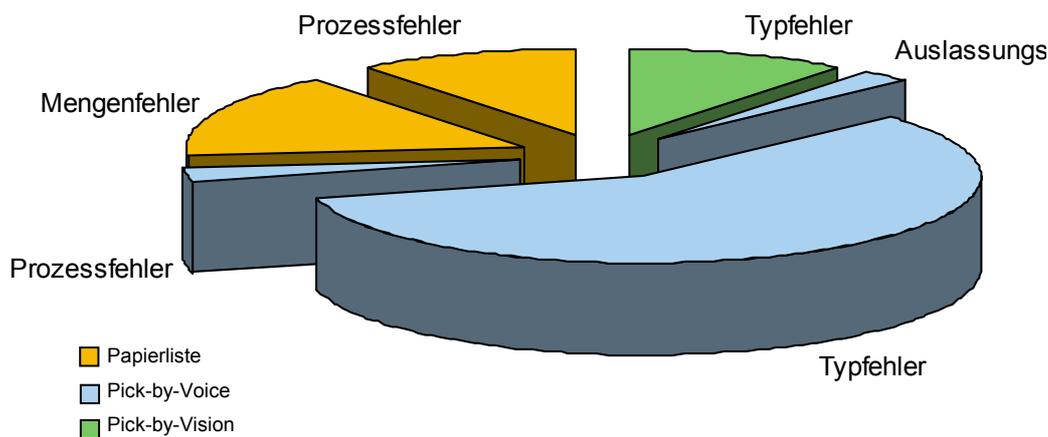
### 6.1.4.2 Kommissionierfehler

Zunächst werden die Kommissionierfehler deskriptiv ausgewertet (siehe Abbildung 6-4). Die Fehlerrate von 2,06 % bei der Liste dürfte der Praxis entsprechen, wenn berücksichtigt wird, dass diese in Laborversuchen doppelt so hoch ist. Die Fehlerrate bei Pick-by-Vision liegt bei 0,82 % und damit deutlich niedriger, für den Praxiseinsatz aber zu hoch. Bei PbV beträgt die Fehlerrate 4,94 %, welche über fünfzig Mal höher als in der Praxis üblich ist. Dies liegt zum einen an der Ansage des Lagerfachs und zum anderen daran, dass keine Überprüfung der Artikelnummer möglich war.



**Abbildung 6-4: Fehlerquote Labortest**

Die Nullhypothese  $H_{0,1}$  besagt, dass mit allen Techniken gleich viele Fehler begangen werden. Mit einem Kolmogorov-Smirnov-Test ( $\alpha = 5\%$ ) wird festgestellt, dass nur PbV der Normalverteilung unterliegt, während Pick-by-Vision und die Papierliste eine für Fehlerraten übliche Poisson-Verteilung aufweisen. Eine Varianzanalyse kann somit nicht verwendet werden. Mit einem Friedman-Test für  $m$  verbundene Stichproben wird ein hoch signifikanter Unterschied ( $\alpha = 1\%$ ) nachgewiesen, d. h. die Fehlerquoten für alle drei Techniken sind nicht gleich. Deswegen werden die Stichproben jeweils paarweise mit einem Mann-Whitney-U-Test verglichen. Dabei werden Signifikanzen zwischen Pick-by-Vision und PbV ( $\alpha = 1\%$ ) und der Papierliste und PbV ( $\alpha = 5\%$ ) festgestellt.  $H_{0,1}$  wird verworfen.



**Abbildung 6-5: Einteilung nach Fehlerarten beim Labortest von FM1**

Für die qualitative Auswertung der Kommissionierfehler werden Mengen-, Typ-, Auslassungs- und Prozessfehler unterschieden (siehe Abbildung 6-5). Zustandsfehler werden nicht betrachtet. Bei PbV traten mit Abstand die meisten Fehler auf (24 Stück). Dies lag vor allem daran, dass die Buchstaben von den Ebenenbezeichnungen (B, C, D, E) schlecht zu unterscheiden waren. Die Probanden ließen sich die Ansage allerdings in den meisten Fällen nicht wiederholen. Diese Art des Fehlers (Typfehler) trat 20 Mal (80 %) auf. Weitere Fehler waren das Verwechseln einer Zeile (2 C 14 statt 1 C 14 und 3 B 08 statt 4 B 08). Einmal wurde die Ankunft am Lagerort zu früh bestätigt und der Lagerort vergessen. Eine Position wurde ausgelassen. Somit können für PbV 22 Typfehler, ein Prozessfehler und ein Auslassungsfehler analysiert werden. Bei zwei Typfehlern hätte auffallen müssen, dass nicht die geforderte Menge im Lagerfach ist und somit hätte dies reklamiert werden müssen. Da die Typfehler aber der Grund für die Falschkommissionierung sind, wird dies als Fehlerursache gewertet.

Bei der Papierliste erfolgten acht der zehn Fehler (80 %) im ersten Auftrag. Dies zeigt, dass für diesen eigentlich einfachen Prozess doch Einarbeitung nötig ist. Die gezielte Führung der Probanden durch den Prozess ist durch die Kommissionier-technik nicht gegeben, was am Anfang zu Fehlern führt. Dies zeigt aber auch der hohe Anteil an Prozessfehlern (40 %), die durch das Vergessen der Unterschrift, des Abhakens oder der Ablage der Liste im Sammelbehälter entstanden. Die Probanden wurden nach dem ersten Auftrag auf die Fehler hingewiesen und so ist keine Aussage möglich, ob sie diese Fehler andernfalls weiter begangen hätten. Die meisten

Fehler waren Mengenfehler, weil jeweils nur ein Artikel anstatt der geforderten Anzahl entnommen wurde. Für die Papierliste werden vier Prozess- und sechs Mengenfehler gewertet.

Bei Pick-by-Vision traten mit vier Stück die wenigsten Fehler auf. Diese haben alle die gleiche Ursache. Der Lagerort wurde nicht genau gelesen (dreimal waren ein und einmal zwei Teile der dreiteiligen Lagerfachbeschriftung falsch) und die Artikelnummer nicht kontrolliert. Somit handelte es sich bei allen Fehlern um Typfehler.

### **6.1.4.3 Kommissionierfehler und 3D- bzw. Kommissioniererfahrung**

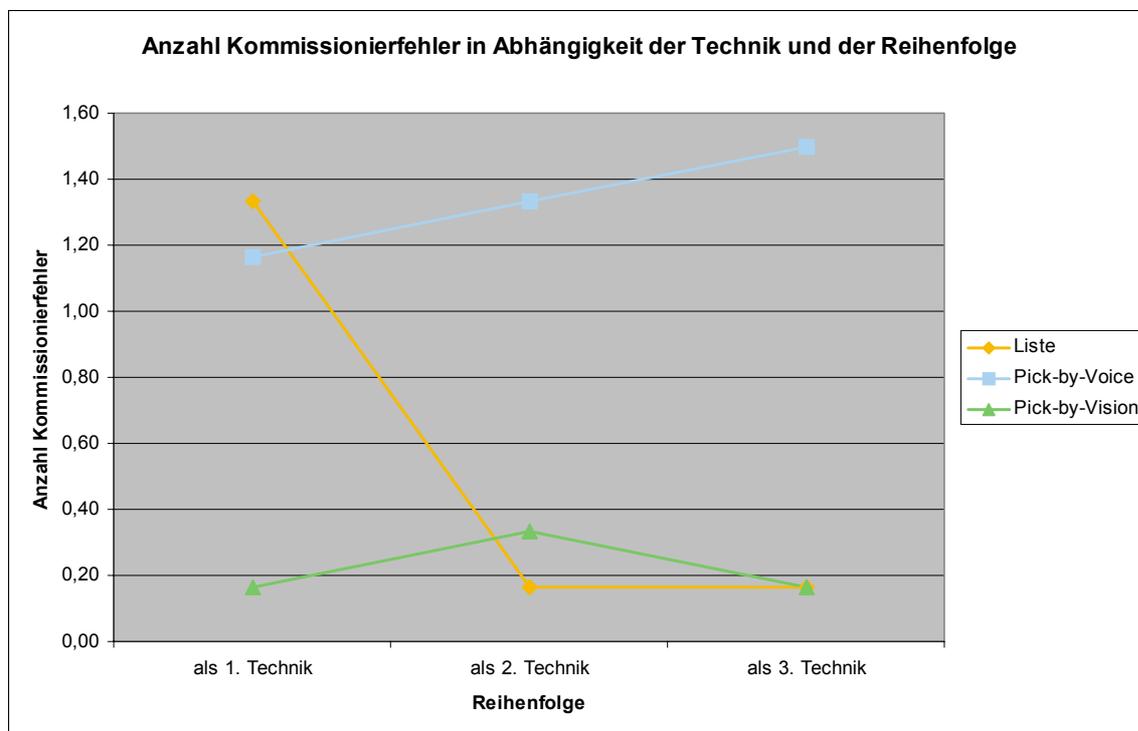
Ein Drittel der Probanden hatte 3D-Erfahrung. Die Probanden mit 3D-Erfahrung machten bei der Papierliste mit 3,09 % doppelt so viele Fehler wie die Probanden ohne die 3D-Erfahrung (1,54 %). Bei PbV zeigt sich ein ähnliches Bild. Die Probanden mit 3D-Erfahrung machten ca. dreimal mehr Fehler. Aber die 3D-Erfahrung hat keine ersichtliche Auswirkung auf den Umgang mit einer Papierliste oder PbV. Bei Pick-by-Vision wurden die Fehler nur von Probanden ohne 3D-Erfahrung gemacht. Es kann somit keine Aussage zu  $H_{0,2}$  abgeleitet werden.

Acht Probanden und somit fast die Hälfte hatte Kommissioniererfahrung, die auf Ferienjobs oder Planungstätigkeiten beruhte. Bei der Papierliste zeigt sich das erwartete Bild, denn die Probanden ohne Erfahrung begingen deutlich mehr Fehler (ca. siebenmal). Bei den beleglosen Systemen begingen die Probanden mit Kommissioniererfahrung sogar minimal mehr Fehler. Bei Pick-by-Vision machte ein Proband mit Kommissioniererfahrung zwei Fehler. Die anderen beiden Fehler machten Probanden ohne Kommissioniererfahrung. Es kann für die drei Nullhypothesen  $H_{0,3a}$ ,  $H_{0,3b}$  und  $H_{0,3c}$  kein aussagekräftiges Ergebnis abgeleitet werden.

### **6.1.4.4 Kommissionierfehler und Lerneffekte**

Bei der Untersuchung der Lerneffekte fällt sofort auf, dass die Anzahl der Fehler bei der Papierliste vom ersten zum zweiten Auftrag deutlich zurückgeht. Wird auch noch betrachtet, in welcher Reihenfolge die Probanden die Techniken testeten, wird dieser Effekt noch verstärkt. War die Papierliste die erste getestete Technik, wurden deutlich mehr Fehler gemacht. Diese Abhängigkeit von der Reihenfolge, in der die Probanden die Techniken ausprobierten, gilt es genauer anzusehen. Die Fehlerquoten unterliegen bis auf PbV nicht der Normalverteilung, so dass eine zweifaktorielle Vari-

anzalyse nicht eingesetzt werden kann. Der Zusammenhang ist aber graphisch leicht zu erkennen (siehe Abbildung 6-6). Bei der Liste ist die Fehlerrate deutlich höher, wenn diese als erstes getestet wird. Danach ist die Fehlerrate konstant. Bei Pick-by-Vision steigt die Fehlerrate sogar an, wenn sie als zweite Technik getestet wird. Bei nur vier Fehlern ist dies nicht aussagekräftig. Bei PbV erhöht sich die Fehlerrate sogar mit den Durchgängen, d. h. die Rate ist am höchsten, wenn die Technik zuletzt getestet wurde. Aufgrund der geringen Gesamtzahl an Fehlern ist keine aussagekräftige Folgerung möglich. Bei der Papierliste kann die Nullhypothese  $H_{0, 4a}$  vermutlich verworfen werden. Bei Pick-by-Vision und PbV ist keine Aussage möglich ( $H_{0, 4b}$ ,  $H_{0, 4c}$ ).



**Abbildung 6-6: Anzahl Kommissionierfehler in Abhängigkeit der Technik und der Reihenfolge beim Labortest zu FM1**

#### 6.1.4.5 Zusammenfassung der Auswertung der Kommissionierfehler

Bei den Mittelwerten ist nur ein kleiner, nicht signifikanter Unterschied der Kommissionierfehlerquoten zwischen Pick-by-Vision und der Papierliste zu erkennen (siehe Tabelle 6-3). PbV ist zu den beiden anderen Techniken signifikant schlechter. Der Einfluss der 3D- und der Kommissioniererfahrung zeigen bei allen drei Techniken keine erwähnenswerten Unterschiede. Lerneffekte sind nur bei der Papierliste erkennbar.

	Papierliste	Pick-by-Vision	Pick-by-Voice
durchschnittliche Anzahl	0,56	0,22	1,39
Fehler insgesamt	10	4	24
durchschnittliche Fehlerquote [%]	2,06	0,82	4,94
Median	0	0	1
Minimum	0	0	0
Maximum	3	2	4
Varianz	0,97	0,30	1,50
Standardabweichung	0,98	0,55	2,24
Vertrauensintervall für den Mittelwert der Fehlerquote [%] ( $\alpha = 5\%$ )	1,30-3,09	0,35-1,44	3,62-6,37
Normalverteilung ( $\alpha = 5\%$ )	nein	nein	ja
Poisson-Verteilung	ja	ja	nein
Ausreißertest nach Grubbs ( $\alpha = 5\%$ )	nicht möglich, keine Normalverteilung		nicht durchgeführt
Signifikanztest Mittelwerte nach Friedman ( $\alpha = 1\%$ )	signifikanter Unterschied zwischen den drei Techniken		
Signifikanztest Mittelwerte mit Mann-Whitney-U-Test ( $\alpha = 5\%$ )	Signifikanz von Liste und Pick-by-Vision zu PbV		
Einfluss 3D-Erfahrung	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte		
Einfluss der Kommissioniererfahrung	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte		
Einfluss Reihenfolge der Kommissioniertechnologien r	kein ersichtlicher Einfluss (Liste: deutlich mehr Fehler bei Auftrag 1, wenn erste Technik der Probanden)		

Tabelle 6-3: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Kommissionierfehler im Labortest zu FM1

#### 6.1.4.6 Kommissionierleistung

Während der Versuchsdurchführung wurde die Gesamtzeit für alle Versuchsreihen ermittelt. Die Ergebnisse zeigt Abbildung 6-7.

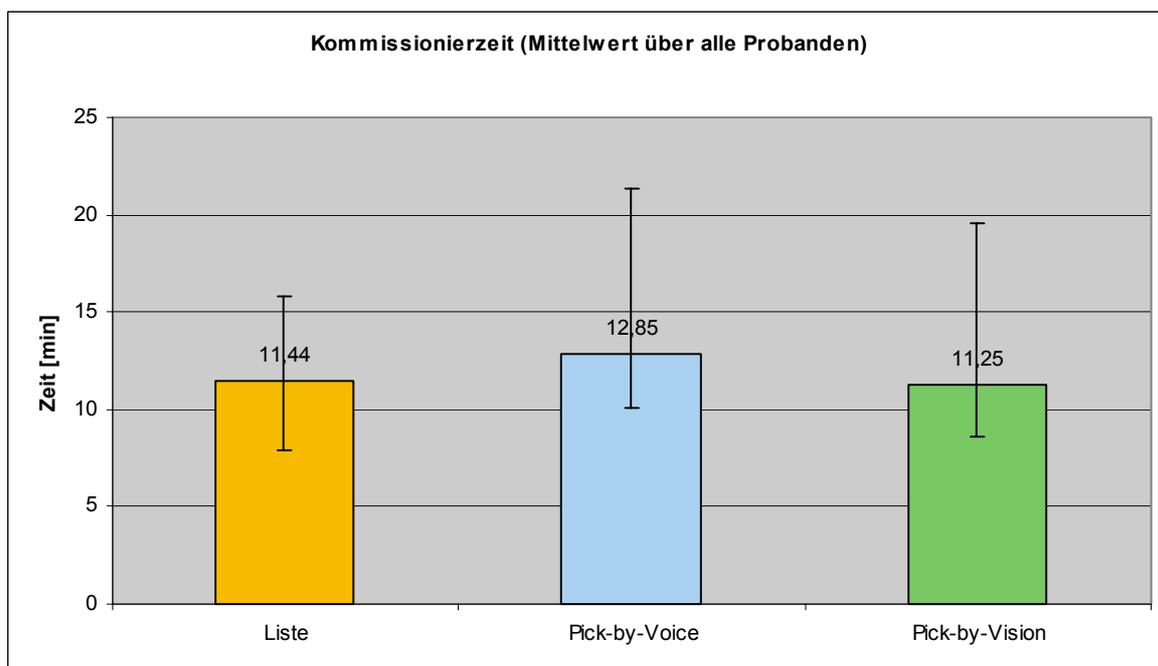
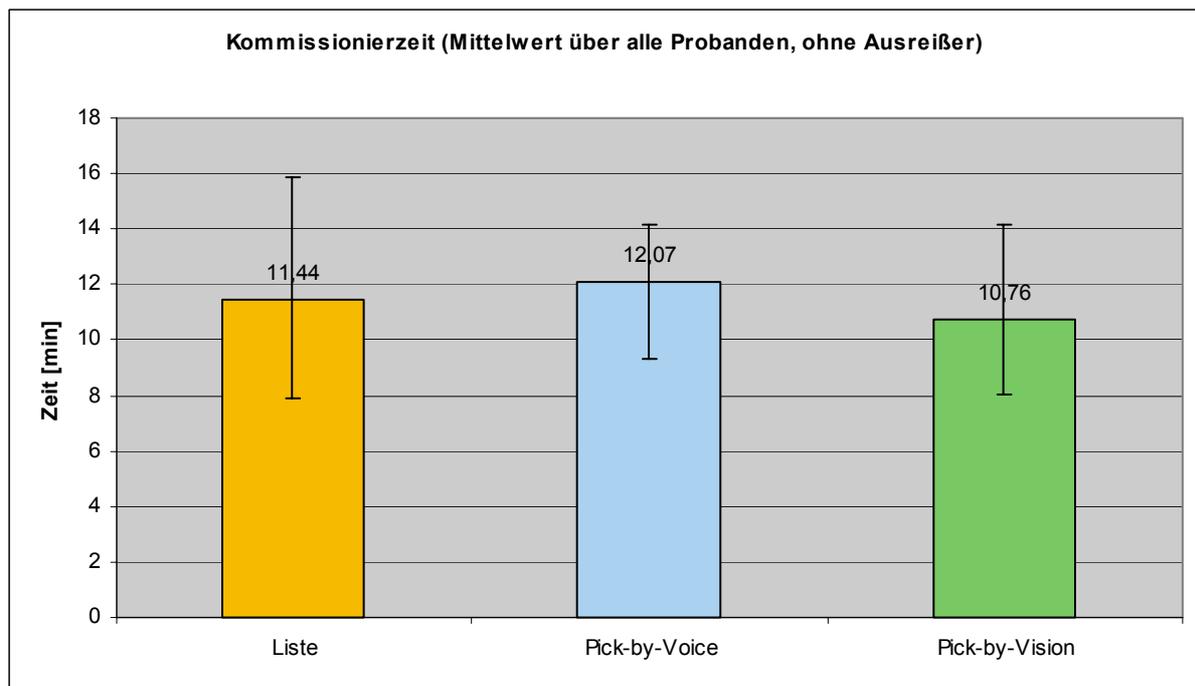


Abbildung 6-7: Vergleich der Mittelwerte der Kommissionierzeiten im Labortest zu FM1

Die Mittelwerte der Papierliste und von Pick-by-Vision sind nahezu gleich. Pick-by-Vision ist um 0,19 min (1,7 %) schneller. Nur PbV war deutlich langsamer als Pick-by-Vision (1,6 min oder 12 %). Die schnellste Zeit wurde mit der Papierliste (7,88 min) und die langsamste mit PbV (21,35 min) erreicht, wobei der Unterschied 270 % beträgt. Die Varianz ist bei der Liste erwartungsgemäß niedriger und bei Pick-by-Vision und PbV nahezu gleich.



**Abbildung 6-8: Vergleich der Mittelwerte der Kommissionierzeiten ohne Ausreißer im Labortest zu FM1**

Es ist die Nullhypothese  $H_{0,5}$  zu testen, dass die Mittelwerte der Kommissionierzeit über alle Kommissioniertechniken gleich sind. Der Kolmogorov-Smirnov-Test ( $\alpha = 5\%$ ) zeigt, dass alle drei Stichproben normalverteilt sind. Mit dem Ausreißertest nach Grubbs ( $\alpha = 5\%$ ) wird ein Proband als Ausreißer bei PbV und Pick-by-Vision identifiziert. Dies ist nicht verwunderlich, da es sich bei diesem Probanden um einen Chinesen handelte, der große Probleme mit der Sprachsteuerung (Spracheingabe wie auch Sprachausgabe) hatte. Bei einem erneuten Ausreißertest nach Grubbs wird bei PbV ein weiterer Ausreißer festgestellt. Der Grund für diesen Ausreißer ist wohl, dass dieser Proband mit PbV begonnen hatte und eine längere Gewöhnungsphase benötigte. Diese drei Werte werden nicht in die folgenden Berechnungen mit einbezogen. Es ist zu erkennen, dass die Mittelwerte von PbV und Pick-by-Vision nach der Korrektur niedriger sind, weil alle drei Ausreißer nach oben waren. Deshalb ist nun

zwischen Pick-by-Vision und der Papierliste ein Unterschied von 0,68 min (6 %). Die Streuung und folglich die Standardabweichung sind dadurch bei den beleglosen Techniken deutlich geringer. Sie sind sogar geringer als bei der Liste (siehe Abbildung 6-8).

Die Untersuchung der Mittelwerte auf Signifikanz wird mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse durchgeführt ( $\alpha = 5\%$ ). Der Faktor, der variiert wird, ist die Kommissioniertechnologie. Der kritische F-Wert beträgt ca. 3,20 und ist somit höher als der empirische Wert von 2,18 (siehe Tabelle 6-4). Es wird kein Unterschied festgestellt und  $H_{0,5}$  nicht verworfen<sup>20</sup>.

	Quadratsumme	Freiheitsgrade df	Varianz $\sigma^2$	Empirischer F-Wert
Treatment	14,03	2	7,02	2,18
Fehler	154,19	48	3,21	
Total	168,22	50	3,36	kritischer F-Wert ca. 3,20

**Tabelle 6-4: Ergebnisse der Varianzanalyse (ohne Ausreißer) zur Kommissionierzeit**

#### 6.1.4.7 Kommissionierleistung und 3D- bzw. Kommissioniererfahrung

Bei den sechs Probanden mit 3D-Erfahrung zeigt sich bei allen drei Technologien die gleiche Tendenz. Sie waren langsamer als die Probanden ohne diese Erfahrung. Der Unterschied ist nicht unerheblich (Liste: 20 %, PbV: 12 %, Pick-by-Vision: 15 %). Wenn die Ausreißer herausgenommen werden, sinkt der Unterschied etwas (Liste: 20 %, PbV: 5 %, Pick-by-Vision: 11 %). Dies ist ein konträres Ergebnis zu den bisherigen Erfahrungen und auch zu generellen Erfahrungen bei AR-Systemen. Dieses Ergebnis darf nicht überbewertet werden, weil die meisten Probanden kaum Erfahrung mit mobilen AR-Systemen hatten. Das Ergebnis wird zur Kenntnis genommen, aber nicht weiter untersucht. Zur Nullhypothese  $H_{0,6}$  kann somit keine Aussage getroffen werden.

Bei den acht Probanden mit Kommissioniererfahrung ist das Bild etwas anders. Bei der Kommissionierliste waren sie etwas schneller (2 %), während sie bei den beleglosen Techniken etwas langsamer waren (PbV: 2 %, Pick-by-Vision: 0,2 %). Dies sind keine aussagekräftigen Unterschiede. Betrachtet man die Streuung, ist diese bei der Liste kaum vorhanden. Bei den beleglosen Verfahren ist sie viel höher bei den Probanden mit Kommissioniererfahrung. Dies liegt an den Ausreißern. Werden diese

<sup>20</sup> Werden die Ausreißer berücksichtigt, wird ebenfalls keine Signifikanz festgestellt.

nicht mit betrachtet, gleicht sich die Streuung an bzw. wird bei PbV sogar viel kleiner, als bei den Probanden ohne Kommissioniererfahrung. Somit werden alle drei Nullhypothesen ( $H_{0,7a}$ ,  $H_{0,7b}$ ,  $H_{0,7c}$ ) nicht verworfen.

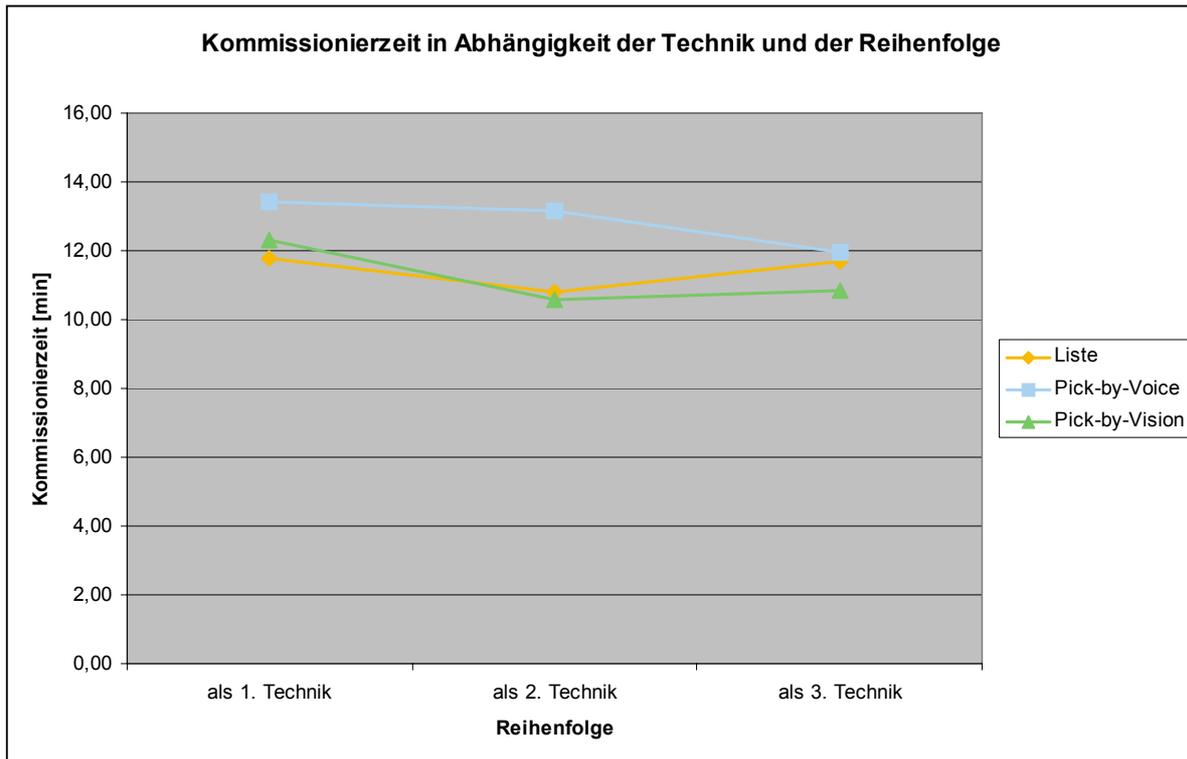
#### 6.1.4.8 Kommissionierleistung und Lerneffekte

Als dritter Punkt werden die Lerneffekte untersucht. Da in der Zeit für den ersten Auftrag bei den beleglosen Techniken auch der Login enthalten ist, wird auf eine detaillierte Betrachtung der Unterschiede vom ersten zum zweiten Auftrag verzichtet. Beim ersten Auftrag ist die Papierliste noch deutlich schneller, während sich dies beim zweiten Auftrag schon angleicht (Pick-by-Vision ist schneller, PbV noch etwas langsamer als die Liste).

Interessanter ist die Untersuchung, ob sich die Reihenfolge, in der die Probanden die Techniken ausprobierten, auf die Kommissionierzeit auswirkt. Jede Technik wurde sechsmal als erster, zweiter und dritter Durchgang evaluiert. Für die Auswertung wird eine zweifaktorielle Varianzanalyse eingesetzt, weil die Kommissionierzeiten normalverteilt sind. Die Ausreißer werden mit betrachtet, weil die Anzahl der Stichproben für die Varianzanalyse über alle Techniken gleich sein muss. Der eine Faktor ist die unabhängige Variable Technik und der zweite Faktor ist die abhängige Variable Reihenfolge. Tabelle 6-5 zeigt die Ergebnisse. Alle überprüften Abhängigkeiten sind nicht signifikant ( $\alpha = 5\%$ ). Die Kommissionierzeit hängt nicht von der Reihenfolge ab, in der die Probanden die Techniken testeten. Dies ist auch in Abbildung 6-9 zu erkennen. Die Graphen für die drei Techniken verlaufen fast parallel. Interessant ist auch, dass bei der Papierliste und bei Pick-by-Vision die Durchschnittszeit sinkt, wenn die Techniken als erstes und als zweites und wieder steigen, wenn sie als drittes getestet wurden. Alle drei Nullhypothesen ( $H_{0,8a}$ ,  $H_{0,8b}$ ,  $H_{0,8c}$ ) werden nicht verworfen.

	Quadratsumme	Freiheitsgrade df	Varianz $\sigma^2$	Empirischer F-Wert
Technik	27,34	2	13,67	2,03
Reihenfolge	12,03	2	6,01	0,89
Interaktion	9,60	4	2,40	0,36
Fehler	302,98	45	6,73	
Total	351,95	53		kritischer F-Wert ca. 4,05

**Tabelle 6-5: Ergebnisse zweifaktorielle Varianzanalyse über alle Probanden (inkl. Ausreißer) zu Lerneffekten bei der Kommissionierzeit im Labortest zu FM1**



**Abbildung 6-9: Kommissionierzeit in Abhängigkeit von der Technik und der Reihenfolge im Labortest zu FM1**

#### 6.1.4.9 Zusammenfassung der Auswertung der Kommissionierzeit

Die Mittelwerte weisen nur einen kleinen nicht signifikanten Unterschied der Kommissionierzeiten auf. Der Einfluss der 3D- und der Kommissioniererfahrung sowie der Lerneffekte zeigen bei allen drei Techniken keine signifikanten Unterschiede. Die Kommissionierzeit steigt sogar bei allen drei Technologien etwas, wenn sie als letztes von den Probanden evaluiert wurden. Dies lag evtl. an einer Ermüdung oder an Langeweile, weil sie die gleiche Auftragsfolge zum dritten Mal bearbeiteten. Die Zusammenfassung der Ergebnisse zur Kommissionierzeit zeigt Tabelle 6-6.

	Papierliste	Pick-by-Vision	Pick-by-Voice
Durchschnitt [min]	11,44	11,25	12,85
Kommissionierleistung [Pos/h]	141,65	143,98	126,12
Median [min]	10,96	11,02	12,43
Minimum [min]	7,88	8,55	10,12
Maximum [min]	15,83	19,55	21,35
Varianz	5,50	6,73	6,87
Standardabweichung	2,34	2,59	2,62
Vertrauensintervall für den Mittelwert [min] ( $\alpha = 5\%$ )	10,27-12,60	9,96-11,54	11,54-14,25
Normalverteilung ( $\alpha = 5\%$ )	ja	ja	ja
Ausreißer ( $\alpha = 5\%$ )	0	1	2

	Papierliste	Pick-by-Vision	Pick-by-Voice
Signifikanztest Mittelwerte (einfaktorielle Varianzanalyse) ( $\alpha = 5\%$ )	keine Signifikanz (mit und ohne Einbeziehung der Ausreißer)		
Differenz zwischen schnellsten und langsamsten Probanden [min]	8 (50 %)	11 (56 %)	11 (53 %)
Differenz zwischen schnellsten und langsamsten Probanden (ohne Ausreißer) [min]	8 (50 %)	5 (40 %)	4 (29 %)
Einfluss 3D-Erfahrung	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte		
Einfluss der Kommissioniererfahrung	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte		
Einfluss Reihenfolge der Kommissioniertechnologien (zweifaktorielle Varianzanalyse, $\alpha = 5\%$ ), inkl. Ausreißer	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte		

Tabelle 6-6: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Kommissionierzeit im Labortest zu FM1

#### 6.1.4.10 Subjektive Beanspruchungskriterien

Die Benutzerfreundlichkeit wurde nur für die technischen Systeme Pick-by-Vision und PbV mit je vier positiven Fragen abgefragt. Die Auswertung ergibt für Pick-by-Vision einen Wert von 5,24 und für PbV von 4,36 (siehe Abbildung 6-10). Dies sind für beide Techniken gute Werte (Maximum: 6), für Pick-by-Vision sogar ein sehr guter Wert. Es besteht zwischen den Bewertungen eine Differenz von 17 %. Beide Verteilungen sind nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test ( $\alpha = 5\%$ ) nicht normalverteilt. Deshalb wird ein Wilcoxon-Test ( $\alpha = 1\%$ ) für zwei abhängige Stichproben verwendet, der den hohen signifikanten Unterschied aufzeigt. Dies spricht für die hohe Benutzerfreundlichkeit von Pick-by-Vision. Dies liegt zum einen an der guten Führung durch den Prozess und zum anderen daran, dass die Informationen immer direkt im Blickfeld sind.  $H_{0,9}$  wird verworfen.

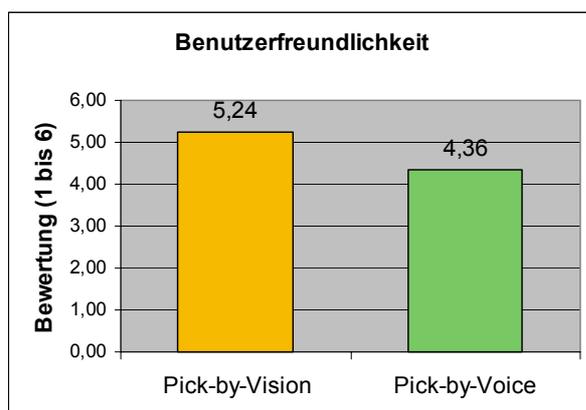


Abbildung 6-10: Benutzerfreundlichkeit

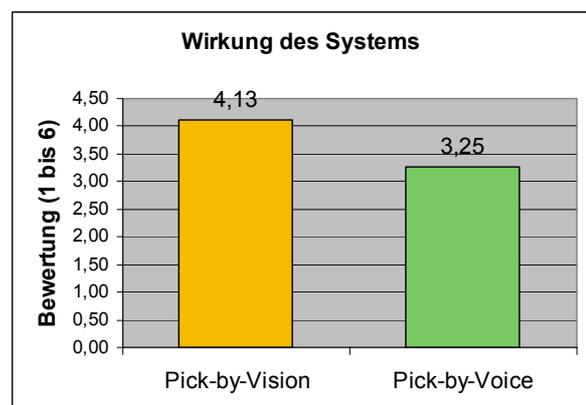


Abbildung 6-11: Wirkung des Systems

Der Punkt „Wirkung des Systems“ wurde nur für Pick-by-Vision und PbV mit vier positiv formulierten Fragen untersucht. Pick-by-Vision wurde mit 4,13 um ca. 25 % bes-

ser bewertet als PbV mit 3,25 (siehe Abbildung 6-11). Dies liegt wohl daran, dass reine Sprachansagen die Probanden stören und dass sie sich bei den Ebenen der Lagerfachbeschriftung oft nicht sicher waren, weil diese zu ähnlich klangen. Beide Verteilungen sind nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test ( $\alpha = 5\%$ ) nicht normalverteilt. Deshalb wird ein Wilcoxon-Test ( $\alpha = 1\%$ ) für zwei abhängige Stichproben verwendet, der den hohen signifikanten Unterschied aufzeigt. Dies zeigt, dass ein visuell unterstütztes System bei den Probanden deutlich besser angenommen wird.  $H_{0,10}$  wird verworfen.

Die kognitive Belastung wurde mit fünf Fragen behandelt. Vier davon waren positiv und eine negativ formuliert. Da in diesem Fall die niedrigere Bewertung besser ist, wird der Wert umgedreht, d. h. vom Maximum 6 abgezogen, damit alle Diagramme einheitlich sind. Die Auswertung ergibt für Pick-by-Vision einen Wert von 3,81 und für die Papierliste von 3,82 (siehe Abbildung 6-12). Die beiden Werte sind nahezu identisch. PbV schneidet mit 3,09 schlechter ab, was v. a. auf die hohe Konzentration beim Erkennen der Lagerplatzbeschriftung zurückzuführen ist. Der Unterschied von ca. 20 % dürfte signifikant sein. Alle drei Verteilungen sind nach einem Kolmogorov-Smirnov-Test nicht normalverteilt ( $\alpha = 5\%$ ). Ein Friedman-Test für  $m$  verbundene Stichproben ( $\alpha = 1\%$ ) zeigt einen hoch signifikanten Unterschied auf.  $H_{0,11}$  wird verworfen. Der Unterschied besteht zwischen PbV und den anderen beiden Technologien. Bei der Liste ist es aufgrund seiner Einfachheit und der intuitiven Bedienung nicht verwunderlich, dass sie eine geringe kognitive Belastung hervorruft. Pick-by-Vision wird minimal schlechter bewertet. Dies spricht für Pick-by-Vision, auch wenn kein signifikanter Unterschied zu erkennen ist.

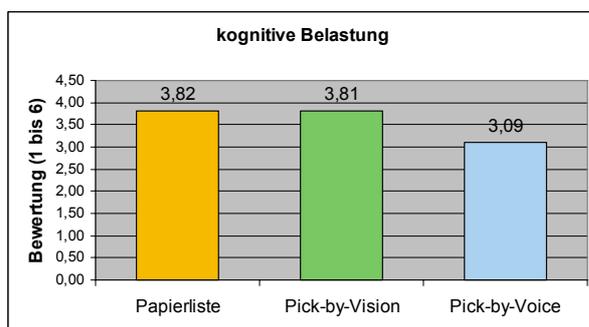


Abbildung 6-12: kognitive Belastung

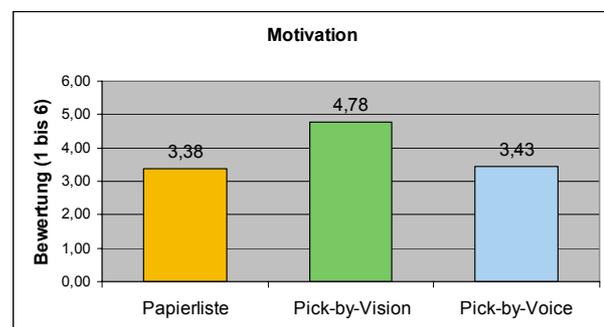
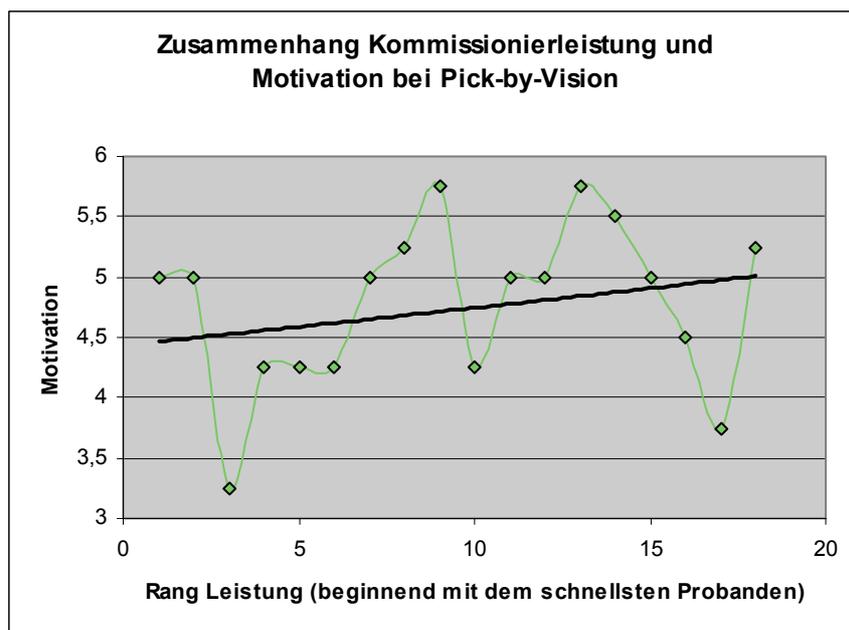


Abbildung 6-13: Motivation

Die Motivation wurde bei allen drei Techniken mit vier positiven Fragen behandelt. Die Auswertung ergibt für Pick-by-Vision einen Wert von 4,78, für die PbV 3,43 und für die Papierliste von 3,38 (siehe Abbildung 6-13). Pick-by-Vision wird somit fast um

30 % besser bewertet. Auffällig ist auch, dass PbV etwas besser als die Papierliste abschneidet. Alle drei Verteilungen sind nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test nicht normalverteilt ( $\alpha = 5\%$ ). Ein Friedman-Test für  $m$  verbundene Stichproben ( $\alpha = 1\%$ ) zeigt einen hoch signifikanten Unterschied auf.  $H_{0,12}$  wird verworfen. Die hohe Motivation der Probanden lässt sich damit erklären, dass die Probanden mit einer neuen Technik deutlich motivierter als mit einer altbekannten Papierliste arbeiteten. Da die Probanden alle sehr aufgeschlossen gegenüber neuen Technologien sind, ist dies zu erwarten. Abschließend wird noch der Zusammenhang zwischen der Motivation und der Kommissionierleistung untersucht. Die Trendlinie in Abbildung 6-14 zeigt, dass die motivierteren Probanden langsamer waren und umgekehrt. Vier der sechs schnellsten Probanden sind bei den unterdurchschnittlich motivierten Probanden zu finden. Dies lässt die Vermutung zu, dass die Motivation sich eher negativ auf die Kommissionierleistung auswirkt. Das ist konträr zu Untersuchungen aus der Praxis (siehe Kapitel 2.3.2).



**Abbildung 6-14: Zusammenhang Kommissionierleistung und Motivation im Labortest zu FM1 (inkl. Trendlinie)**

PbV schneidet bei den subjektiven Beanspruchungskriterien mit Abstand am schlechtesten ab. Dies spiegelt sich auch bei den Aussagen der Probanden wider. Nur ein Proband fand das System ganz in Ordnung. Die anderen Probanden hatten Probleme mit den Sprachausgaben. Die Stimme ist unangenehm bzw. sollte lauter und besser erkennbar sein. Bei der Spracheingabe sind kürzere Sprachbefehle v. a.

für die Bestätigung gewünscht. Dies widerspricht aber einer guten Spracherkennung. Diese soll nach Einschätzung einiger Probanden weiter verbessert werden. Es wird eine Prüzfiffer am Lagerplatz und eine Möglichkeit der wiederholten Ansage des Lagerplatzes, wenn man schon beim Entnahmedialog ist, gefordert. So entstanden Fehler, die bemerkt, aber nicht abgestellt werden konnten.

Bei der Papierliste machten die Probanden die wenigsten Anmerkungen. Für einen Probanden ist es angenehmer als Pick-by-Vision, weil die Liste ihn nicht blendet. Es wird ein Klemmbrett für die Liste am Kommissionierwagen gewünscht, so dass stets beide Hände frei sind und eine Unterlage zum Abhaken und Unterschreiben vorhanden ist. Viele Probanden legten die Liste auf den Kommissionierwagen, so dass sie eine feste Unterlage hatten.

Pick-by-Vision schneidet bei den Fragebögen am besten ab. Die Spracherkennung könnte besser und schneller funktionieren. Auch der Bildaufbau sollte etwas schneller erfolgen. Bei der grafischen Darstellung wird eine Hervorhebung des Lagerplatzes gewünscht. Dieser sollte zuerst angezeigt werden und danach erst die Bestätigung der Artikel und die Menge erfolgen. Dies würde dem System den Vorteil nehmen, dass man während des Weges zum Lagerort bereits auf den Pickvorgang vorbereiten kann. Das Kabel stört und die Fokussierung zwischen real und virtuell ist v. a. beim Abgleich der Lagerplatzbeschriftung anstrengend.

### 6.1.5 Kernaussagen zum Labortest

Die Anzahl an Kommissionierfehlern ist sehr gering. Dies ist positiv zu bewerten, erschwert allerdings eine statistische Auswertung.

- signifikanter Unterschied bei den Kommissionierfehlern aufgrund der hohen Fehlerrate von PbV =>  $H_{0,1}$  wird verworfen.
- kein Einfluss der 3D- und Kommissioniererfahrung erkennbar (keine Aussage zu  $H_{0,2}$ ,  $H_{0,3a}$ ,  $H_{0,3b}$ ,  $H_{0,3c}$  möglich)
- Bei der Papierliste treten Lerneffekte auf.  $H_{0,4a}$  wird verworfen.
- keine Lerneffekte bei den beleglosen Techniken (keine Aussage zu  $H_{0,4b}$  und  $H_{0,4c}$  möglich)

Bei Pick-by-Vision treten nur Typfehler durch falsches Ablesen des Lagerplatzes und dem fehlenden Abgleich der Artikelnummer auf. Die hohe Fehlerquote bei PbV grün-

det auf der Verwechslung der Ansage der Lagerfachebene (ähnlich lautende Bezeichnung: B, C, D, E).

Bei der Kommissionierzeit sind kaum Unterschiede erkennbar. Die Papierliste wurde auf dem Kommissionierwagen abgelegt, so dass diese nicht gehandhabt werden musste (nahezu hands-free).

- Obwohl Pick-by-Vision etwas schneller war, wird  $H_{0,5}$  nicht verworfen.
- kein Einfluss der 3D- und Kommissioniererfahrung (keine Aussage zu  $H_{0,6}$  möglich und  $H_{0,7a}$ ,  $H_{0,7b}$ ,  $H_{0,7c}$  werden nicht verworfen)
- kein Einfluss der Reihenfolge, in der die Probanden die drei Techniken testeten.  $H_{0,8a}$ ,  $H_{0,8b}$ ,  $H_{0,8c}$  werden nicht verworfen.

Die Probanden trugen das HMD zwischen 10 und 20 Minuten, so dass sich die subjektive Beanspruchung nur auf einen relativ kurzen Zeitraum bezieht.

- Pick-by-Vision wird benutzerfreundlicher als PbV eingestuft und ist auch bei der Wirkung auf die Probanden besser als PbV. Die Nullhypothesen  $H_{0,9}$  und  $H_{0,10}$  werden verworfen.
- Liste und Pick-by-Vision weisen eine nahezu gleich hohe kognitive Belastung auf und verursachen weniger Stress als PbV.  $H_{0,11}$  wird verworfen.
- Mit Pick-by-Vision sind die Probanden motivierter.  $H_{0,12}$  wird verworfen.

Ein in der Entwicklung befindliches Pick-by-Vision-System wird trotz der Kritik am Display und an der Sprachsteuerung mindestens so gut bzw. besser bewertet als die Papierliste. Ein ergonomisch ausgereiftes System könnte die Beanspruchung somit eventuell sogar reduzieren.

## 6.2 MTM-Analyse

Für den theoretischen Vergleich der Kommissionierzeit von Pick-by-Vision mit anderen Kommissioniertechniken wird das MTM-Verfahren verwendet [Bok-06]. Dies ist ein System vorherbestimmter Zeiten, d. h. dass Soll-Zeiten für das Ausführen solcher Vorgangselemente bestimmt werden können, die vom Menschen voll beeinflussbar sind. Mit inhaltlich und zeitlich definierten Prozessbausteinen lassen sich systematisch gegliederte Arbeitsabläufe bewerten. Dabei werden Planungs- und Ausführungsanalysen unterschieden. Bei der Ausführungsanalyse wird ein bestehendes System anhand von z. B. Videoaufnahmen analysiert und Verbesserungspotenziale

abgeleitet. Videos der ersten Evaluierung (siehe Kapitel 5.3) dienen als Grundlage für die Bewegungsabläufe. Für die Analyse wurden jeweils die schnellsten Probanden betrachtet, weil ihre Abläufe nahe am Optimum sind. Es gibt verschiedene MTM-Verfahren, die alle spezielle Einsatzbereiche haben. Der MTM-Logistik-Baukasten eignet sich nicht für diesen Anwendungsfall, weil er v. a. Tätigkeiten unter Einsatz von Flurförderzeugen sowie Verpackungstätigkeiten beschreibt. Das MTM-1-Verfahren ist das genaueste und die Vorgänge werden aus Grundbewegungen wie Hinlangen, Greifen, Bringen, Fügen und Loslassen aufgebaut. Der Ablauf wird damit exakt beschrieben und deswegen eignet sich MTM-1 besonders für sich wiederholende Vorgänge wie in der Serienfertigung. Bei weiteren Baukästen werden die Grundbausteine zusammengefasst und somit dem Werker mehr individuelle Freiräume bei der Ausführung gelassen, wie dies z. B. bei der Einzelfertigung nötig ist. Die Kommissionierung ist ein einfacher Vorgang mit einem relativ konstanten Prozessablauf. Es ändern sich die Aufträge und damit auch die Wege und die Greifvorgänge. Da es für die manuelle Kommissionierung keine speziellen Bausteine gibt, wird diese sehr detailliert untersucht und dafür das MTM-1-Verfahren verwendet.

Der Kommissioniervorgang kann mit den Grundbewegungen und den Körperbewegungen aus MTM-1, denen Zeiteinflussgrößen in Abhängigkeit von MTM-Normzeitwerten zugeordnet sind, abgebildet werden. Die Zeitwerte basieren auf dem LMS-Verfahrens (Lowry, Maynard, Stegemerten) und definieren eine Normleistung, die der Leistung eines mittelgut geübten Menschen entspricht, der diese Leistung ohne zunehmende Arbeitsermüdung auf Dauer erbringen kann. Wichtig bei dieser Untersuchung ist auch, dass die Zeiten für die Informationsaufnahme berücksichtigt werden. MTM-1 ist nicht für geistige Tätigkeiten anwendbar, die über einfache Ja-Nein-Entscheidungen hinausgehen. Aber es gibt Blickfunktionen, die das Verschieben des Blickes wiedergeben, und einen Baustein für Lesen.

Es wird ein Auftrag mit sieben Positionen aus den Vorversuchen für alle drei Kommissioniertechniken (PbV, Papierliste, Pick-by-Vision) inklusive Login und Logout mit MTM-1 betrachtet. Die Sprachein- und -ausgaben und die GUI werden entsprechend dem Stand des Labortests verwendet. Der Lageraufbau mit Basis entspricht dem in der Voruntersuchung (siehe Kapitel 5.3) und der Kommissionierwagen wird immer mit in die Gasse genommen.

Bei der Papierliste wird für das Lesen die „Regel L-2“ (Lesen von Einzelwörtern, Buchstaben, Ziffern oder Zeichen) benutzt. Die Liste und der Stift werden während

der Arbeit in der Hand gehalten. Es wird jede Position abgehakt und das Ende des Auftrags wird mit Unterschrift und Datum quittiert. Es wird nicht die volle Schrittlänge von 0,85 m sondern nur 0,75 m verwendet, weil sich die Kommissionierer zwischen den Regalen und mit Kommissionierwagen bewegen.

Diese Schrittlänge gilt auch für PbV. Eine Schwierigkeit bei PbV ist, dass keine MTM-Bausteine für Sprachein- und -ausgaben vorhanden sind, so dass folgende vier Bausteine generiert wurden:

- einfache Sprachausgaben vom System
- Ausgabe des Entnahmeorts vom System
- Ausgabe der Entnahmemenge vom System
- Spracheingaben vom Kommissionierer

Die Bearbeitungszeit des Systems wird durch einen eigenen Baustein abgebildet. Um das System realitätsnah abzubilden werden Sprachein- und -ausgaben parallel zu anderen Tätigkeiten ausgeführt. Eine Parallelisierung von Sprachausgaben mit dem Lesen z. B. der Lagerplatzbeschriftung ist nicht zulässig. Bei PbV ist es auch möglich, dass Spracheingaben vom System nicht verstanden werden oder der Benutzer Sprachausgaben wiederholen lassen muss. Dies wurde anhand von Mittelwerten für die Befehle überprüft. Eine zusätzliche Spracheingabe kostet ca. eine Sekunde und eine Wiederholung der Sprachausgabe ca. drei Sekunden. Je nachdem wie oft diese Aktionen nötig sind, erhöht sich die Kommissionierzeit. Der Login mit Benutzernamen und Passwort ist ein einmaliges Ereignis am Anfang.

Der Login ist auch bei Pick-by-Vision nötig und wird einmalig berücksichtigt. Beim Login liest der Benutzer den kompletten Text der Anmeldemaske ab. Deswegen benötigt er hier mehr Zeit. Da es keine MTM-Bausteine für Informationsaufnahme über ein HMD gibt, werden entsprechende Bausteine selbst generiert, die Ähnlichkeit zu den Bausteinen zur Informationsaufnahme durch normales Lesen (Regel L-2) haben, weil über das HMD nur Text angezeigt wird. Die Projektionsebene des Nomad ist so eingestellt, dass es einem 17 Zoll Monitor in einer Armlänge Entfernung entspricht. Es sind keine Kopfbewegungen zum Lesen notwendig, weil die Daten stets vor dem Auge sind. Für die Spracheingaben werden die gleichen Bausteine wie bei PbV verwendet. Ein Ablesen der Daten ist während der Bewegung möglich, so dass die Vorgänge parallelisiert werden können. Die Schrittlänge wird auf 0,6 m reduziert, weil sich der Benutzer ggf. vorsichtiger bewegt.

Die Zeiten sind in Tabelle 6-7 dargestellt. Zusammenfassend ist zu sagen, dass bei PbV viele Standzeiten auftreten, da die Sprachausgabe mit den kurzen Wegzeiten nicht parallelisiert werden kann und die Wiederholungen die Zeit pro Position erheblich erhöhen. Pick-by-Vision verbindet die Vorteile der anderen beiden Verfahren (hands-free und Informationen stehen immer zur Verfügung). Allerdings berücksichtigt die MTM-Analyse keine ergonomischen und psychologischen Gesichtspunkte. Es ist auch noch nicht klar, wie sich die Informationsaufnahme im Realen (von Papierlisten oder MDT) von der durch das HMD unterscheidet.

	Liste	Pick-by-Voice	Pick-by-Vision
Gesamtzeit [min]	1:39	1:54	1:35
Zeit pro Position [s]	14	16	13
Zeit für einen Login [s]	-	20	23
Kommissionierleistung (inkl. 1 Login/h) [Pos/h]	257	224	275
Wiederholung jeder 25 Ein- und Ausgabe	-	30 zusätzliche	35 zusätzliche
zusätzliche Zeit für Ein- und ggf. Ausgabe [s]	-	729	186
Kommissionierleistung [Pos/h] mit Anzahl Wiederholungen	-	183 (24)	262 (33)

**Tabelle 6-7: Vergleich der drei Technologien mit MTM-1 ohne Berücksichtigung von Wiederholungen von Sprachein- und -ausgaben**

## 6.3 Praxisnahe Versuchsreihe

Die Versuchsreihe mit einem Vergleich des FM1 mit einer Papierliste wurde bei der Kühne + Nagel (AG & Co.) KG im Distributionszentrum in Langenbach durchgeführt.

### 6.3.1 Versuchsaufbau in der praxisnahen Umgebung

Zum Versuchsaufbau gehören die Lagerumgebung, die Kommissionieraufträge, die Kommissioniertechnologien und die eingesetzten Verfahren zur Ermittlung der subjektiven Beanspruchung.

#### ***Versuchsumgebung***

Für die Versuchsreihe stellte Kühne + Nagel ein leeres Fachbodenregallager zur Verfügung (siehe Abbildung 6-15). Das Lager befindet sich in einem separaten Raum, so dass Störungen der Versuchsreihe durch den operativen Betrieb nahezu ausgeschlossen waren. Das Lager umfasst 18 Zeilen, von denen nur acht, d. h. vier Gas-

sen genutzt wurden. Eine Gasse hat bis zu 20 Lagerfächer mit einer Breite von einem Meter. Diese Lagerfächer wurden in vier Lagerplätze unterteilt, so dass bis zu 80 Lagerplätze pro Zeile zur Verfügung standen. Die numerische Lagerfachbeschriftung wie z. B. 1-01-01 entsprach Zeile-Platz-Ebene. Es wurden maximal die ersten 24 Lagerplätze befüllt, weil nicht mehr Artikel und Füllmaterial vorhanden waren. Der Lagerfüllungsgrad betrug ca. 75 % der 608 betrachteten Lagerplätze. Die Lagergasen waren nicht bis hinten bzw. nicht einmal bis zum Zwischengang befüllt, so dass nur eine Stichgangstrategie zur Bearbeitung der Aufträge in Frage kam. Die Basis, ein Tisch, befand sich mittig vor dem Lager. Die Probanden nahmen die Behälter auf der einen Seite des Tisches auf und gaben sie auf der anderen Seite ab. Als Kommissionierbehälter wurden Boxen mit ca. 500 x 300 mm Grundfläche und ca. 300 mm Höhe verwendet, die Kühne + Nagel ebenso wie den Kommissionierwagen zur Verfügung stellte. Der Kommissionierwagen war an drei Seiten durch ein ca. 2 m hohes Gitter geschlossen und hatte drei Einlegeböden. Er konnte somit nur von einer Seite beladen werden. Alle Probanden stellten den Kommissionierbehälter auf die dritte Ebene und nutzten diese auch zur Ablage der Papierliste. Die Abholung der Kommissionierliste erfolgte an einem separaten Schreibtisch der sich in der Nähe des Anfangs der ersten Zeile befand.



Abbildung 6-15: Lagerbereich im Distributionszentrum von Kühne + Nagel in Langenbach

### **Kommissionieraufträge**

Die Probanden kommissionierten 14 Aufträge mit zwei bis sechs Positionen (Durchschnitt 3,71) und 119 Entnahmeeinheiten (Durchschnitt 2,29 EE/Pos). Die Aufträge enthielten teilweise schwere und große Artikel, so dass dafür beide Hände notwendig waren. Für Pick-by-Vision wurde ein Probeauftrag erstellt, der nicht in die Auswertung einfließt. Mit dem Probeauftrag sollten sich die Probanden mit der Datenbrille und der Sprachsteuerung vertraut machen. Eine Übersicht zeigt Tabelle 6-8. Die Probanden absolvierten mit jeder Technik die gleichen Aufträge in der gleichen Reihenfolge. Es ist schwierig, für beide Techniken verschiedene Aufträge zu generieren, die nicht nur von der Größe, sondern auch von Faktoren, wie der Greifzeit, dem Gesamtgewicht, der Wiedererkennbarkeit der Artikel etc. gleichartig sind. Deshalb wurden für beide Techniken die gleichen Aufträge verwendet, weil eine Wiedererkennbarkeit aufgrund der vielen verschiedenen und teilweise ähnlichen Artikel schwierig ist.

Auftrag	Positionen	Entnahmeeinheiten	besondere Artikel
A0	4	4	Probeauftrag Pick-by-Vision
A1	3	6	1 schwer
A2	4	8	1 groß
A3	3	6	1 groß
A4	2	4	1 groß
A5	4	10	1 groß, 1 Position zweigeteilt
A6	3	9	1 schwer
A7	3	4	
A8	6	14	3x1 schwer
A9	4	12	1 schwer, 1 groß, 1 Position zweigeteilt
A10	3	7	1 schwer
A11	4	13	1 schwer, 1 groß
A12	6	15	1 groß, 1 schwer
A13	2	6	
A14	5	5	1 groß, 1 schwer

**Tabelle 6-8: Auftragsstruktur bei der praxisnahen Versuchsreihe zu FM1**

### **Verwendete Kommissioniertechniken**

Die Kommissionierliste entsprach der aus dem Labortest (siehe Anhang C). Das Pick-by-Vision-System wurde in der gleichen Hardwarekonfiguration wie im Labor verwendet. Für den speziellen Einsatz bei Kühne + Nagel erfolgte eine Anpassung der Software. Die Hinterlegung des Lagerbereichs im WMS erfolgte ebenso problemlos wie die Änderung der Lagerfachbeschriftung. Da die Artikel aus der Versuchshal-

le des Lehrstuhls fml verwendet wurden, lies sich der vorhandene Artikelstamm nutzen. Probanden mit beiden Techniken zeigen Abbildung 6-16 und Abbildung 6-17.



Abbildung 6-16: Proband mit Pick-by-Vision

Abbildung 6-17: Proband mit der Papierliste

### ***Erfassung der subjektiven Beanspruchungskriterien***

Die Probanden mussten zwischen den beiden Versuchsreihen bzw. am Ende Fragebögen ausfüllen. Dabei bearbeiteten sie einen zu persönlichen Daten (Alter, Geschlecht, 3D- oder Kommissioniererfahrung etc.) und je einen zur verwendeten Kommissioniertechnologie (siehe Anhang C). Die meisten Fragen sind positiv formuliert, einige negativ. Die Probanden haben auch die Möglichkeit, eigene Anmerkungen zu machen. Die Fragebögen zielen auf folgende Punkte ab:

- Benutzerfreundlichkeit (nur Pick-by-Vision)
- Motivation und Akzeptanz des Systems
- Wirkung des Systems (nur Pick-by-Vision)
- Kognitive Belastung

### 6.3.2 Nullhypothesen bei der praxisnahen Versuchsreihe

Die Kommissionierfehlerquote, die Kommissionierzeit und die subjektiven Beanspruchungskriterien Benutzerfreundlichkeit, Wirkung des Systems, Motivation und kognitive Belastung werden in dieser Versuchsreihe ermittelt. Die logistischen Kennzahlen lassen sich des Weiteren auf den Einfluss der 3D- und Kommissioniererfahrung bzw. der Lerneffekte untersuchen. Folgende Nullhypothesen werden betrachtet:

$H_{0,1}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für alle Kommissioniertechnologien gleich.

$$f_{\text{Liste}} = f_{\text{Pick-by-Vision}}$$

$H_{0,2}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von der 3D-Erfahrung.

$$f_{\text{Pick-by-Vision, 3D}} = f_{\text{Pick-by-Vision, ohne 3D}}$$

$H_{0,3a}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für die Papierliste unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$f_{\text{Liste, Kom-Erf}} = f_{\text{Liste, ohne Kom-Erf}}$$

$H_{0,3b}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$f_{\text{Pick-by-Vision, Kom-Erf}} = f_{\text{Pick-by-Vision, ohne Kom-Erf}}$$

$H_{0,4a}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für die Papierliste unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes oder zweites getestet wurde.

$$f_{\text{Liste, Durchgang 1}} = f_{\text{Liste, Durchgang 2}}$$

$H_{0,4b}$ : Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes oder zweites getestet wurde.

$$f_{\text{Pick-by-Vision, Durchgang 1}} = f_{\text{Pick-by-Vision, Durchgang 2}}$$

$H_{0,5}$ : Die Kommissionierzeit  $t$  ist für alle Kommissioniertechnologien gleich.

$$t_{\text{Liste}} = t_{\text{Pick-by-Vision}}$$

$H_{0,6}$ : Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von der 3D-Erfahrung.

$$t_{\text{Pick-by-Vision, 3D}} = t_{\text{Pick-by-Vision, ohne 3D}}$$

$H_{0,7a}$ : Die Kommissionierzeit  $t$  ist für die Papierliste unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$t_{\text{Liste, Kom-Erf}} = t_{\text{Liste, ohne Kom-Erf}}$$

H<sub>0, 7b</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$t_{\text{Pick-by-Vision, Kom-Erf}} = t_{\text{Pick-by-Vision, ohne Kom-Erf}}$$

H<sub>0, 8a</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für die Papierliste unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes oder zweites getestet wurde.

$$t_{\text{Liste, Durchgang 1}} = t_{\text{Liste, Durchgang 2}}$$

H<sub>0, 8b</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes oder zweites getestet wurde.

$$t_{\text{Pick-by-Vision, Durchgang 1}} = t_{\text{Pick-by-Vision, Durchgang 2}}$$

H<sub>0, 9</sub>: Die Benutzerfreundlichkeit  $BF$  ist bei beiden beleglosen Systemen gleich.

$$BF_{\text{PbV}} = BF_{\text{Pick-by-Vision}}$$

H<sub>0, 10</sub>: Die Wirkung des Systems  $WS$  ist bei allen drei Systemen gleich.

$$WS_{\text{PbV}} = WS_{\text{Pick-by-Vision}}$$

H<sub>0, 11</sub>: Die kognitive Belastung  $kB$  ist bei beiden Systemen gleich.

$$kB_{\text{Liste}} = kB_{\text{Pick-by-Vision}}$$

H<sub>0, 12</sub>: Die Motivation  $Mo$  ist bei beiden Systemen gleich.

$$Mo_{\text{Liste}} = Mo_{\text{Pick-by-Vision}}$$

### 6.3.3 Durchführung der praxisnahen Versuchsreihe

Das Probandenprogramm lief während der offiziellen Betriebszeit (5:00 bis 18:30 Uhr). Für die gesamte Versuchsreihe stand eine Woche zur Verfügung und für einen Probanden war ein Zeitfenster von 120 Minuten veranschlagt. An einem Tag wurden maximal fünf und insgesamt 16 Probanden getestet. Die Reihenfolge, in der die Probanden die beiden Techniken evaluierten, wurde randomisiert, so dass je acht mit der Papierliste und Pick-by-Vision begannen. Nach der Einweisung durch den Versuchsleiter (Projekthintergrund, Ablauf und Ziele der Versuchsreihe) wurde der Lageraufbau, die Lagerfachbeschriftung und die verschiedenen Artikel mit ihren Artikelnummern erklärt. Vor dem Durchgang mit Pick-by-Vision gab es eine Einweisung in die Bedienung anhand von Bildern der GUI bzw. der Sprachausgabe mit den entsprechenden Sprachbefehlen. Anschließend wurde der Probedurchgang absolviert, um sich mit dem System vertraut zu machen und den korrekten Sitz der Hardware zu prüfen. Bei der Liste erfolgte eine Unterweisung im Prozessablauf. Die Probanden wurden angehalten, den Kommissionierwagen mit in die Gasse zu nehmen.

Während der Versuchsreihe wurden die beiden Kennzahlen Kommissionierfehler und -zeit ermittelt. Die Zeitaufnahme begann beim Login bzw. beim Losgehen und stoppte bei Abgabe des letzten Sammelbehälters. Neben Mengen- und Typfehlern wurden auch Prozessfehler direkt nach der Abgabe des Auftrags aufgenommen. Nach Abschluss der einzelnen Durchgänge füllten die Probanden die jeweiligen Fragebögen sowie den Grundfragebogen aus. Währenddessen wurde das Lager eingeräumt und die Datenbank des WMS wieder in den Ausgangszustand gebracht.

### 6.3.4 Ergebnisse der praxisnahen Versuchsreihe

Die Auswertung erfolgt nach dem gleichen Schema und mit den gleichen Mitteln wie der Labortest (siehe Kapitel 6.1.3).

#### 6.3.4.1 Probanden

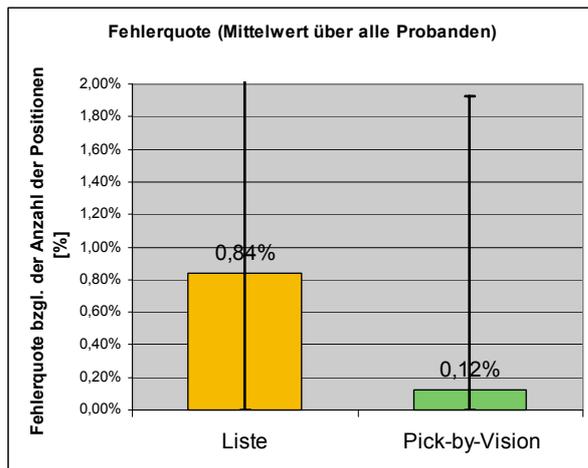
Die Auswahl der Probanden steht stets im Zielkonflikt zwischen aussagekräftigen Ergebnissen und personeller und zeitlich verfügbarer Ressourcen. Nach statistischen Überlegungen sind für eine derartige Untersuchung 26 Probanden nötig, um mit Standardwahrscheinlichkeiten vernünftige Aussagen zu bekommen [Bor-05]. Für die Versuchsreihe stand aus terminlichen Gründen nur eine Woche zur Verfügung. Außerdem sollten die Probanden möglichst lange mit Pick-by-Vision arbeiten. Deshalb sind 16 Probanden ein guter Kompromiss. Eine Übersicht über die Probandenstruktur zeigt Tabelle 6-9. Leider konnte Kühne + Nagel aus Kapazitätsgründen keinen Kommissionierer zur Verfügung stellen, so dass nur zwei Mitarbeiter aus anderen Bereichen teilnahmen.

<b>Geschlecht</b>	3 Frauen		13 Männer
<b>Durchschnittliches Alter</b>	27,6 Jahre		
<b>Alterspanne</b>	20 Jahre	bis	52 Jahre
<b>Standardabweichung</b>	8,13		
<b>Beruf</b>	7 Facharbeiter	6 Studenten	3 Akademiker
<b>3D-Erfahrung</b>	6 Probanden		
<b>Kommissioniererfahrung</b>	5 Probanden		

**Tabelle 6-9: Zusammenfassung Probandenstruktur praxisnahe Versuchsreihe zu FM1**

### 6.3.4.2 Kommissionierfehler

Zuerst werden die deskriptiven Daten zu den Kommissionierfehlern in der Versuchsreihe ermittelt. Die Ergebnisse zeigt Abbildung 6-18. Vor allem bei Pick-by-Vision ist die Fehlerquote sehr gering. Wird bei der Papierliste beachtet, dass es sich um eine Versuchsreihe unter Laborbedingungen handelt, entspricht dies in etwa der doppelten Quote aus der Praxis von ca. 0,35 % [Lol-03].



**Abbildung 6-19: Der einzige Fehler, der mit Pick-by-Vision begangen wurde. Der Proband griff zwei Fächer weiter statt den roten die orangen Süßigkeiten.**

**Abbildung 6-18: Fehlerquote praxisnaher Test griff zwei Fächer weiter statt den roten die orangen Süßigkeiten.**

Die Fehlerquote mit der Liste ist genau siebenmal höher als die mit Pick-by-Vision. Nach einem Kolmogorov-Smirnov-Test ( $\alpha = 5\%$ ) unterliegt die Fehlerquote nicht der Normalverteilung. Der Wilcoxon-Rangsummentest ( $\alpha = 5\%$ ) stellt keine Signifikanz fest. Obwohl mit Pick-by-Vision in Relation zur Liste deutlich weniger Fehler gemacht wurden, gibt es keine statistischen Unterschiede und die Nullhypothese  $H_{0,1}$  kann nicht verworfen werden. Dies liegt zum einen daran, dass die Anzahl der Probanden relativ niedrig war, aber zum anderen auch, dass generell sehr wenige Fehler auftraten.

Anschließend erfolgt eine Kategorisierung der Fehler hinsichtlich ihrer Ursachen (siehe Abbildung 6-20). Bei der Papierliste wurde dreimal die falsche Menge entnommen. Die Probanden vergaßen zweimal die Abgabe eines Kartons, weil er in der unteren Ebene des Kommissionierwagens lag (Auslassungsfehler) und entdeckten den Fehler erst viel später. Zweimal wurde vergessen auf der Liste zu unterschreiben. Zusammenfassend lassen sich die Fehler bei der Papierliste in drei Mengen-, zwei Prozess- und zwei Auslassungsfehler einteilen. Analog wie beim Labortest wurden vier der sieben Fehler während des ersten Auftrags begangen.

Bei dem einen Fehler bei Pick-by-Vision entnahm die Versuchsperson bei seinem letzten Auftrag einen falschen Artikel (Typfehler). Er griff anstatt nach der roten Süßigkeit im richtigen Lagerfach nach der orangenen Süßigkeit zwei Lagerfächer weiter in dieser Ebene (siehe Abbildung 6-19).

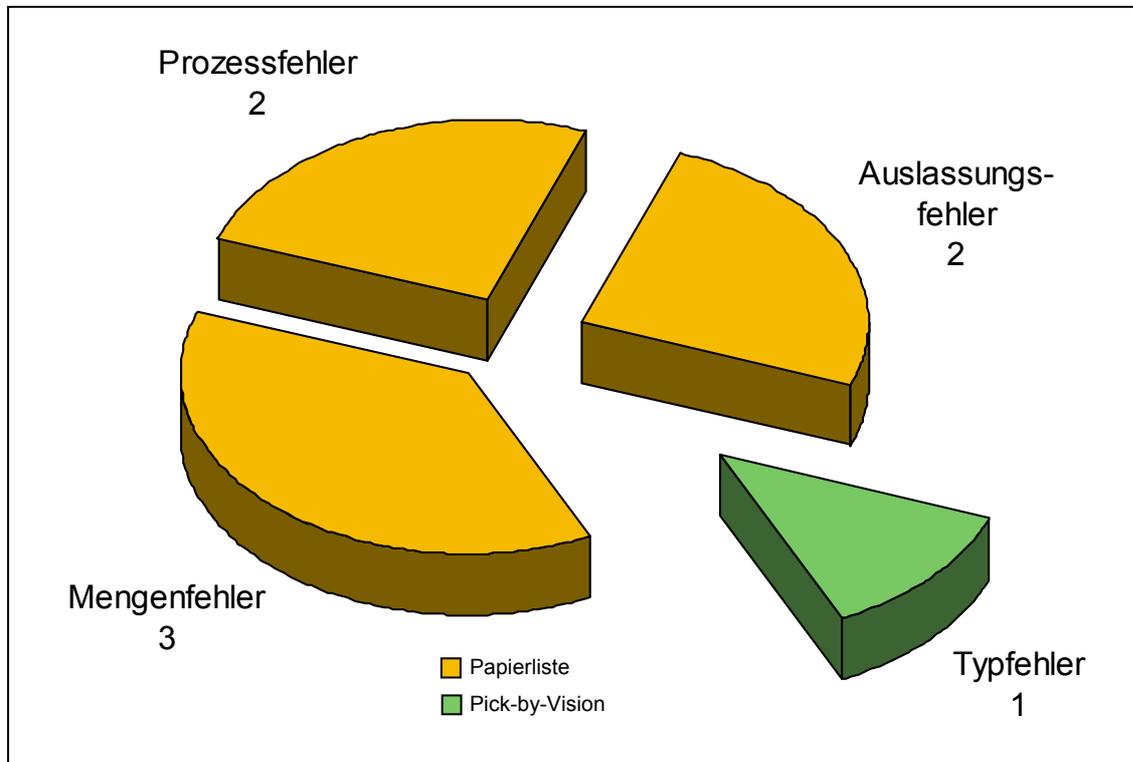


Abbildung 6-20: Einteilung nach Fehlerarten bei der praxisnahen Versuchsreihe

#### 6.3.4.3 Kommissionierfehler und 3D- bzw. Kommissioniererfahrung

Da die Stichproben bei der Untersuchung der 3D- und der Kommissioniererfahrung kleiner sind und somit noch weniger Fehler pro Stichprobe eingehen, wird auf Signifikanztests verzichtet und nur die deskriptive Statistik betrachtet. Bei Pick-by-Vision beging ein Proband mit Kommissionierer- und ohne 3D-Erfahrung den Fehler. Der Proband mit drei und somit fast der Hälfte der Fehler bei der Papierliste gab Kommissionier-, aber keine 3D-Erfahrung an. Aufgrund dieser Verteilung ist keine Aussage zu diesen Einflussfaktoren und  $H_{0,2}$ ,  $H_{0,3a}$  und  $H_{0,3b}$  ableitbar.

#### 6.3.4.4 Kommissionierfehler und Lerneffekte

Die Lerneffekte sind ein weiterer interessanter zu untersuchender Punkt. Vor allem bei der Kommissionierliste ist ersichtlich, dass vier der sieben Fehler beim ersten Auftrag begangen wurden. Dies hat mit Sicherheit mit dem Übungsgrad zu tun. Zwei

Probanden vergaßen zu unterschreiben und einer entnahm pro Position nur einen Artikel, weil er nicht auf die Menge achtete. Allerdings hatten die beiden Probanden mit der vergessenen Unterschrift Kommissioniererfahrung, so dass diese Fehler nicht auf die Unerfahrenheit geschoben werden können. Die Führung war bei Pick-by-Vision besser, so dass dabei beim ersten Auftrag keine Fehler gemacht wurden. Die Betrachtung wie sich die Fehlerquote verhält, wenn mit der Technik als erstes oder zweites kommissioniert wurde, ist aufgrund der wenigen Fehler nicht sinnvoll. Zu den Nullhypothesen  $H_{0,4a}$  und  $H_{0,4b}$  ist keine Aussage möglich.

#### 6.3.4.5 Zusammenfassung der Auswertung der Kommissionierfehler

Aufgrund des Sortiments sind Fehler kaum möglich (siehe Tabelle 6-10), weil die nebeneinander liegenden Artikel selbst bzw. ihre Artikelnummern meist sehr unterschiedlich aussehen und dazu viel Füllmaterial (Dummies) zwischen den Artikeln lag. Pick-by-Vision führt durch den Prozess und gibt einen Befehl vor. Dies ist eine klare Aufgabendefinition und hat nichts mit Autonomieeinschränkung zu tun [Ham-06].

	Papierliste	Pick-by-Vision
Durchschnittliche Anzahl Fehler	0,44	0,06
Fehler insgesamt	7	1
Fehlerquote [%]	0,84	0,12
Median	0	0
Minimum	0	0
Maximum	3	1
Varianz	0,66	0,06
Standardabweichung	0,81	0,25
Vertrauensintervall für [%] ( $\alpha = 5\%$ )	0,35 – 1,44	0,00 – 0,37
Normalverteilung ( $\alpha = 5\%$ )	nein	nein
Poisson-Verteilung	ja	ja
Ausreißer ( $\alpha = 5\%$ )	nicht möglich, keine Normalverteilung	
Signifikanztest Mittelwerte (Wilcoxon Rangsummentest) ( $\alpha = 5\%$ )	keine Signifikanz	
Einfluss 3D-Erfahrung	kein ersichtlicher Einfluss	
Einfluss Kommissioniererfahrung	kein ersichtlicher Einfluss	
Einfluss erster Auftrag	hoher Einfluss, über 50% der Fehler	keine Fehler, da gute Führung
Einfluss Reihenfolge der Kommissioniertechnologien	kein Einfluss erkennbar	

**Tabelle 6-10: Zusammenfassung der Auswertung für die Kommissionierfehler**

Die für das Kommissionieren mit Datenbrille ermittelte Fehlerquote von nur 0,12 % ist bereits mit den ungeübten Probanden ein sehr guter Wert. Mengenfehler werden durch die von einigen Versuchsteilnehmern als hilfreich angesehene mündliche Bes-

tätigung der Entnahmemenge vermieden. Der Typenfehler, der beim Kommissionieren mit Pick-by-Vision begangen wurde, ist wahrscheinlich auf nachlassende Konzentration zurückzuführen. Der Abgleich der Artikelnummer wurde zwar gefordert, aber nicht von allen durchgeführt. Einer der schnellsten Probanden mit beiden Techniken gab zu, nicht immer auf die Artikelnummer gesehen zu haben und wenn dann auch nur die ersten drei Zeichen. So ist seine Schnelligkeit zu erklären. Er machte aber keinen Fehler.

### 6.3.4.6 Kommissionierleistung

Zuerst werden die deskriptiven Daten zu den Kommissionierzeiten in der Versuchsreihe ermittelt. Die Ergebnisse zeigen Abbildung 6-21 und Abbildung 6-22. Die Mittelwerte der Kommissionierzeit sind nahezu gleich. Die Probanden waren mit Pick-by-Vision um gut eine Minute (ca. 4 %) schneller.

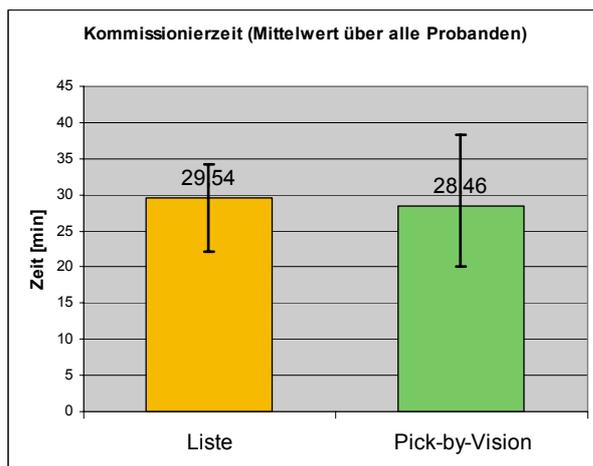


Abbildung 6-21: Kommissionierzeit über alle Aufträge im der praxisnahen Versuchsreihe

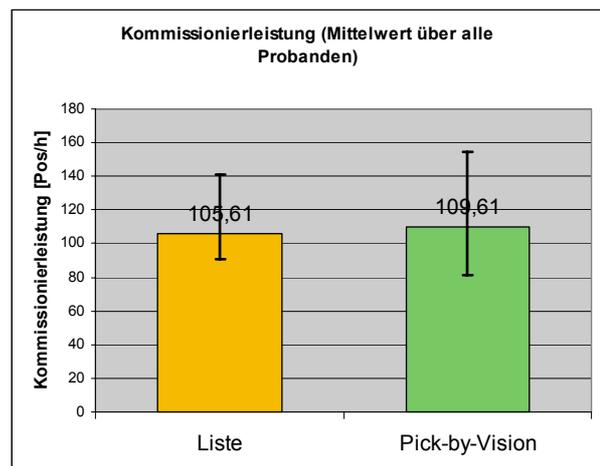


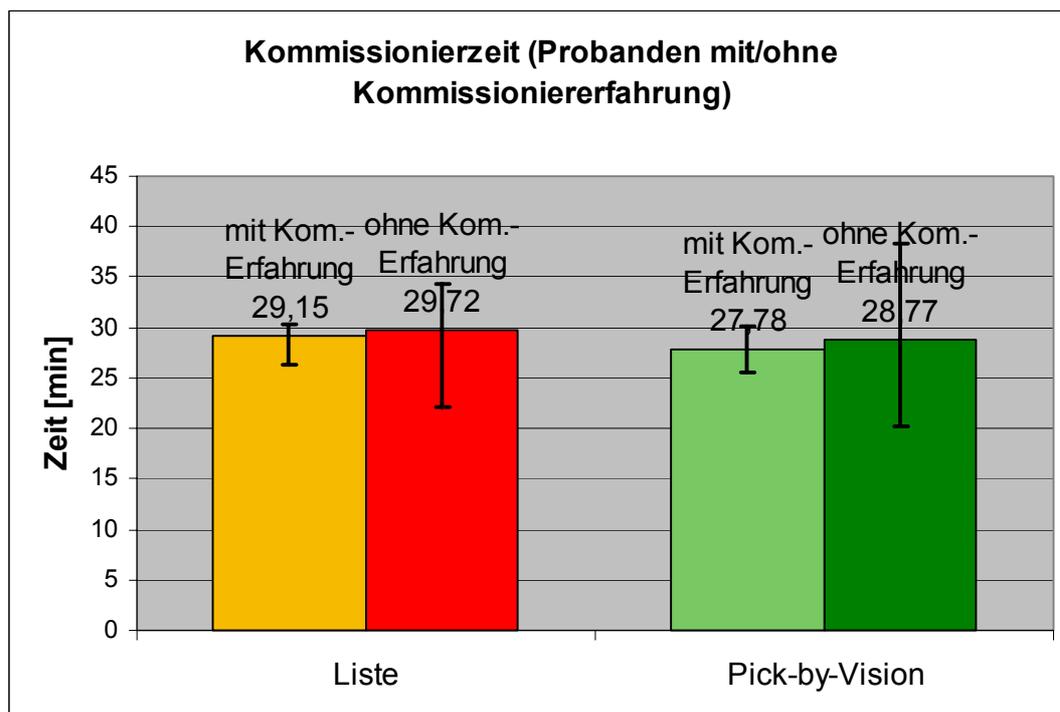
Abbildung 6-22: Übersicht über die Kommissionierleistung [Pos/h] in der praxisnahen Versuchsreihe

Der Kolmogorov-Smirnov-Test ( $\alpha = 5\%$ ) weist eine Normalverteilung der Kommissionierzeiten auf. Ein t-Test für gepaarte, abhängige Stichproben ( $\alpha = 5\%$ ) zeigt keinen signifikanten Unterschied bei den Mittelwerten der Zeiten. Auffallend ist, dass die Streuung bei Pick-by-Vision viel größer ist, d. h. zwischen dem schnellsten und dem langsamsten Probanden ist ein Unterschied von 18 Minuten (ca. 47 %), während dieser Unterschied bei der Papierliste nur 12 Minuten (ca. 35 %) beträgt. Mit einem von Kristof entwickelten Test [Kri-81] ( $\alpha = 5\%$ ) zeigt sich ein Unterschied bei den

Varianzen. Die Kommissionierzeiten unterscheiden sich und die Nullhypothese  $H_{0,5}$  wird verworfen.

#### 6.3.4.7 Kommissionierzeit und 3D- bzw. Kommissioniererfahrung

Sechs Probanden weisen 3D-Erfahrung auf. Die Unterschiede der Mittelwerte liegen bei der Papierliste bei 4 % und bei Pick-by-Vision bei gut 3 % zugunsten der 3D-Erfahrung. Allerdings bedingen diese geringen Differenzen keinen signifikanten Unterschied. Bei der Betrachtung der Streuung ist bei Pick-by-Vision zu beobachten, dass diese bei den Probanden mit und ohne 3D-Erfahrung nahezu gleich ist, so dass kein signifikanter Unterschied zu erwarten ist. Bei der Liste ist ein Unterschied zu beobachten. Allerdings stellt sich die Frage des Einflusses der 3D-Erfahrung auf die Kommissionierung mit der Papierliste nicht. Die Nullhypothese  $H_{0,6}$  wird nicht verworfen.



**Abbildung 6-23: Einfluss der Kommissioniererfahrung auf die Kommissionierzeiten bei der praxisnahen Versuchsreihe bei FM1**

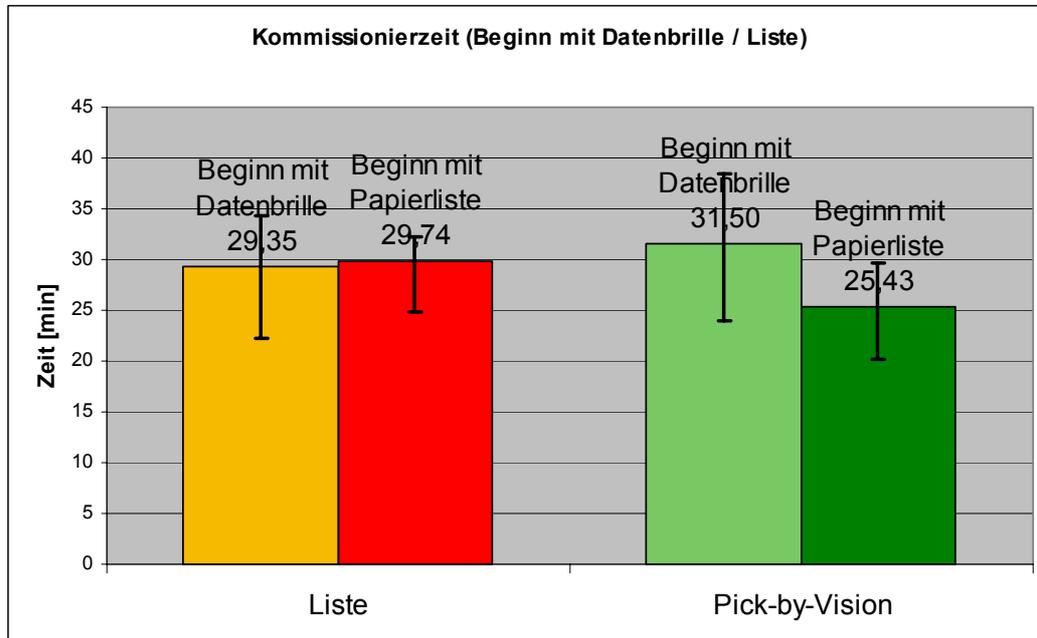
Bei beiden Kommissioniertechniken zeigt sich ein geringer Unterschied zugunsten der Kommissioniererfahrung (siehe Abbildung 6-23). Die fünf Probanden mit Kommissioniererfahrung waren mit der Papierliste um 2 % und bei Pick-by-Vision um gut 3 % schneller. Dies ist aber kein signifikanter Unterschied. Interessant ist, ob sich die Unterschiede bei der Streuung auswirken. Bei der Papierliste ist die Differenz bei

12 % mit Kommissioniererfahrung und bei 35 % ohne Kommissioniererfahrung. Bei Pick-by-Vision ist es ähnlich. Mit Kommissioniererfahrung beträgt die Streuung 15 % und ohne gar 47 %. Beide Datenreihen (Pick-by-Vision mit bzw. ohne Kommissioniererfahrung und analog bei der Papierliste) sind nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test nicht normalverteilt. Bei dem nach Kristof eingeführten Test ist nicht bekannt, ob die Normalverteilung Voraussetzung ist. Allerdings sollten bei diesem Test die Stichprobenumfänge in etwa gleich sein. Dies ist hier nicht der Fall, da fünf Probanden Kommissioniererfahrung aufweisen und elf nicht. So kann dieser Test ebenfalls nicht angewandt werden. Aufgrund der kleinen Stichprobenumfänge ist eine statistisch haltbare Aussage sowieso schwierig zu erreichen. Deshalb wird dieser Punkt mit einer Vermutung abgehandelt. Die beiden Nullhypothesen  $H_{0,7a}$  und  $H_{0,7b}$  können wohl verworfen werden. Die Probanden mit Kommissioniererfahrung kennen die Abläufe und wissen wie schnell man ohne zu ermüden arbeiten kann. Deshalb ist bei ihnen die Streuung gering. Die Probanden ohne Kommissioniererfahrung brauchen länger, weil sie die Abläufe erst kennenlernen müssen. Die schnellen Zeiten sind damit zu erklären, dass diese Probanden auf Geschwindigkeit gearbeitet haben, weil sie wussten, dass dieser Versuch nur maximal zwei Stunden dauert und diese Arbeit nicht über eine ganze Schicht auszuführen ist.

#### **6.3.4.8 Kommissionierzeit und Lerneffekt**

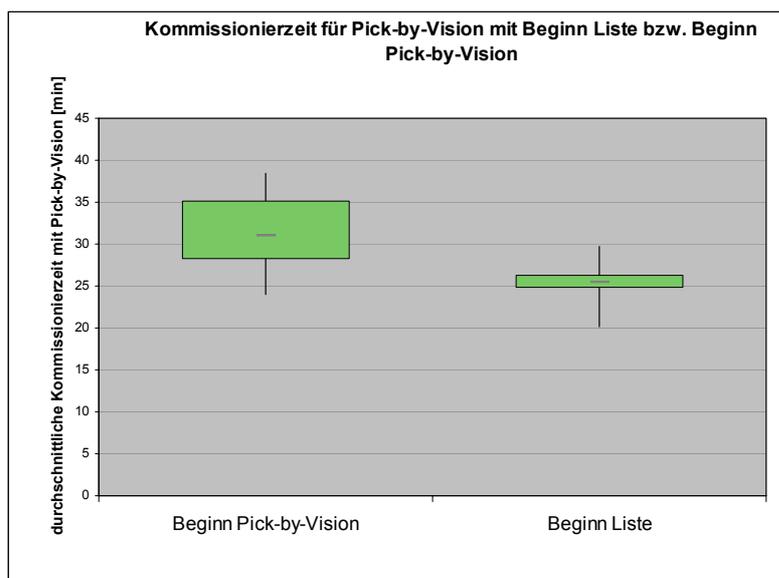
Um den Einfluss des Kennenlernens des Lageraufbaus, der Kommissionieraufträge etc. zu minimieren, wechselte die Reihenfolge der Techniken zufällig. Es wurde darauf geachtet, dass am Ende je acht Probanden mit der Liste und mit Pick-by-Vision begannen. Zum einen wird ein Lerneffekt erwartet, so dass die zweite Technik besser abschneidet. Zum anderen kann aber auch Ermüdung und Langeweile bei der zweiten Technik auftreten, so dass diese schlechter abschneidet. Insgesamt ist dabei ein interessanter Effekt zu beobachten. Während bei den Zeiten mit der Kommissionierliste so gut wie kein Unterschied zu sehen ist, ist dieser bei der Datenbrille deutlich erkennbar (siehe Abbildung 6-24). Wenn das Lager bereits bekannt ist, erhöhen sich die Sicherheit im Umgang mit der Datenbrille und die Geschwindigkeit deutlich. Bei Pick-by-Vision ist eine große Lücke von ca. sechs Minuten (ca. 19 %) zu erkennen. Die Probanden waren mit Pick-by-Vision deutlich schneller, wenn sie vorher schon mit der Liste kommissioniert hatten. Beide Datenreihen unterliegen nach dem

Kolmogorov-Smirnov-Test ( $\alpha = 5\%$ ) der Normalverteilung. Ein Zweistichproben t-Test bei abhängigen Stichproben ( $\alpha = 5\%$ ) weist eine Signifikanz auf, so dass ein Unterschied bei den Zeiten bei Pick-by-Vision in Abhängigkeit von der ersten getesteten Technologie wahrscheinlich ist. Die Nullhypothese  $H_{0,8a}$  wird verworfen.



**Abbildung 6-24:** Kommissionierzeiten in Abhängigkeit mit welcher Technologie die Probanden bei der praxisnahe Versuchsreihe mit FM1 begannen

Der Boxplot in Abbildung 6-25 zeigt ebenfalls, dass die Streuung beim Beginn mit der Liste viel größer ist.



**Abbildung 6-25:** Boxplot zum Vergleich der Kommissionierzeiten bei Pick-by-Vision in Abhängigkeit von der ersten Technologie bei der praxisnahen Versuchsreihe zu FM1

Bei der Papierliste ist der Unterschied im Mittelwert sehr gering und nicht signifikant. Werden allerdings die Streuungen betrachtet, ergibt sich ein anderes Bild. Die Probanden, die vor der Liste bereits mit Pick-by-Vision arbeiteten, haben eine Streuung von 35 %, während die Probanden, die mit der Papierliste starteten, nur einen Unterschied von 23 % aufweisen. Werden die Varianzen betrachtet, ist der Unterschied von 3,90 zu 2,23 ebenfalls deutlich. Mit dem Test nach Kristof wird sogar eine hohe Signifikanz ( $\alpha = 1\%$ ) nachgewiesen. Die Nullhypothese  $H_{0, 8b}$  wird verworfen. Der Effekt ist aber gegenteilig zu Pick-by-Vision, wo die Streuung beim ersten Versuch mit der Papierliste sehr hoch war. Normalerweise müssten die Probanden im zweiten Versuch schneller werden, weil sie das Lager und den Ablauf kennen. Dies ist in dieser Versuchsreihe auch der Fall. Aber es wurden einige Probanden auch langsamer. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass sie bereits müde oder von der einfachen Papierliste gelangweilt waren.

#### 6.3.4.9 Zusammenfassung der Auswertung der Kommissionierzeit

Der Unterschied der Mittelwerte zeigt nur einen kleinen nicht signifikanten Unterschied der Kommissionierzeiten. Vergleicht man die Varianzen, ist ein signifikanter Unterschied erkennbar. Auch die Lerneffekte unterschieden sich bei beiden Techniken. Tabelle 6-10 zeigt die Zusammenfassung der Auswertung.

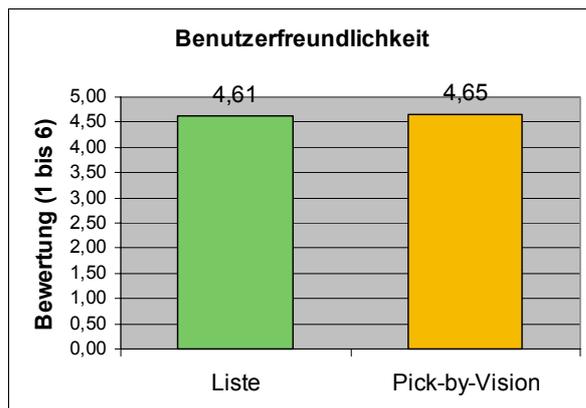
	Papierliste	Pick-by-Vision
durchschnittliche Kommissionierzeit [min]	29,54	28,46
durchschnittliche Kommissionierleistung [Pos/h]	105,61	109,61
Median [min]	29,98	27,82
Minimum [min]	22,17	20,15
Maximum [min]	34,27	38,37
Varianz	9,46	24,71
Standardabweichung	3,08	4,97
Vertrauensintervall für den Mittelwert [min] ( $\alpha = 5\%$ )	27,90 - 31,18	25,81 - 31,11
Normalverteilung ( $\alpha = 5\%$ )	ja	ja
Ausreißer ( $\alpha = 1\%$ )	keine	keine
Signifikanztest Mittelwerte ( $\alpha = 5\%$ )	keine Signifikanz	
Differenz zwischen schnellsten und langsamsten Probanden [min]	18 (47 %)	12 (35 %)
Signifikanztest für Varianzen [Kri-81]	signifikant	
Einfluss 3D-Erfahrung	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte	
Streuung bei 3D-Erfahrung	17%	36%
Streuung bei keiner 3D-Erfahrung	35 %	37%
Einfluss der 3D-Erfahrung auf die Varianz	uninteressant	nicht vorhanden

	Papierliste	Pick-by-Vision
<b>Einfluss Kommissioniererfahrung</b>	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte	
<b>Streuung bei Kommissioniererfahrung</b>	12%	15 %
<b>Streuung ohne Kommissioniererfahrung</b>	35 %	47%
<b>Einfluss der Kommissioniererfahrung auf die Varianz</b>	ja (Vermutung)	ja (Vermutung)
<b>Einfluss Reihenfolge der Kommissionier-technologien (<math>\alpha = 5 \%</math>)</b>	nein	ja
<b>Einfluss Reihenfolge: Signifikanztest für die Varianzen [Kri-81] (<math>\alpha = 1\%</math>)</b>	hoch signifikant	-

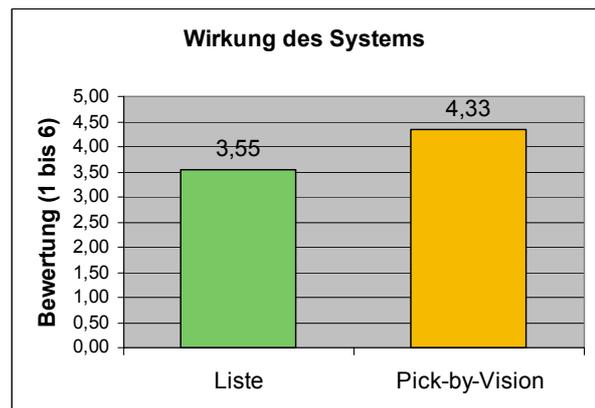
**Tabelle 6-11: Zusammenfassung der Auswertung der Kommissionierzeit bei der praxisnahen Versuchsreihe**

### 6.3.4.10 Subjektive Beanspruchungskriterien

Die Benutzerfreundlichkeit wurde mit sieben (Pick-by-Vision) bzw. fünf (Papierliste) Fragen behandelt. Fünf bzw. vier davon waren positiv und zwei bzw. eine negativ formuliert. Die Auswertung ergibt für Pick-by-Vision einen Wert von 4,65 und für die Papierliste von 4,61 (siehe Abbildung 6-26). Dies sind für beide Techniken gute Werte (Maximum: 6). Bei der Liste ist es aufgrund seiner Einfachheit und der intuitiven Bedienung nicht verwunderlich, dass sie einen hohen Wert in der Benutzerfreundlichkeit erhält. Pick-by-Vision wird minimal besser bewertet, d. h. dass es für die un-geübten Benutzer von Anfang an gut zu benutzen war. Dies spricht für Pick-by-Vision, auch wenn kein signifikanter Unterschied zu erkennen ist und  $H_{0,9}$  nicht verworfen werden kann.



**Abbildung 6-26: Benutzerfreundlichkeit**



**Abbildung 6-27: Wirkung des Systems**

Der Punkt „Wirkung des Systems“ wurde in bei beiden Techniken mit vier positiv formulierten Fragen behandelt. Pick-by-Vision wurde dabei mit 4,33 um ca. 18 % besser bewertet als die Liste mit 3,55 (siehe Abbildung 6-27). Pick-by-Vision kommt bei den Probanden generell gut und besser als die Papierliste an. Dies liegt wohl daran,

dass die Liste für die Probanden keinen innovativen Charakter aufweist. Nach einem Kolmogorov-Smirnov-Test sind beide Stichproben nicht normalverteilt ( $\alpha = 5\%$ ). Ein hoher signifikanter Unterschied wird mit einem Wilcoxon-Rangsummentest für zwei abhängige Stichproben ( $\alpha = 1\%$ ) aufgezeigt und  $H_{0,10}$  wird verworfen. Ein neuartiges System wird bei den Probanden deutlich besser angenommen. Ob dies in der Praxis ebenso der Fall ist, hängt von vielen Faktoren ab, z. B. der Aufgeschlossenheit der Firma, der Führungskräfte und auch der Kommissionierer gegenüber neuen Technologien oder der Einbeziehung der Kommissionierer in den Auswahlprozess und die Gestaltung der neuen Technologie.

Die kognitive Belastung wurde mit fünf Fragen behandelt. Vier davon waren positiv und eine negativ formuliert. Die Auswertung ergibt für Pick-by-Vision einen Wert von 1,66 und für die Papierliste von 1,58. Dies sind für beide Techniken sehr gute Werte (Maximum: 1). Um eine bessere Vergleichbarkeit mit den anderen Kriterien herzustellen, wurden die Ergebnisse invertiert (Maximum: 6) (siehe Abbildung 6-28). Bei der Liste ist es aufgrund seiner Einfachheit und der intuitiven Bedienung nicht verwunderlich, dass sie eine geringe kognitive Belastung hervorruft. Pick-by-Vision wird minimal schlechter bewertet. Dies spricht für Pick-by-Vision, da kein signifikanter Unterschied zu erkennen ist und  $H_{0,11}$  nicht verworfen wird.

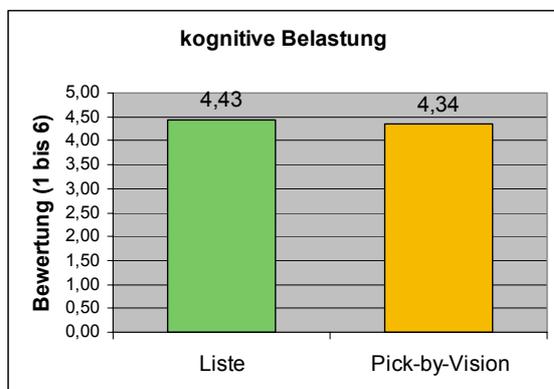


Abbildung 6-28: kognitive Belastung

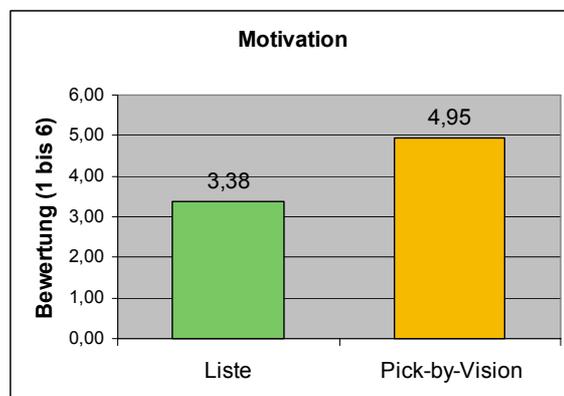
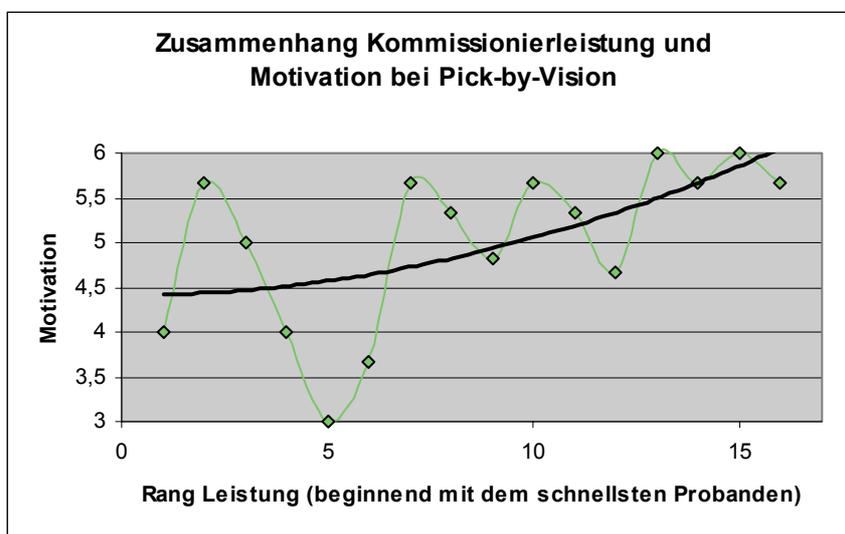


Abbildung 6-29: Motivation

Die Motivation wurde mit drei (Pick-by-Vision) bzw. zwei (Papierliste) positiven Fragen behandelt. Die Auswertung ergibt für Pick-by-Vision einen Wert von 4,95 und für die Papierliste von 3,38 und somit einen Unterschied von knapp 32% (siehe Abbildung 6-29). Beide Verteilungen sind für den Kolmogorov-Smirnov-Test nicht normalverteilt ( $\alpha = 5\%$ ). Ein Wilcoxon-Rangsummentest für zwei abhängige Stichproben ( $\alpha = 1\%$ ) weist einen hohen signifikanten Unterschied auf und  $H_{0,12}$  wird verworfen. Die hohe Motivation der Probanden lässt sich damit erklären, dass die

Probanden mit einer neuen Technik deutlich motivierter als mit einer altbekannten Papierliste arbeiteten. Ein Zusammenhang zwischen der Motivation und der Kommissionierzeit ist nicht zu erkennen. Die beiden topmotivierten Probanden (Motivation wurde mit Maximum 6 bewertet) hatten die zweitlangsamste bzw. viertlangsamste Zeit. Auch die anderen vier mit einer hohen Motivation waren mit unter den langsamsten. Der schnellste Proband war mit am schlechtesten motiviert. Die anderen schlecht motivierten landeten im eher vorderen Mittelfeld. Dies lässt die Vermutung zu, dass die Probanden mit einer hohen Motivation eher langsamer und die mit einer geringen Motivation eher schneller kommissionierten. Dies würde eher einen umgekehrten Zusammenhang zu den Aussagen im Kapitel 2.3.2 darstellen. Die Trendlinie in Abbildung 6-30 verdeutlicht diese Vermutung.



**Abbildung 6-30: Zusammenhang Kommissionierleistung und Motivation (inkl. Trendlinie)**

Aus den Bemerkungen der Probanden aus den Fragebögen können noch weitere Schlüsse gezogen werden. Die meisten Probanden können sich einen sinnvollen Einsatz des Systems mit Datenbrille vor allem in größeren Lagern und bei Aufträgen mit vielen Positionen sowie bei kleinen, ähnlichen Artikeln vorstellen. Die bessere Vergleichbarkeit der Artikelnummer durch die ständig im Blickfeld eingeblendeten Daten wurde positiv bewertet. Durch die Informationsbereitstellung über die Datenbrille hatten die Versuchspersonen beide Hände für die Handhabung der Artikel und den Kommissionierwagen frei und die mündliche Bestätigung der Entnahmemenge war einigen Probanden eine willkommene Unterstützung. Als störend wurde mehrmals das Verrutschen der Datenbrille, das hohe Gewicht des Systems und die geringen Einstellmöglichkeiten auf die Kopfform, genannt. Des Weiteren fühlten sich zwei

Probanden durch die rote Schrift angestrengt. Im Hinblick auf die bereitgestellten Informationen wurde ein fehlender Gesamtüberblick über den Auftrag wie bei der Papierliste vermisst. Einige der Probanden hätten sich z. B. während dem Bearbeiten der einen Position schon die Anzeige des Zielfaches der nächsten Position gewünscht.

### 6.3.5 Kernaussagen zur praxisnahen Versuchsreihe

Bei den Kommissionierfehlern ist ein deutlicher Unterschied zu erkennen, aber die statistischen Tests weisen keine Signifikanz auf, weil insgesamt zu wenige Fehler begangen und zu wenige Probanden getestet wurden. Bei der Papierliste begingen die Probanden vor allem im ersten Auftrag viele Fehler (über 50 %). Bei Pick-by-Vision waren Fehler durch die Abfrage der Mengenangabe und die Prozessführung nahezu ausgeschlossen

- $H_{0,1}$  kann nicht verworfen werden.
- kein Einfluss der 3D-Erfahrung =>  $H_{0,2}$  wird nicht verworfen.
- keine Aussage hinsichtlich der Kommissioniererfahrung ( $H_{0,3a}$ ,  $H_{0,3a}$ ) möglich
- kein Einfluss der Lerneffekte =>  $H_{0,4a}$  und  $H_{0,4b}$  werden nicht verworfen.

Bei den Kommissionierzeiten ist in den Mittelwerten kein Unterschied zu erkennen. Dadurch, dass die Liste auf den Kommissionierwagen abgelegt wird, entfällt deren Handhabung (nahezu hands-free). Die Betrachtung der Varianzen zeigt eine Signifikanz auf. Vorhandene Kommissioniererfahrung hat vermutlich einen positiven Einfluss auf die Kommissionierzeit, denn die Probanden kennen die Arbeitsweise und das Arbeitstempo. Die Streuung unter erfahrenen Probanden ist deutlich geringer.

- signifikanter Unterschied bei den Varianzen =>  $H_{0,5}$  wird verworfen.
- kein Einfluss der 3D-Erfahrung =>  $H_{0,6}$  wird nicht verworfen.
- vermuteter Einfluss der Kommissioniererfahrung =>  $H_{0,7a}$  und  $H_{0,7b}$  lassen sich wohl verwerfen.
- steile Lernkurve, da Probanden mit Pick-by-Vision deutlich schneller waren, wenn sie vorher mit der Liste gearbeitet haben =>  $H_{0,8a}$  wird verworfen.
- umgekehrter Effekt bei der Liste: sehr große Streuung, wenn die Liste als zweites getestet (Vermutung: Ermüdung oder Langeweile) =>  $H_{0,8b}$  wird verworfen.

Das HMD wurde zwischen 30 und 45 Minuten getragen, so dass Aussagen zur subjektiven Beanspruchung nur auf Kurzzeiteffekten beruhen.

- hoch signifikante Unterschiede in Motivation und Wirkung des Systems zugunsten von Pick-by-Vision =>  $H_{0,10}$  und  $H_{0,12}$  werden verworfen.
- kein Unterschied bei Benutzerfreundlichkeit und kognitiver Belastung =>  $H_{0,9}$  und  $H_{0,11}$  werden nicht verworfen. Dies spricht für Pick-by-Vision.
- Das System wird sehr gut angenommen (kaum Fehler machbar, beide Hände frei, bessere Vergleichbarkeit der Artikelnummer, wenn ständig im Blickfeld).
- Negativ wurden das Verrutschen der Kappe, die Lesbarkeit der Schrift bei Helligkeitsänderungen und der fehlende Gesamtüberblick bewertet.

## 6.4 Untersuchung unter praxisnahen Bedingungen

Von Kühne + Nagel wurde ein Lagerbereich für die Untersuchung von Pick-by-Vision zur Verfügung gestellt. Es handelte sich dabei um den Bereich eines Kunden, der das Hotelgewerbe mit verschiedensten Artikeln beliefert. Dabei wird ein eineinhalb-gassiges Längstraversenregal für Paletten mit einer Regalhöhe (oberste Auflage) von fast acht Metern und fünf nutzbare Ebenen sowie einer Regaltiefe von 1.050 mm genutzt.

Die Kommissionierung läuft folgendermaßen ab. Die Kundenaufträge treffen in der Regel per E-Mail im Büro ein. Von dort wird der Auftrag an das Lager erteilt und die jeweiligen Picklisten ausgedruckt. Häufig werden mehrere Aufträge, z. B. bis Mittag, gesammelt und dann gebündelt abgearbeitet. Die Reihenfolge der einzelnen Positionen wird von den Kommissionierern selbst festgelegt. Einige Kriterien beeinflussen den Ablauf. Gibt es Aufträge mit gleichem Ziel (falls die Menge an Kartons es zulässt), wird auf eine Palette kommissioniert. Der Stapler hat keine separate Palettenabstellfläche und muss die Palette, auf die momentan kommissioniert wird, immer ablegen, wenn ein Artikel aus einer höheren Ebene als der untersten gepickt wird. Wenn auf einer Palette nur noch eine geringe Restmenge von z. B. fünf Kartons vorhanden ist und laut Pickliste diese Anzahl gefordert ist, nimmt der Kommissionierer diese Palette anstelle der Leerpalette als Sammeleinheit mit und lagert die Leerpalette ein. Um den Aufwand durch umstapeln der Kartons gering zu halten, wird ein derartiger Lagerplatz vorrangig angefahren. Erstrecken sich die Positionen eines Auf-

trags über mehrere Regalgassen, werden erst alle Positionen derselben Gasse abgearbeitet. Nachdem eine Position erledigt ist, wird auf die Pickliste die Anzahl der Kartons eingetragen und die Position abgehakt. Für jeden Auftrag wird die Gesamtzahl an Kartons vermerkt und das Gewicht notiert. Außerdem unterschreibt der Kommissionierer auf der Liste. Wenn alle Positionen gesammelt sind, werden die Paletten zur Verpackstation gebracht, dort gewogen und mit Folie umwickelt. Für jeden Auftrag wird die Pickliste gescannt und am PC ein Protokoll ausgefüllt.

### **6.4.1 Probleme beim Einsatz von Pick-by-Vision**

Aufgrund der Selbstoptimierung der Kommissionierer gibt es Probleme bei der Auftragerstellung. Im WMS von Pick-by-Vision müsste das Lager abgebildet und die Aufträge nach den Wünschen des Kommissionierers angepasst werden. Da dies zu aufwendig ist, wurde entschieden den Auftrag als GUI-Folien-Ablauf abzubilden. Der Kommissionierer bekommt wie bisher die Liste, optimiert diese und die Daten werden anschließend in die GUI übertragen. Die Zeit dafür ist vorhanden, denn es handelt sich nicht um zeitkritische Aufträge. Ein noch größeres Problem war die Umschlaghäufigkeit in diesem Lagerbereich. Er wurde ausgewählt, weil er weder zeitkritisch noch umschlagsstark ist. Während des Beobachtungszeitraums fanden kaum Auslageraufträge statt. Aufgrund der schlecht zu vorherzusagenden und kurzzeitig eintreffenden Aufträge konnte die Beobachtung auch nicht zielgerichtet erfolgen. Deswegen wurde der Prozess nur einmal mit der Datenbrille durchgeführt. Den Kommissionierern in diesem Bereich wurde die Datenbrille gezeigt und erklärt.

### **6.4.2 Anmerkungen der Kommissionierer**

Da die Kommissionierer gewöhnt sind, die optimale Reihenfolge der Positionen selbst zu suchen und diese nicht von einem WMS vorgegeben bekommen, ist ihnen ein Überblick über den gesamten Auftrag besonders wichtig. Daraus resultiert auch der Wunsch nach einem größeren Display und der Möglichkeit durch die Liste zu scrollen. Ein Kommissionierer wünscht sich anstatt der Brille ein Display am Stapler. Befinden sich mehrere Positionen hintereinander in Ebene 1 (Boden) nahe beieinander, werden die Kartons meist zu Fuß zur Palette am Stapler geholt. Mit einem Display am Stapler kann im Gegensatz zu einer Papierliste oder Pick-by-Vision die Artikelnummer „vor Ort“ nicht mehr verglichen werden. Die Datenbrille schränkt die Sicht

stark ein, wenn eine Palette aus einem höher gelegenen Regalfach genommen werden muss. Ab Ebene 3 beginnt die Sichteinschränkung zu stören. Bei Ebene 4 und 5 verschieben die Kommissionierer die Kappe mit dem HMD, um freie Sicht auf das Regal zu haben. Die Möglichkeit, direkt auf der Papierliste Notizen zum Auftrag zu machen, würde ein Proband bei Pick-by-Vision vermissen.

Es wurden aber auch Fehler beobachtet, die während dem regulären Kommissionierbetrieb (mit Papierliste) erfolgten. Ein vergessener Karton wurde erst nach dem Erkennen an der Verpackstation nachgeholt. Ein falsch angefahrener Lagerplatz wurde beim Vergleichen der Artikelnummer sofort erkannt, die Palette wieder eingelagert und der richtige Lagerplatz angefahren.

## 6.5 Zusammenfassung Versuchsreihen zum FM1

Das FM1 hat sich von der Vorversuchsreihe zur praxisnahen Versuchsreihe deutlich weiterentwickelt. Während es am Anfang noch schlechter als eine Papierliste abschnitt, war es in den beiden Versuchsreihen besser ab, d. h. dass es schneller und weniger fehleranfällig war. Die Ergebnisse sind sehr gut, wenn beachtet wird, dass ein sich in der Entwicklung befindliches System verwendet wurde, das vor allem ergonomisch noch verbessert werden kann (siehe Tabelle 6-12). Die Kommissionierleistung war in der Vorversuchsreihe und auch in der MTM-Analyse so hoch, weil die Positionen nur einen oder zwei Artikel enthielten und nur kleine Kartons kommissioniert wurden. In der praxisnahen Versuchsreihe waren die Wege viel länger. Dies spiegelt sich in der niedrigeren Kommissionierleistung wider. Wie sich die Vorerfahrungen der Probanden im Bereich Kommissionierung und 3D auswirken, lässt sich nicht eindeutig beantworten. Meist gab es keine gravierenden Unterschiede und wenn, dann wirkten sich die Erfahrungen positiv aus. Vor allem bei Pick-by-Vision lässt sich über alle Versuchsreihen eine steile Lernkurve erkennen. Nach kurzer Übungszeit konnten die meisten Probanden bereits sehr gut mit dem System umgehen. Bei den subjektiven Beanspruchungskriterien ist zu erkennen, dass Pick-by-Vision bei den Probanden zu keiner höheren kognitiven Belastung führt, dass das System gut ankommt und die Benutzer motiviert. Ein rein sprachgeführtes System wird wesentlich schlechter beurteilt. Die Papierliste ist etwa auf gleichem Niveau wie Pick-by-Vision. Dies spricht für eine Technologie, die sich erst in der Entwicklung befindet. Es ist aber auch zu erwähnen, dass die meisten Probanden aus dem universi-

tären Umfeld kamen und neuen Technologien positiv gegenüber stehen. Grundsätzlich zeigen die Versuchsreihen, dass Pick-by-Vision eine zukunftssträchtige Technologie ist.

	Papierliste	Pick-by-Vision	Pick-by-Voice
<b>Kommissionierleistung [Pos/h]</b>			
Vorversuchsreihe	244	191	180
Labortest	142	144	126
Praxisnahe Versuchsreihe	106	110	-
MTM (ohne WH Ein- und Ausgaben)	257	275	224
MTM (mit WH Ein- und Ausgaben)	257	262	186
<b>Kommissionierfehlerquote [ %]</b>			
Vorversuchsreihe	0,56	2,01	6,79
Labortest	2,06	0,82	4,94
Praxisnahe Versuchsreihe	0,84	0,12	-
<b>Kommissioniererfahrung</b>			
Vorversuchsreihe	Probanden mit Erfahrung vermutlich besser		
Labortest	keine Auswirkung		
Praxisnahe Versuchsreihe	Probanden mit Erfahrung vermutlich besser		-
<b>3D-Erfahrung</b>			
Vorversuchsreihe	Probanden mit Erfahrung vermutlich besser		-
Labortest	Keine Auswirkung		
Praxisnahe Versuchsreihe	Keine Auswirkung		
<b>Lerneffekte</b>			
Vorversuchsreihe	konstantes Niveau	steile Lernkurve	steile Lernkurve
Labortest	die meisten Fehler am Anfang	keine Auswirkung	
Praxisnahe Versuchsreihe	konstantes Niveau	steile Lernkurve	-
<b>Subjektive Beanspruchungskriterien</b>			
Vorversuchsreihe	sehr geringe kognitive Belastung bei Pick-by-Vision, sonst gleich gut wie Liste, PbV wird deutlich schlechter bewertet		
Labortest	Pick-by-Vision und die Liste werden in etwa gleich gut eingeschätzt, aber deutlicher Abstand zu PbV		
Praxisnahe Versuchsreihe	deutlich höhere Motivation bei Pick-by-Vision, sonst gleiches Niveau		-

**Tabelle 6-12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuchsreihen zum FM1**

## 7 Entwicklung eines Systems mit Tracking (FM2)

In diesem Kapitel wird das Pick-by-Vision-System um ein Trackingsystem erweitert. Zunächst erfolgt eine Auswahl der geeigneten Technologie für die drei Szenarien. Anschließend werden nicht nur mögliche Visualisierungen vorgestellt und bewertet, sondern auch die Einschränkungen durch die ausgewählte Hardware aufgezeigt. Am Ende wird das FM2, das unabhängig vom FM1 zusammen mit dem FAR entwickelt wurde, vorgestellt.

### 7.1 Trackingsystem

Ein Trackingsystem ist ein Positionserfassungssystem. Tracking ist somit der Prozess, die Position und die Orientierung<sup>21</sup> des Benutzers zu jeder Zeit zu messen [Bar-04]. Es kann seine Position als auch seine Blickrichtung bestimmt werden. Die Bestimmung der Position kann für verschiedene Gegenstände erfolgen. In Bezug auf ein ortsfestes Koordinatensystem kann die relative Position des Anwenders, des Objektes oder sowohl des Anwenders als auch des Objektes bestimmt werden.

#### 7.1.1 Anforderungen an ein Trackingsystem

Die unterschiedlichen Trackingverfahren lassen sich durch verschiedene Kriterien klassifizieren. Die wichtigsten sind:

- Latenz: Unter Latenzzeit wird die gesamte Zeit zur Informationsverarbeitung verstanden, die mit den Messungen des Trackingsystems beginnt, die gesamte Informationsverarbeitung und Bildentstehung beinhaltet und damit endet, dass das Bild dem Benutzer angezeigt wird. Eine geringe Latenz der Trackingdaten ist für eine Überlagerung der Realität mit virtuellen Objekten von großer Bedeutung.
- Genauigkeit: Darunter wird die Abweichung der vorgegebenen Position des virtuellen Objekts in Bezug auf die aktuell durch das System dargestellte Position des virtuellen Objekts verstanden. Dabei wird die Genauigkeit über die

---

<sup>21</sup> Die Position und die Orientierung werden in der Pose mit maximal sechs Freiheitsgraden zusammengefasst.

drei translatorischen Freiheitsgraden gemessen. In Abhängigkeit von der Art der Anwendung sind unterschiedlich genaue Auflösungen der Trackingdaten notwendig. Trackingsysteme sind von der gewünschten Visualisierungsart abhängig. Eine kongruente Überlagerung stellt hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Messergebnisse während für die nicht kongruente Überlagerung eine grobe Bestimmung der Position oft ausreichend ist. Winkelfehler sind beim Einsatz von HMDs besonders kritisch. Ist die Genauigkeit bei der Darstellung am HMD bei 10 mm (Abstand Auge zu HMD 50 mm) ist der Fehler bei einer Entfernung in Armlänge (500 mm) schon bei 100 mm.

- **Freiheitsgrade:** Als DoF (Degrees of Freedom) wird der Umfang der durch das Tracking ermittelten Daten bezeichnet. Dabei entspricht jeder erfasste Parameter einem Freiheitsgrad. Ein Trackingverfahren, das Position und Orientierung im dreidimensionalen Raum liefert hat sechs Freiheitsgrade (6-DoF). Für die nicht kongruente Visualisierungsart können beispielsweise auch 2-DoF-Systeme eingesetzt werden.
- **Robustheit:** Robustheit ist die Fähigkeit des Trackingsystems, unter sich ändernden Umgebungseinflüssen oder bei kurzzeitig fehlenden Messergebnissen bzw. falschen Messungen weiterhin zu funktionieren. Bei unzuverlässigem Tracking, d. h. bei stark variierenden Messungen, können z. B. Positionssprünge auftreten, während Ausfälle des Trackings – ähnlich wie bei hoher Latenz – Verzögerungen bei der Überlagerung bewirken.
- **Trackingbereich / Messraum:** Das Volumen oder die Fläche, in dem das System die relativen Positionen der Trackinggegenstände bestimmen kann, wird als Trackingbereich bezeichnet.

### 7.1.2 Trackingverfahren

Es gibt in der Literatur diverse Ansätze, die verschiedenen Trackingverfahren zu klassifizieren. Die hierfür eingesetzten Trackingsysteme können beispielsweise nach physikalischen Grundprinzipien in akustisches, elektromagnetisches, funkbasiertes, inertiales, mechanisches oder optisches Tracking eingeteilt werden.

Es lässt sich äußeres (outside-in) und inneres Tracking (inside-out) unterscheiden. Bei inside-out ist der Sensor am Anwender und die Referenzen an (ortsfesten) Ob-

jekt angebracht. Bei outside-in erfassen ortsfeste Sensoren kontinuierlich die innerhalb des Wirkungsbereiches befindlichen Referenzen.

### ***Akustisches Tracking***

Typischerweise sind bei akustischem Tracking Ultraschall-Transponder an den Objekten angebracht. Diese senden Töne im Ultraschallbereich, d. h. ein für das menschliche Gehör nicht mehr wahrnehmbares Frequenzsignal oberhalb von zwanzig Kilohertz aus, die von Sensoren (Mikrofonen) empfangen werden. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit des akustischen Signals bekannt ist, kann der Sensor bei der Detektion des Signals die jeweilige Entfernung zum Sender bestimmen. Auf Basis der unterschiedlichen Laufzeiten der Schallwellen zu verschiedenen Empfängern kann die Position im Raum berechnet werden (Laufzeitmessung über Triangulation). Es werden daher zur Bestimmung von sechs Freiheitsgraden drei Sende- sowie Empfangseinheiten benötigt. Der Benutzer trägt einen Sender, welcher über Funk einen Ultraschallimpuls über Empfänger, z. B. an der Decke, zum Server abgibt.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 DoF</li> <li>• hohe Genauigkeit (ca. 10 cm)</li> <li>• kleine und leichte Sende- und Empfangseinheiten</li> <li>• kostengünstig</li> <li>• keine Sichtverbindung nötig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• störanfällig gegenüber Umgebungslärm (Schallreflexionen und Nebengeräusche) und -bedingungen (Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit)</li> <li>• hohe Genauigkeit nur bei sehr vielen Sendern und Empfängern</li> <li>• präparierte Umgebung nötig</li> <li>• hoher technischer Installationsaufwand aufgrund der Trackinginfrastruktur</li> <li>• schlechte Erweiterungsmöglichkeiten</li> <li>• kleiner Messraum</li> </ul>

**Tabelle 7-1: Vor- und Nachteile von akustischem Tracking**

### ***Elektromagnetisches Tracking***

Das elektromagnetische Tracking ist eine Sonderausprägung des magnetischen Trackings, ist jedoch wesentlich weiter verbreitet als rein magnetische Formen der Positionsbestimmung wie das Magnetometer oder der Neigungsmesser, welche sich das Gravitationsfeld der Erde zu Nutze machen. Aufgrund der Anfälligkeit jener beiden rein magnetischen Messprinzipien hinsichtlich erheblicher Probleme mit der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) oder der Tatsache der Inhomogenität des Erdmagnetfeldes wird lediglich auf die Variante der elektromagnetischen Positionsbestimmung eingegangen.

Ein elektromagnetisches Feld wird von einer Kombination dreier zueinander senkrecht stehender Spulen erzeugt. Der am Objekt befestigte Sensor misst die Stärke des elektromagnetischen Feldes und bestimmt daraus die Position des Objektes relativ zur Quelle. Grundsätzlich bestehen elektromagnetische Tracker aus einem statischen Teil (Sender) sowie beweglichen Receivern beziehungsweise Sensoren. Der fest im Raum installierte Sender besteht aus drei orthogonal angeordneten elektromagnetischen Spulen, welche alternierend mit Strom versetzt werden und damit nach dem Induktionsgesetz ein Magnetfeld erzeugen sowie bestimmte Frequenzfelder aussenden. Auch die Sensoren bestehen aus drei senkrecht zueinander stehenden Spulen. Durch das sich nun ständig ändernde Magnetfeld wird in den Spulen ein Stromfluss induziert. Da das Magnetfeld mit steigender Entfernung zum Sender schwächer wird, erzeugt die Signalstärke am Sensor Klarheit über die Entfernung zum Bezugspunkt. Des Weiteren gibt der induzierte Strom in der Spule aufgrund seiner Abhängigkeit von der Ausrichtung des Magnetfeldes Aufschluss über die Orientierung zum Magnetfeld. Über einen komplexen Algorithmus können nun die Messwerte der elektromagnetischen Spulen in eine Position und Orientierung des zu trackenden Objektes umgerechnet werden.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 DoF</li> <li>• sehr schnell</li> <li>• keine synthetischen Signalgeber erforderlich</li> <li>• kein Referenzobjekt erforderlich</li> <li>• großer Messraum</li> <li>• hohe Objektanzahl</li> <li>• keine Sichtverbindung notwendig</li> <li>• große Reichweite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erzeugtes Magnetfeld kann andere Geräte stören</li> <li>• sehr störanfällig gegenüber Metallen, Stromquellen und -leitungen (Genauigkeit sinkt)</li> <li>• bei großer Entfernung vom Sender sinkt die Genauigkeit</li> <li>• bei vielen zu trackenden Objekten sinkt die Geschwindigkeit</li> <li>• oft Verkabelung notwendig</li> <li>• geringe Skalierbarkeit</li> <li>• hohe Latenz</li> </ul>

**Tabelle 7-2: Vor- und Nachteile von elektromagnetischem Tracking**

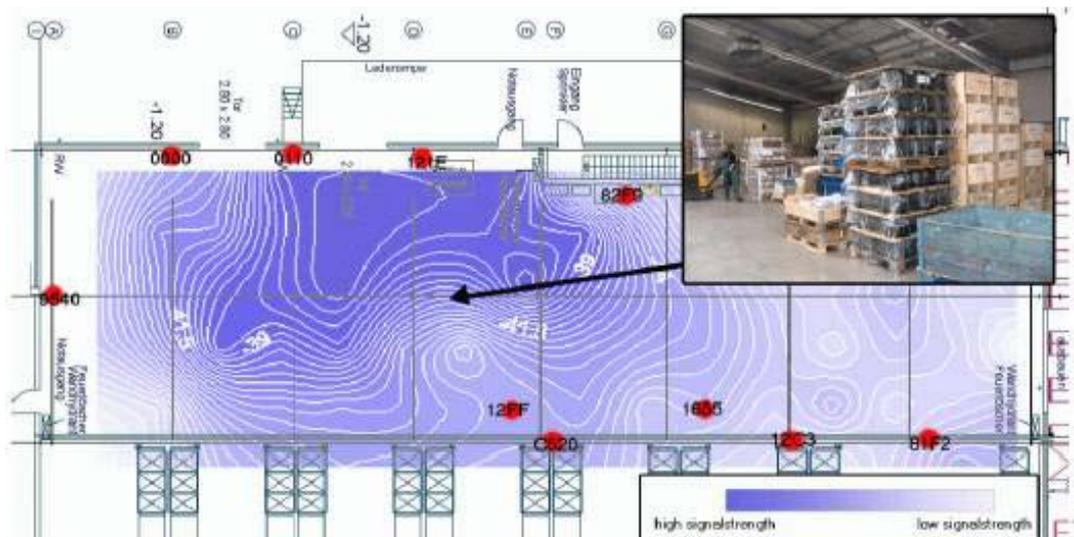
### ***Funksysteme***

Die Positionsbestimmung von Objekten über Funksysteme kann grundsätzlich in zwei verschiedene Verfahren untergliedert werden: der Laufzeitmessung und der auf Signalstärke basierenden Messung. Bei auf der Signalstärke basierenden Messverfahren werden mit bestimmten Algorithmen der Triangulation Aussagen über die Position von Objekten getroffen. Die Laufzeitmessung hingegen ist ein Verfahren zur indirekten Entfernungsbestimmung durch Messung der Zeit, die ein Signal für das Durchlaufen einer Messstrecke benötigt. Aufgrund der mit nahezu Lichtgeschwindigkeit

keit stattfindenden Ausbreitung der Welle müssen hier Zeitintervalle mit enorm hoher Auflösung bestimmt werden, was wiederum immense Anforderungen an die Hardware stellt. Die Position wird entweder mittels Winkel- (Triangulation) oder Abstandsmessung (Trilateration) berechnet.

Das bekannteste Funksystem ist das satellitengestützte GPS (Global Positioning System), das v. a. für die Navigation von Fahrzeugen aller Art verwendet wird. Da für GPS eine freie Sichtverbindung zwischen den Satelliten und dem zu trackenden Objekt nötig ist, eignet es sich nicht für den Einsatz in Lagerhallen.

Bei zellbasierten Verfahren wie z. B. GSM<sup>22</sup> ist lediglich bekannt, in welcher Funkzelle sich ein zu ortendes Objekt befindet, d. h. in Reichweite welcher Basisstation sich ein Transceiver befindet. Die Genauigkeit von zellbasierte Verfahren ist zu gering für das Tracking eines Mitarbeiters in einem Lagerbereich.



**Abbildung 7-1: inhomogenes WLAN-Feld innerhalb einer Lagerhalle [Iba-05]**

Funksysteme sind in industriellen Umgebungen bereits erfolgreich im Einsatz, z. B. zur Kommunikation zwischen MDT oder PbV-Systemen mit dem WMS. Diese Technologien bieten auch ein Potenzial für das Tracking in Kommissionierumgebungen. Allerdings lässt sich damit nur die Position des Mitarbeiters, nicht aber seine Blickrichtung bestimmen.

WLAN ermöglicht die drahtlose Übertragung von Daten in einem Computernetzwerk. Der WLAN Standard 802.11 zeichnet sich durch eine relativ hohe Reichweite aus und bietet hohe Datenübertragungsraten (aktuell bis 54 Mbit/s). Ein Beispiel für eine

<sup>22</sup> GSM: Global System for Mobile Communications

Anwendung im Lagerbereich ist MagicMap, die die Positionsbestimmung per WLAN in Lagern ermöglicht [Iba-05]. Ein Problem für die Anwendung ist, dass durch die Lagereinrichtung die Signalausbreitung nicht homogen ist (siehe Abbildung 7-1). Gebäudeelemente wie Stahlträger können elektromagnetische Wellen leiten und so das Feld auf eine unerwartete Weise deformieren. Deshalb kann sich die Position der höchsten Signalstärke von der wirklichen Position unterscheiden. Eine große Anhäufung von Materialien, wie z. B. Eisen zwischen Access Point und Empfänger, verursacht eine starke Abschwächung des Signals. Für die genaue Positionsbestimmung muss das System alle Faktoren, die die Signalausbreitung beeinflussen können, kennen. WLAN-Systeme geben nur zwei DoF wieder und erreichen im Labor eine Genauigkeit von 1,5 bis 2 m.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standardisiertes System</li> <li>• handelsüblich</li> <li>• geringe Kosten</li> <li>• kein Sichtkontakt nötig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kein homogenes Feld: Stahlträger können elektromagnetische Wellen leiten und so das Feld auf eine unerwartete Weise verändern. Eisen zwischen Access Point und Empfänger verursacht eine starke Abschwächung des Signals.</li> <li>• Feld wird durch Geräte mit WLAN beeinflusst, die sich im Feld befinden</li> <li>• nur 2 DoF für die Position</li> <li>• Genauigkeit unter Laborbedingungen von 1,5–2 m</li> </ul>

**Tabelle 7-3: Vor- und Nachteile von WLAN-Tracking**

Radio Frequency Identification (RFID) bezeichnet die kontaktlose Identifikation durch Funkübertragung. RFID benötigt keinen Sichtkontakt zwischen Referenz und Sensor. RFID-Systeme bestehen aus einer Lesestation und Transpondern (auch Tags genannt). Transponder können aktiv (eigene Stromversorgung) oder passiv (drahtlose Energieversorgung über eine Lesestation) sein. Die Signalstärke kann durch Hindernisse, v. a. aus Metall oder bei Flüssigkeiten, sowie durch die Entfernung beeinflusst werden und gegenüber typischem AR-Equipment hat RFID eine ziemlich geringe Genauigkeit und Updaterate [Wag-05]. In der Logistik wird RFID immer häufiger eingesetzt. Die Tags sind innerhalb oder auf der Oberfläche von Produkten, Verpackungen, Paletten etc. angebracht. Wird RFID durchgängig und umfassend eingesetzt, kann ein RFID-Netz zum Tracking verwendet werden. Die Steuerung von Flurförderzeugen erfolgt in vielen Fällen bereits über RFID-Tags, die im Boden eingelassen sind.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• kein Sichtkontakt nötig</li> <li>• kostengünstige Hardware</li> <li>• keine Verkabelung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beeinflussung durch Hindernisse (Metall, Flüssigkeiten)</li> <li>• Signal abhängig von der Entfernung</li> <li>• geringe Reichweite, eignen sich nur für die Feinbestimmung der Position</li> <li>• nur 3 DoF (Position)</li> <li>• geringe Genauigkeit im Vergleich zu anderen AR-Tracking-Verfahren</li> <li>• geringe Update-Rate</li> </ul>

Tabelle 7-4: Vor- und Nachteile von RFID-Tracking

### ***Inertiales Tracking***

Die inertialen Trackingsysteme arbeiten auf dem Grundprinzip der Trägheit von Massen und detektieren translatorische und rotatorische Impulse von Objekten (Keiselsysteme) relativ zu einem inertialen Referenzsystem, der Erde. Durch die einfache (Geschwindigkeit) bzw. zweifache (Beschleunigung) Integration des Messergebnisses erhält man die Position des Objektes im Raum. Zur Erfassung von sechs Freiheitsgraden werden typischerweise zwei verschiedene Arten inertialer Sensoren benötigt. Sie bestehen zum einen aus drei orthogonal zueinander ausgerichteten Beschleunigungssensoren (Accelerometer, zumeist auf Basis Piezoelektrischer Kristalle), welche durch zweifache Integration auf die Position eines Objektes im Raum schließen lassen. Die relative Änderung der Orientierung von Objekten wiederum ergibt sich aus der einfachen Integration der Messergebnisse dreier senkrecht zueinander angeordneter Geschwindigkeitsmesser (z. B. Mechanisches Gyroskop), wobei durch die Bewahrung des Winkelmoments drehender Körper auf deren Winkelgeschwindigkeit geschlossen werden kann. Da beide Sensorarten lediglich Relativwerte als Ergebnisse liefern, ist eine Initialisierung notwendig.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 DoF (bei 2 Sensoren)</li> <li>• hohe Genauigkeit</li> <li>• kleine und relativ leichte Empfänger</li> <li>• kostengünstig</li> <li>• robust</li> <li>• geringe Latenzzeit</li> <li>• große Verbreitung in AR-Umgebungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drift (Verschiebung der Achsen mit der Zeit) =&gt; Ungenauigkeiten =&gt; erneute Kalibrierung</li> <li>• Initialisierung notwendig</li> <li>• oft Verkabelung notwendig</li> <li>• kleiner Messraum</li> <li>• geringe Skalierbarkeit</li> </ul>

Tabelle 7-5: Vor- und Nachteile von inertialem Tracking

### ***Mechanisches Tracking***

Der für die Positionsbestimmung vorgesehene Gegenstand ist mit einem mechanischen System fest verbunden. Dieses System besteht aus einer Kombination ver-

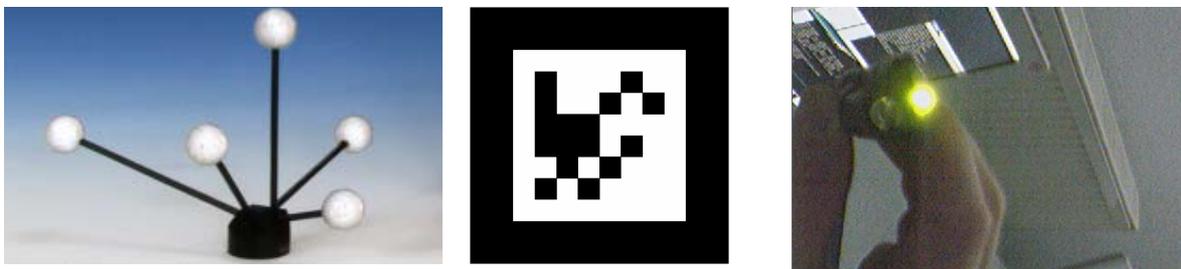
schiedener Gelenke und Ausleger und ähnelt einem Roboterarm. An jedem Gelenk sind Sensoren angebracht, die Bewegungen des jeweiligen Auslegers messen. Die physische Verbindung mit dem fixen Referenzobjekt beschränkt allerdings die Reichweite drastisch und eignet sich daher nur für bestimmte Arten von Systemen. Unter mechanischem Tracking kann auch pedometrisches Tracking verstanden werden, z. B. das Zählen der Schritte oder von Umdrehungen von Rädern.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• bis zu 6 DoF möglich</li> <li>• robust gegenüber Umgebungseinflüssen</li> <li>• hohe Genauigkeit</li> <li>• hohe Robustheit</li> <li>• geringe Latenzzeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akzeptanz bei den Benutzern (v. a. im industriellen Bereich)</li> <li>• geringer Messraum</li> <li>• hohe Kosten</li> <li>• nur ein Objekt kann getrackt werden</li> </ul>

**Tabelle 7-6: Vor- und Nachteile von mechanischem Tracking**

### **Optisches Tracking**

Bei optischen Trackingverfahren wird der Wirkungsbereich von den Aufnahmezonen einer oder mehrerer Kameras abgedeckt. Dabei können Infrarot- (IR) oder Videokameras verwendet werden, die sich anhand von Referenzgeometrien (bestimmte Markierungen oder reale Geometrien) orientieren. Bei inside-out ist die Kamera am Anwender, die Marker an Objekten angebracht. Bei outside-in nehmen ortsfeste Kameras kontinuierlich Aufnahmen von innerhalb des Wirkungsbereiches befindlichen Referenzgeometrien auf. In beiden Fällen sind die Dimensionen und Orientierungen dieser so genannten Targets bekannt. Die aus verschiedenen Perspektiven aufgenommenen Bilder der Targets bilden die Basis für die räumliche Positionsbestimmung durch Triangulation. Targets können passiv oder aktiv sein (siehe Abbildung 7-2). Aktive Targets senden selber Signale aus (z. B. IR-LEDs<sup>23</sup> für IR-Trackingkameras) während passive Targets nur anhand ihres Aussehens von den Kameras erkannt werden.



**Abbildung 7-2: passive Targets für Infrarotsysteme (links) und Videosysteme (Mitte) oder aktives Target mit LED (rechts)**

<sup>23</sup> LED (Light Emitting Diode): Leuchtdiode

Optische Trackingsysteme können generell in zwei Kategorien unterteilt werden. Zum einen erfolgt das Tracking über IR-Kameras und zum anderen über Videokameras. IR-Kameras strahlen IR-Licht aus, das von den Targets reflektiert wird bzw. senden aktive Targets selbst IR-Licht aus. Die reflektierte IR-Strahlung wird erfasst und daraus die Pose der Targets im Raum berechnet. Beim Videosystem wird mit einer „normalen“ Kamera ein Bild der Umgebung aufgenommen und die Bildverarbeitungssoftware dahinter wertet dieses aus. Diese Software orientiert sich ebenfalls an Targets, meist auf Papier ausgedruckte 2D-Markierungen mit schnell zu verarbeitenden Mustern in Graustufen, denen die virtuellen Objekte zugeordnet sind. Es gibt auch Ansätze, dass sich die Software anhand bestimmter Geometrien, z. B. Kanten, in der Umwelt orientieren kann (markerloses Tracking). Obwohl beide Systeme auf einem optischen Prinzip basieren, haben sie sehr unterschiedliche Eigenschaften. Das IR-Tracking ist sehr genau und auch robust. Allerdings sind die Kameras und Targets mit ihrer speziellen Beschichtung sehr teuer. Videosysteme sind preiswerter, weil die Kameras (im einfachsten Fall Webcams) kostengünstiger und die Marker leichter herstellbar sind. Dafür ist das Tracking weniger robust und stark abhängig von den Lichtverhältnissen und dem Winkel zwischen der Kamera und den 2D-Markierungen. Beispiele für ein IR inside-out System ist das HiBall Tracking der University of North Carolina [Wel-01], das aber nur ein Forschungsprototyp ist. Kommerzielle IR outside-in Systeme sind das ARTtrack/DTrack der Firma A.R.T [ART-08] oder die ARLiveCam der Firma metaio [met-08].

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 DoF</li> <li>• kein Drift</li> <li>• hohe Genauigkeit (v. a. IR)</li> <li>• hohe Reichweite</li> <li>• hohe Abtast- / Wiederholrate</li> <li>• hohe Bewegungsfreiheit</li> <li>• kleine leichte Targets</li> <li>• Erfassung mehrerer Targets gleichzeitig</li> <li>• Vorteile Infrarot: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ sehr robust</li> <li>○ klare Abgrenzung der Signale</li> <li>○ sehr genau (mm-Bereich)</li> </ul> </li> <li>• Vorteile Video: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ einfache und billige Hardware</li> <li>○ hohe Beweglichkeit des Anwenders</li> </ul> </li> <li>• Vorteile markerloses Video: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ kommt ohne Marker aus</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probleme, schnellen Bewegungen zu folgen</li> <li>• Sichtverbindung nötig</li> <li>• Abhängig von Umgebungsbedingungen (Sonneneinstrahlung, Helligkeit)</li> <li>• bei aktiven Markern ist eine Verkabelung nötig</li> <li>• relativ aufwendige Inbetriebnahme</li> <li>• optisches Rauschen</li> <li>• Mehrdeutigkeit bei der Abtastung</li> <li>• Nachteile Infrarot <ul style="list-style-type: none"> <li>○ teure Hardware</li> <li>○ große, empfindliche Marker</li> </ul> </li> <li>• Nachteile Video <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Robustheit</li> <li>○ langsam</li> <li>○ hängt vom Winkel zu 2D-Target ab</li> </ul> </li> </ul>

**Tabelle 7-7: Vor- und Nachteile von optischem Tracking**

### 7.1.2.1 Entscheidungskriterien

Zunächst ist festzustellen, dass es die optimale Trackingtechnologie nicht gibt, weil jede der vorgestellten Technologien neben ihren Vorteilen auch Nachteile besitzt und die Technologie auf die jeweilige Anwendung, wie in diesem Fall die drei Konzepte, angepasst werden muss. Wichtige Entscheidungskriterien für den mobilen Einsatz sind:

- Anzahl Objekte: v. a. in K1 kann es sein, dass mehrere Kommissionierer in einem Bereich arbeiten, so dass das Trackingsystem auch mehrere Personen unabhängig voneinander erfassen muss.
- Ergonomie: für mobile Systeme, wie die AR-Kommissionierung, spielt die Ergonomie eine entscheidende Rolle. Darunter fallen Faktoren wie der Tragekomfort, das Gewicht und die Größe der vom Benutzer zu tragenden Hardware oder die Verkabelung. Diese Faktoren wirken sich alle auf die Beweglichkeit bzw. Mobilität des Benutzers aus.
- Freiheitsgrade: Beim FM2 wird mit kongruenter Überlagerung gearbeitet, so dass sechs DoF nötig sind.
- Genauigkeit: Für die Kommissionierung liegen die Anforderungen im cm-Bereich (ca. 2 cm Genauigkeit auf einen Meter Entfernung)
- Kosten: v. a. für die Hardwarekomponenten.
- Echtzeitfähigkeit: Damit ein System echtzeitfähig ist, muss die Latenzzeit gering und die Bildwiederholfrequenz hoch sein. Die Latenzzeit muss unter der für den Menschen wahrnehmbaren Zeit sein, d. h. vor allem für OST-Systeme dass das virtuelle Bild dem realen nicht hinterherhinkt (<70 ms). Dazu ist auch eine hohe Bildwiederholfrequenz nötig, die bei ca. 60 Hz liegen soll.
- Der Messraum ist das Kriterium, das bei den drei Konzepten variiert. Bei K1 ist er sehr groß und umfasst das ganze Lager, während er bei K2 nur eine Regalgasse von ca. 20 m Länge und bei K3 nur einen stationären Kommissionierarbeitsplatz vom ca. 10m<sup>2</sup> erfassen muss.
- Robustheit: Im industriellen Umfeld bedeutet dies, dass das Tracking unempfindlich gegen Schmutz, Metall oder Lichtverhältnissen ist und dass es schnelle Bewegungen erfasst.
- Zuverlässigkeit: Darunter wird die Ausfallsicherheit verstanden, d. h. dass das System während der Betriebszeit störungsfrei läuft. Im Gegensatz zur Ro-

bustheit, die sich auf die Erfassung der bewegten Objekte bezieht, wird unter der Zuverlässigkeit ein möglichst geringer Zeitanteil von Ausfällen von Hardwarekomponenten verstanden.

### 7.1.2.2 Ergebnisse

Die Bewertung erfolgt mit einer Nutzwertanalyse (siehe Anhang A). Die Ergebnisse der Bewertung spiegeln die Aussagen über den Einsatz von Trackingsystemen im industriellen Bereich und somit auch in der Kommissionierung in der Literatur wider ([Alt-03], [Pat-04]). Die meisten Tracker funktionieren in der Laborumgebung, sind aber für den mobilen Einsatz kaum geeignet. Akustisches Tracking ist sehr störanfällig gegenüber Umgebungsbedingungen wie z. B. Lärm und Schallreflexionen oder auch Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Deshalb ist es für ein Lager ebenso schlecht geeignet wie (elektro-)magnetisches Tracking. In einem Lager bestehen die Regale, Flurförderzeuge, Fördertechnik und ggf. die Ladehilfsmittel aus Metall, so dass diese Trackingtechnologie für diesen Einsatzfall ausgeschlossen werden kann. Mechanisches Tracking ist zwar sehr robust, zuverlässig und genau, aber für eine Anwendung ungeeignet, wenn Menschen an mechanische Einrichtungen gekoppelt werden. Dies würde nicht akzeptiert, ist ergonomisch ungünstig, unflexibel und wohl auch aus arbeitsrechtlichen Gründen unmöglich. Die funkbasierten Technologien eignen sich nur zur Erfassung der Position. (D)GPS ist innerhalb von Gebäuden nicht nutzbar. WLAN ist in vielen Lagerumgebungen bereits vorhanden, aber das Netz wird von Metallen, wie z. B. den Regalen, oder WLAN-Sendern, z. B. Notebooks, die zufällig durch die Umgebung getragen werden, sehr stark beeinflusst. RFID-Tracking ist noch in der Entwicklung und es gilt Probleme zu lösen, wie die Reichweite der Lesegeräte oder der Einfluss von Metall. Inertiale Systeme werden selten als alleiniges Trackingsystem eingesetzt, weil sie zuerst initialisiert werden müssen. Sie ergänzen andere Systeme, weil sie sich sehr schnell aktualisieren. Der Einsatz von optischen Systemen verspricht das größte Potenzial in der Kommissionierung. Optische outside-in Systeme mit IR-Kameras sind bereits heute in Laborumgebungen weit verbreitet, weil sie mit ihrer Genauigkeit überzeugen. Da es sich um ein outside-in-System handelt, muss der Benutzer nur die Referenzgeometrien am Körper tragen. Obwohl diese Systeme kommerziell zu erwerben sind, sind sie noch teuer und deswegen bei einem weitflächigen Einsatz in großen Lagerumgebungen aus Kostengründen nicht

geeignet. Für die Robustheit gilt es zwei Probleme zu lösen. Zum einem muss dafür gesorgt werden, dass in der Lagerumgebung die Lichtverhältnisse konstant hell gehalten werden und für den Ausgleich schneller Kopfbewegungen kann es ratsam sein, einen Inertialsensor zu integrieren. Diese Probleme treten auch bei optischen inside-out Systemen auf. Der Benutzer trägt in diesem Fall eine kleine Videokamera und die Umgebung muss vom System z. B. über Referenzgeometrien erfasst werden. Diese Systeme sind wesentlich kostengünstiger, arbeiten aber weniger stabil als IR-Systeme. K1 wird in der kleinen Lagerumgebung des Lehrstuhls fml aufgebaut, so dass hier ein outside-in IR-Trackingsystem eingesetzt werden kann. Für die kleinen Arbeitsbereiche in den Konzepten K2 und K3 kann es ebenfalls verwendet werden. Für große Lagerumgebungen scheint ein inside-out-System besser geeignet zu sein.

### 7.1.2.3 Hybrides Tracking

Unter hybridem Tracking wird die Kombination von verschiedenen Trackingtechnologien (Sensorfusion) verstanden [Wag-05]. Die einzelnen Trackingtechnologien haben alle ihre Vor- und Nachteile. Für nahezu jeden Anwendungsfall muss ein Kompromiss aus den Eigenschaften eingegangen werden (meist: Kosten und Leistung). Das heißt aber noch lange nicht, dass dann für diesen Anwendungsfall ein optimales Trackingsystem vorhanden ist. Um die mit verschiedenen Trackingtechniken gemessenen Daten zu bewerten (welcher Wert ist nun der relevante?) werden bestimmte Algorithmen und Verfahren wie z. B. ein Kalman-Filter eingesetzt.

Für mobile AR-Anwendungen wird meist die Kombination aus optischen und inertialen Trackingsystemen verwendet ([Rib-02], [Jia-04]). Bei diesen Systemen mit optischem Tracking mittels Kamera und einer Visualisierung über HMD wird häufig ein Inertialtracker für die Erfassung der schnellen Kopfbewegungen eingesetzt. Bei einer derartigen Systemkonfiguration heben sich die Schwächen der Trackingsysteme gegenseitig auf. Wenn ein Marker sichtbar ist, wird die Pose direkt vom Kamerabild genommen. Wenn sich die Person bewegt, gibt es Marker die nicht mehr sichtbar sind bzw. erkannt werden. Die Pose wird dann vom Inertialtracker bestimmt.

Für einen Laborführer innerhalb der Fakultät für Mathematik und Informatik der TU München wurde ein hybrides Trackingsystem entwickelt [Pus-08]. Das Ziel dieses Projekts ist das dynamische Umschalten zwischen den einzelnen Trackern, so dass immer die bestmögliche Konfiguration ausgewählt wird. Die grobe Position innerhalb

der Magistrale des Gebäudes wird über zwei baugleiche GPS-Empfänger realisiert. Der Einsatz innerhalb dieses Gebäudes ist aufgrund vieler Glasfronten möglich. Durch den Einsatz zweier Empfänger werden die Fehler durch Rauschen verringert und die Genauigkeit etwas erhöht. Die Orientierung wird mit einem Magnetometer gemessen. In Mitteleuropa spielt die Abweichung des geographischen vom magnetischen Nordpol keine Rolle. Problematisch für die Anwendung eines Magnetometers sind die Metallstrukturen im Gebäude. Die Lokalisierung von Türen erfolgt mit Hilfe von 2D Markern und optischem Videotracking. Innerhalb eines Labors wird mit IR-Kameras getrackt. Es ist auch ein elektromagnetisches Tracking möglich. Dieses ist aber nicht so genau und stabil und fungiert nur als Ersatzsystem.

Da es eine Vielzahl von möglichen hybriden Trackingsystemen gibt, werden keine weiteren Beispiele explizit aufgeführt.

### **7.1.3 Tracking für die ausgewählten Szenarien**

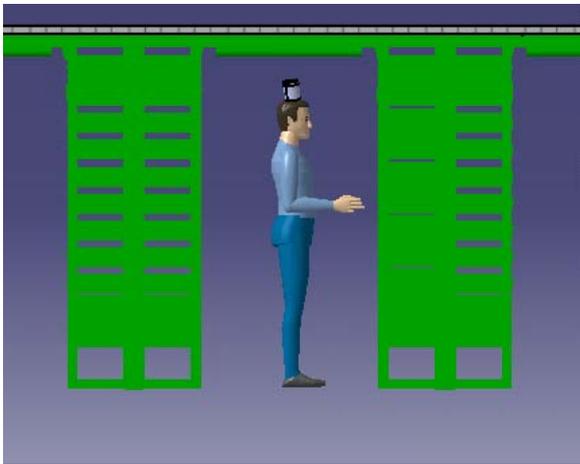
Für die Kommissionierung sind zwei Arten des Trackings zu unterscheiden. Zum einen die Position des Kommissionierers im Lager für die Wegfindung, d. h. die Unterstützung des Weges bis in den Nahbereich des nächsten Lagerfachs. Zum anderen muss der Greifvorgang selbst optisch unterstützt werden.

#### **7.1.3.1 Szenario K1**

Generell gilt für MzW-Systeme, dass der Kommissionierer einen relativ großen Arbeitsbereich hat, den auch das Trackingsystem abdecken muss. Mit AR kann er dabei auf seinem Weg zum Lagerfach und beim Pickvorgang unterstützt werden. Vor allem der Pickvorgang ist entscheidend, der Wegfindung wird weniger Potenzial zugeschrieben (siehe Kapitel 4.1). Dies liegt daran, dass sich der Kommissionierer in einem Lager schnell zurechtfindet und die Lagerplatzbeschriftung in der Regel über einen längeren Zeitraum konstant bleibt. Die Genauigkeitsanforderungen sind nicht so hoch, d. h. sie sollten +/- 2 cm erreichen, da die Lagerfächer im Minimalfall nur 20 cm breit sind. Es gibt mehrere mögliche Ideen für ein Trackingsystem in einem derartigen Lager.

Es könnte ein mechanisches System eingesetzt werden, bei dem nicht der Kommissionierer, sondern der Kommissionierwagen getrackt wird. Dies wäre ein pedometrisches Verfahren, das mit Schrittzählung arbeitet. Es werden nicht die Schritte des

Mitarbeiters gezählt, sondern die Reifenumdrehungen des Kommissionierwagens. Dieses System wäre ziemlich einfach umzusetzen, denn es müsste nur der Kommissionierwagen mit entsprechenden Sensoren ausgestattet und diese über Funk mit dem Trackingrechner verbunden werden. Zu Problemen kann es kommen, wenn die Reifen den Bodenkontakt verlieren, z. B. wenn der Wagen über ein Hindernis gehoben wird oder wenn sich das Rad mit dem Sensor nicht mehr richtig dreht. Dann stimmt die Position, die das System annimmt mit der realen nicht mehr überein und wenn dies öfters vorkommt summieren sich diese Fehler auf. Der Kommissionierwagen muss mit zum Lagerfach geschoben werden, was nicht bei allen Kommissioniersystemen üblich ist. Der Kommissionierer geht in den Gang, entnimmt den oder die Artikel und bringt sie zum Wagen am Gassenanfang.



**Abbildung 7-3: Kommissionier mit einem in-side-out-System**



**Abbildung 7-4: Groborientierung an großem Marker, Feinorientierung an kleinem Marker**

Eine weitere Alternative ist ein optisches inside-out-System. Der Kommissionierer trägt am Kopf oder auf der Schulter einen Sensor. An der Decke sind in einem dem System bekannten Muster LEDs angebracht. Der Sensor erkennt das Muster der LEDs. Dadurch kann die Position bestimmt werden. Der Vorteil ist, dass pro Mitarbeiter nur eine teure Kamera benötigt wird. Die Sicht zur Decke ist nicht versperrt, so dass eine optimale Sichtverbindung zwischen LEDs und Sensor vorherrscht. Diese Anwendung kann auch in relativ niedrigen Räumen eingesetzt werden. Die Räume bzw. die Ebenen sind aufgrund der optimalen Raumnutzung selten höher als die Regale. Nachteilig ist, dass die gesamte Decke über den Gängen mit den LEDs ausgestattet werden muss und die LEDs eine Stromversorgung benötigen. Dies macht das Lager für Umbauten unflexibel. Außerdem ist zu klären, wie der Sensor ergono-

misch am Mitarbeiter angebracht werden kann, und wie dies von ihm akzeptiert wird (siehe Abbildung 7-3).

Ein weiterer Test erfolgte mit markerbasiertem inside-out Tracking. Dazu wurde eine Webcam in Kopfhöhe getragen und das mit dem Unifeye SDK der metaio GmbH augmentierte Bild direkt auf einem Laptop visualisiert. Um den kompletten Bereich abdecken zu können, wurde eine Vielzahl von Markern mit bekannter Größe angebracht. Wenn jedes Lagerfach mit einem Marker ausgestattet wird, sind diese oft schlecht erkennbar, weil sie sehr klein sind und der Winkel meist zu spitz ist. Werden nur wenige große Marker an den Gassenenden angebracht, sind diese nicht im Blickfeld, wenn in ein Lagerfach gegriffen wird. So wurde ein Multi-Marker-Verfahren getestet (siehe Abbildung 7-4). Im Lager sind nur Marker an bestimmten Punkten angebracht, nicht mehr an jedem Lagerfach. Über große Marker an den Enden der Lagergassen kann ein grobes Tracking für die Wegfindung erfolgen, d. h. der Benutzer wird ungefähr zum Lagerplatz geführt. Über mehrere kleine Marker an den Lagerfächern wird ein feines Tracking für das Picking durchgeführt. Die Anzahl der erkannten Marker lies sich über die Software stets ausgeben. Es zeigte sich, dass es schwierig ist, stets einen Marker im Blickfeld zu haben. Deswegen sollte auch über den Einsatz eines zusätzlichen Inertialsensors nachgedacht werden.

### **7.1.3.2 Szenario K2 und Szenario K3**

Für eine erste Untersuchung wurden die beiden Szenarien zusammengelegt, weil sie sich hinsichtlich Abdeckungsbereich und Genauigkeit ähneln. Als Beispiel wird ein Kommissionier-U verwendet, d. h. die Regale sind U-förmig angeordnet und der Kommissionierer bewegt sich in diesem U auf einer Fläche von ca. 2 m x 3 m. Aufgrund dieser kleinen Fläche und da in derartigen Umgebungen oft PbL-Systeme eingesetzt werden, wurde dies als Referenz für Szenario 2 und 3 bestimmt. Der Kommissionierer entnimmt die Artikel und legt sie in den Sammelbehälter, der über einen Rollenförderer an der Stirnseite transportiert wird. Die Daten werden normalerweise über einen Monitor angezeigt, der über einen Pfeil die Richtung anzeigt, in der sich der nächste Artikel befindet. Der Kommissionierer dreht sich in diese Richtung und sieht den mit PbL gekennzeichneten Lagerort. Das Hervorheben des Lagerplatzes mit AR hat in diesem Szenario großes Potenzial. Der Kommissionierbereich ist kleiner und die Entfernungen zwischen den Lagerplätzen sind gering. Es wird nicht die

Wegfindung unterstützt, sondern nur die Richtung, in der sich der Kommissionierer drehen muss.

Ein outside-in IR-Trackingsystem eignet sich für diesen Fall, um die Position und die Orientierung des Kommissionierers zu erfassen. Dieses erfüllt die Genauigkeits- und Robustheitsanforderungen und wegen des kleinen Abdeckungsbereichs reichen zwei oder drei Kameras aus. Einen möglichen Aufbau mit zwei Kameras und deren Abdeckungsbereich zeigt Abbildung 7-5. Eine dritte Kamera, z. B. an der Stirnseite, kann die Leistungsfähigkeit weiter steigern, denn bei zwei Kameras ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Targets verdeckt werden. Die Blickrichtung des Kommissionierers wird mit LEDs oder passiven Targets erfasst, die an der Datenbrille angebracht sind.

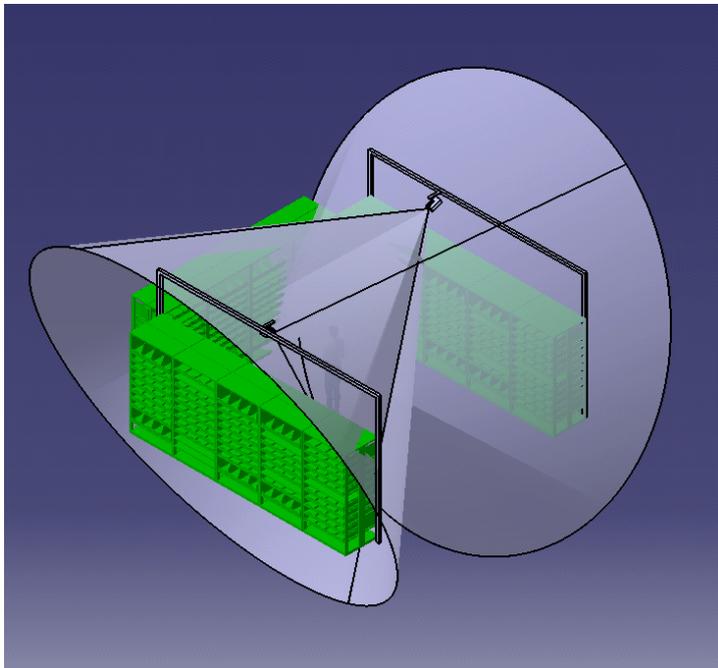


Abbildung 7-5: IR-Trackingsystem für Szenario 2 und 3

## 7.2 Visualisierungen

In Kapitel 4.1 wurden mögliche Visualisierungen für die Wegfindung und in Kapitel 4.3.3.3 die GUI für ein Pick-by-Vision-System erarbeitet. Die Umsetzung der GUI im FM2 erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem FAR, das bereits Voruntersuchungen zur Informationsbereitstellung für Kommissionierer durchgeführt hatte.

### 7.2.1 Voruntersuchung mit einem biokularen HMD

Das FAR führte in einem vorangegangenen Projekt im eigenen AR-Lab eine Untersuchung zur Unterstützung des operativen Logistikmitarbeiters mit AR durch [ScB-07a]. Dabei wurden verschiedene Displayklassen (statische Monitore, PDA, HMD) und Visualisierungsklassen (Liste, Karte, 3D-Objekte) zur Weg- und zur Lagerfachfindung untersucht. Die Probanden trugen ein biokulares OST HMD und das Tracking erfolgte outside-in mit IR-Kameras und passiven Targets am HMD (siehe Abbildung 7-6).



Abbildung 7-6: Sony Glasstron HMD [ScB-07a]

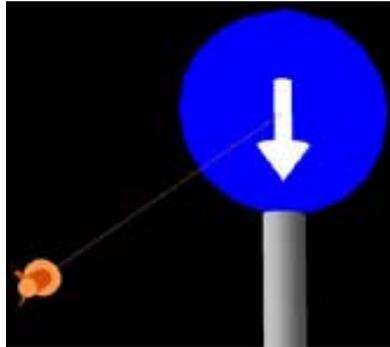


Abbildung 7-7: Pfeil mit Gummiband auf das nächste Objekt [ScB-07a]



Abbildung 7-8: Blick durch das Sony Glasstron HMD [ScB-07a]

Bei der Wegfindung wurden alle drei Displayklassen untersucht. Mit dem HMD dienten virtuelle Schilder und eine „Gummiband“-Metapher zur Wegfindung. Die Regale sind nur schulterhoch. Deshalb wird ein virtuelles Verkehrsschild zum Gassenwechsel benutzt. Es steht in der nächsten Zeile und überragt die Lagerfächer, so dass es der Benutzer sieht (siehe Abbildung 7-7). Die „Gummiband“-Visualisierung führt den Blick des Benutzers. Sie besteht aus einem kompassähnlichen Pfeil, der in fixer Position vor dem Benutzer in Richtung des nächstens Objekts, z. B. ein Pfeil auf ein Lagerfach, zeigt. Bei der Wegfindung ließen sich keine signifikanten zeitlichen Unterschiede hinsichtlich des Displays erkennen. Bei allen drei Technologien wurde die Liste bevorzugt, weil die Informationen mit einem Blick ablesbar waren. Die 2D-Karte musste ständig beobachtet werden. Die 3D-Visualisierung am HMD war signifikant langsamer. Beim HMD wurden zwei interessante Beobachtungen gemacht.

- Im letzten Durchlauf waren die Probanden 50 % schneller (Lerneffekt).
- Es kristallisierten sich auch zwei Benutzergruppen mit schnellen und langsamen Probanden in Abhängigkeit der 3D-Erfahrung (CAD, Computerspiele, AR/VR) heraus.

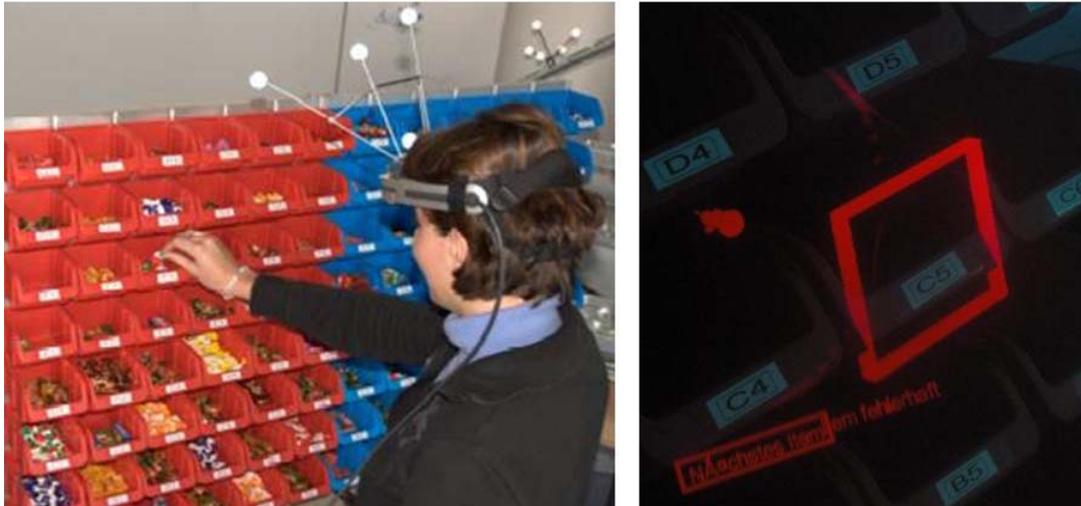
Bei der Lagerfachfindung mit dem HMD gab es ebenfalls keine signifikanten zeitlichen Unterschiede hinsichtlich der Visualisierung. Die Fehlerrate war bei der 3D-Visualisierung aber zehnmal höher, weil oft in das Fach darüber und darunter gegriffen wurde. Dies lag an Problemen mit der Tiefenwahrnehmung mit dem monoskopischen HMD. Bei den 2D-Karten wurden die Felder abgezählt und somit auf 1D-Informationen zurückgerechnet. Es konnte wiederum ein Unterschied hinsichtlich der 3D-Erfahrung erkannt werden.

### **7.2.2 Voruntersuchung hinsichtlich der Visualisierung mit einem VRD**

In Kapitel 3.6.1 wurde das monokulare VRD Microvision Nomad als bestgeeignetes HMD für die Kommissionierung ausgewählt. Das Trackingsystem bietet neue Möglichkeiten der Visualisierung, die aber durch das HMD wieder eingeschränkt werden.

#### ***Räumliche Effekte mit dem monokularen HMD***

Mit dem monokularen Nomad ist kein stereoskopisches Sehen möglich, deshalb muss bei der Visualisierung auf entsprechende monoskopische Aspekte des räumlichen Sehens zurückgegriffen werden, die auch bei monokularer Visualisierung einen dreidimensionalen Eindruck vermitteln. Diese Metaphern sind teilweise aus der Malerei bekannt (Bewegungsparallaxe, Verdeckung, Kenntnis der Größe von Objekten, Beziehung der Objekte zueinander, Fluchtpunktperspektive, Schattierungen). Im kleinen Lager des FAR mit seinen an fest definierten Positionen angeordneten Sichtlagerkästen funktioniert die Verdeckung sehr gut. Die Geometrie des Lageraufbaus ist als virtuelles Modell vorhanden und wird dem realen Lageraufbau überlagert. Dieses virtuelle Modell wird aber nicht angezeigt (occlusion geometry) und verdeckt nur die Teile des virtuellen Rahmens um das Lagerfach, die der reale Sichtlagerkasten auch verdecken würde (siehe Abbildung 7-9). Für den Benutzer entsteht ein Eindruck der Verdeckung und somit eine Art Tiefenwahrnehmung. Die Anforderungen an die Genauigkeit des Tracking und die Visualisierung sind sehr hoch, denn die Sichtlagerkästen sind nur ca. 70 mm breit.



**Abbildung 7-9: Lagerbereich am FAR und Verdeckung des realen Sichtlagerkastens durch den virtuellen Rahmen bei der Hervorhebung des Lagerfachs**

### ***Blickführung und Lagerfachhervorhebung***

Da das FoVD klein ist, sieht der Mitarbeiter die virtuellen Objekte nur in einem beschränkten Bereich. Deswegen ist eine Metavisualisierung notwendig, die Kopf- bzw. die Blickrichtung des Benutzers zu steuern, wenn die virtuellen Daten nicht im Blickfeld sind. Beim Nomad beträgt das monokulare FoVD  $23^\circ$  horizontal mal  $17,25^\circ$  vertikal. Bei virtuellen Daten, die an einer festen Position im FoVD des Benutzers visualisiert werden, ist keine Blickführung nötig. Bei Daten die eine relative Position zu Objekten, z. B. Lagerfächern, oder eine feste Position im Raum haben, ist eine Blickführung notwendig. Dies ist v. a. der Fall, wenn durch 3D-Geometrien der Greifvorgang unterstützt werden soll. Text oder Karten werden ortsfest im FoVD angezeigt und andere Visualisierungen wie eine Kurve aus Pfeilen beginnen vor den Augen des Benutzers. Eine spezielle Blickführung ist in beiden Fällen nicht nötig.

Das FAR führte zur Visualisierung mit dem Nomad Voruntersuchungen hinsichtlich der Unterstützung des Greifvorgangs durch [ScB-08]. Zum einen wurden Metaphern zur Blickführung und zum anderen Visualisierungen zur Hervorhebung des nächsten Lagerfachs getestet. Bei der Blickführung wurden die „Gummiband“-Metapher und ein Tunnel benutzt.

Das Gummiband beginnt vor dem Auge des Benutzers und zeigt in Richtung des nächsten Lagerfaches. Die Visualisierung besteht aus einem Strich, dem Gummiband, und einem Pfeil. Folgt der Benutzer durch Kopf- oder Körperbewegungen dem Gummiband bzw. dem Pfeil, wird er zur nächsten virtuellen Information geführt (z. B.

dem Pfeil auf das aktuelle Lagerfach). Der Pfeil gibt ohne groß nachzudenken sofort intuitiv die Richtung vor, ohne aber Informationen zur Distanz zu liefern.



**Abbildung 7-10: Tunnel zur Wegführung und Rahmen um das Lagerfach**



**Abbildung 7-11: Pfeil auf das Lagerfach**

Der Tunnel in Anlehnung an den Attention Funnel [Bio-06] beginnt ebenfalls vor dem Auge des Benutzers (siehe Abbildung 7-10). Der Tunnel besteht aus Quadraten oder Kreisen, die entlang einer Kurve angeordnet sind. Das letzte Element ist vor dem Lagerfach. Der Benutzer muss also diesem Tunnel folgen. Dies ist sehr intuitiv und die 3D-Information (Tiefenwahrnehmung) wird trotz der monokularen Visualisierung gut wiedergegeben. Allerdings ist es am Anfang schwierig die richtige Richtung zu finden. Der Benutzer entwickelt schnell ein Richtungsempfinden und bevorzugt den Tunnel zur Wegfindung, u. a. weil er auch die Distanz wiedergibt. Nachteilig ist allerdings, dass das FoVD zu sehr mit virtuellen Informationen überfüllt ist [ScB-08]. Beim Aufbau des Tunnels kann die Geometrie, aus der sich der Tunnel aufbaut, die Anzahl der Elemente, die Kurve oder auch die Transparenz der Objekte variieren. Wird die Transparenz der Objekte erhöht und die Dicke verringert, ist das FoVD weniger überlastet und die Probanden fanden leichter ihr Ziel. Besteht der Tunnel aus Kreisen ist er besser vom rechteckigen Rahmen um das Lagerfach zu unterscheiden.

Das Lagerfach kann über einen Rahmen um den Sichtlagerkasten oder einen Pfeil hervorgehoben werden (siehe Abbildung 7-10 und Abbildung 7-11) In den Untersuchungen erwies sich der Rahmen als schneller und weniger fehleranfällig wie der Pfeil [ScB-08].

### 7.2.3 Aufbau Funktionsmuster 2

Nach den Voruntersuchungen wird das System in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml aufgebaut. Die umgesetzten Funktionalitäten orientieren sich an dem Ablauf des Kommissionierprozesses aus Kapitel 4.3.3.1. Es wird auf den gleichen Lagerbereich wie beim FM1 zurückgegriffen (siehe Kapitel 5.2.1). Obwohl dies ein kleiner Lagerbereich ist, ergeben sich neue Herausforderungen für das Tracking (Abdeckungsbe-  
reich, Verdeckung durch Regale) und an die Visualisierung.



Abbildung 7-12: Trackingkameras über dem Lager

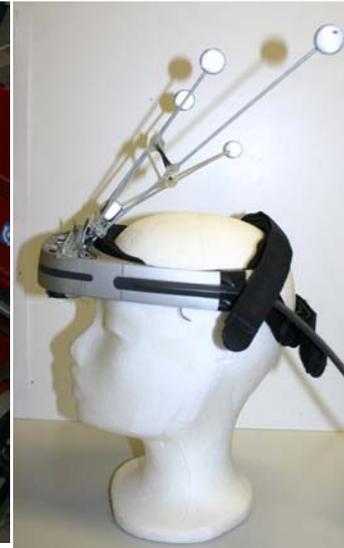


Abbildung 7-13: HMD mit Trackingkugeln

#### 7.2.3.1 Trackingsystem

Optisches Tracking erweist sich als bestes Verfahren für den industriellen Einsatz. IR-Tracking eignet sich vor allem wegen seiner Genauigkeit, der hohen Robustheit und geringen Latenzzeit und wird im AR-Lab des FAR verwendet. Für den Aufbau in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml wird ein neu entwickeltes outside-in IR-Tracking der metaio GmbH mit passiven Targets eingesetzt. Mit der maximalen Auflösung von 1.280 x 1.024 Pixel ist eine Framerate von 15 Hz möglich, mit 800 x 600 Pixel wird die maximale Framerate von 30 Hz erreicht. Für den Lagerbereich, der ca. 6 x 4 m umfasst, werden nur zwei Kameras mit einem Öffnungswinkel von 90° benötigt. Die Kameras werden mittig über dem Regal auf ca. 5 m Höhe aufgehängt. Das System muss die Position der beiden Kameras zueinander wissen, so dass diese zueinander kalibriert werden. Diese Kalibrierung ist zu wiederholen, wenn sich die

Position der Kameras durch äußere Einflüsse (z. B. Schwingungen der Aufhängung) verändert haben könnte.

Als Referenzgeometrien für das Tracking werden passive Marker auf der Halterung der Datenbrille angebracht (siehe Abbildung 7-13). Das Target besteht aus mehreren Kugeln, die an Stangen angebracht sind. Das gesamte Target muss groß genug sein, damit es die Kameras gut erfassen können, und klein genug, dass es den Kommissionierer nicht behindert.

Die Kameras senden IR-Blitze aus, die von den Trackingkugeln mit ihrer speziellen Oberfläche sehr gut reflektiert werden. Die optischen Kameras nehmen ein 2D-Graustufenbild dieser Szene auf und schicken das jeweilige 2D-Bild an den Trackingrechner. Dort wertet das Unifeye SDK der metaio GmbH die Daten der beiden Kameras aus, berechnet die Pose des Targets im Raum und schickt sie weiter an den mobilen Rechner am Kommissionierer.

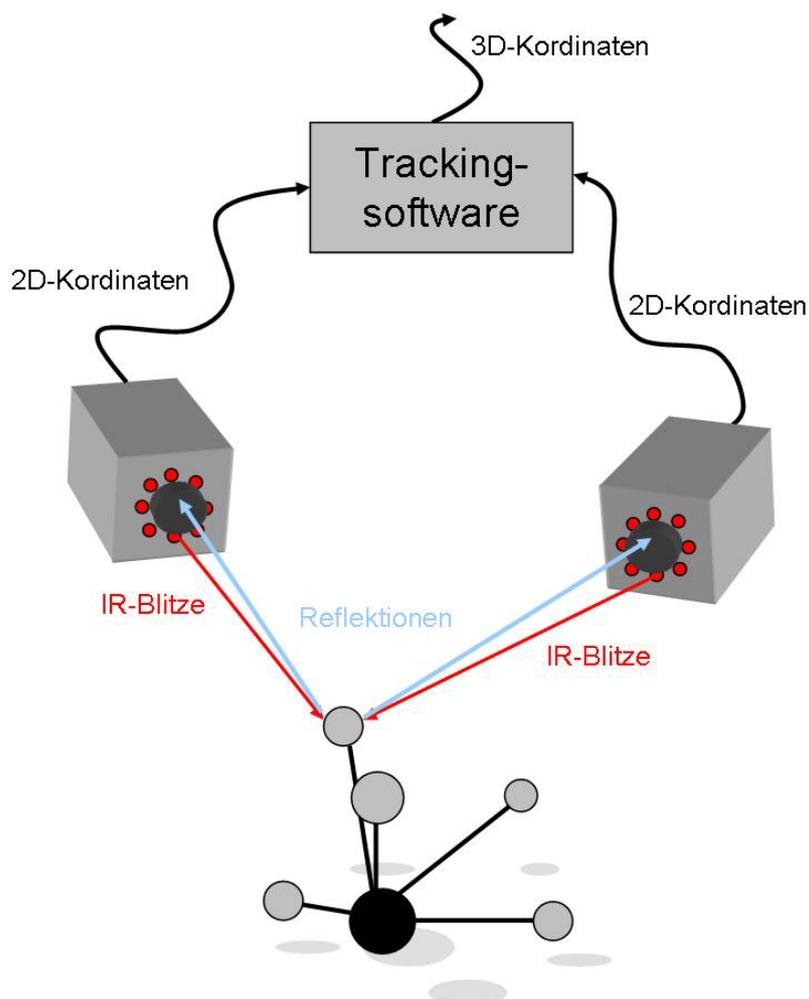


Abbildung 7-14: Funktionsweise von outside-in IR-Trackingsystemen

Im AR-Lab wird das IR-Trackingsystem der A.R.T. GmbH verwendet. Die Kameras haben eine Framerate von 60 Hz bei einem kleineren Öffnungswinkel, so dass für die Abdeckung des gleichen Bereichs mehr benötigt werden. Da die Schnittstelle zu der Software DTrack der A.R.T. GmbH vorhanden ist, kann auch dieses System in das FM2 integriert werden. Um den gesamten Lagerbereich abzudecken werden vier bis sechs Kameras benötigt. Die Kameras verfügen jeweils um einen eigenen Prozessor, der das Bild auswertet und die 2D-Position des Targets an den DTrack-Rechner schickt. Dieser berechnet aus den Daten der verschiedenen Kameras die Pose des Targets. Bei beiden Systemen erfolgt die Kalibrierung der Kameras zur Lagereinrichtung über Referenzgeometrien, die exakt im Lagerbereich ausgerichtet werden. Im Ursprung dieser Referenzgeometrie befindet sich der Koordinatenursprung für die Anzeige der virtuellen 3D-Geometrien.

### 7.2.3.2 Visualisierung

Die Visualisierung orientiert sich an der in Kapitel 4.3.3 entwickelten GUI. Auf die Startseite folgt der Login, indem der entsprechende Benutzer ausgewählt wird. Nach der Auswahl des Auftrags wird der Kommissionierer aufgefordert, den Sammelbehälter aufzunehmen. Dabei wird er grafisch durch die Anzeige des Standorts des Sammelbehälters im Bezug zum Lagerbereich unterstützt. Dieses Bild wird statisch dargestellt. Anschließend werden ihm die Daten zur nächsten Position visualisiert. Die Art der visuellen Unterstützung kann in die Wegfindung (grobe Unterstützung) und in die Unterstützung des Greifvorgangs (feine Unterstützung) gegliedert werden. Das FAR führte zur Visualisierung mit dem Nomad Voruntersuchungen hinsichtlich der Unterstützung des Greifvorgangs durch. Zur Blickführung eignet sich am besten ein Tunnel bestehend aus einfachen Geometrien, der anhand einer Kurve vom Auge des Benutzers zum Zielort führt. Das Lagerfach wird durch einen Rahmen am Ende des Tunnels hervorgehoben. Damit sich die beiden Geometrien unterscheiden lassen, wird der Tunnel aus Kreisen aufgebaut und der Rahmen als Rechteck wiedergegeben. Diese Visualisierung funktioniert sehr gut, wenn der Benutzer vor einem Regal steht. Muss er aber die Gasse wechseln, würde der Tunnel direkt durch das Regal auf den nächsten Lagerort zeigen. Für den Lagerbereich in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml ist eine Visualisierung zum Gassenwechsel zu ergänzen.

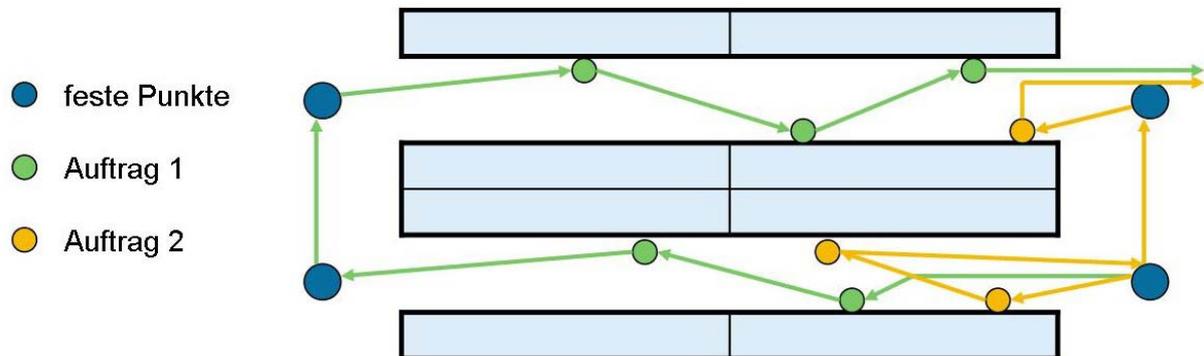
In Kapitel 4.1.2 wurden einige Konzepte zur Wegfindung vorgestellt. 2D-Karten werden nicht mehr weiter betrachtet. Die Kommissionierer zählen nur die Lagerfächer ab und wandeln die Information in die Lagerfachbeschriftung um [ScB-07a]. Karten verdecken dauerhaft sehr viel vom FoVD und so ist auch eine Kombination mit dem Tunnel oder Pfeilen nicht zu empfehlen.



**Abbildung 7-15: Pfeile in Richtung Gassenende und in die Richtung der nächsten Gasse**

Für die Wegfindung werden nur der Tunnel und die Pfeile weiter betrachtet. Einzelne Pfeile können nur die Richtung vorgeben. Der Pfeil zeigt zum Gassenende und dort nach links oder rechts (siehe Abbildung 7-15). Steht der Benutzer vor dem Lager zeigt ein Pfeil in die nächste Gasse. Pfeile entlang einer Kurve können den Weg auch direkt vorgeben. Ausgehend von einem Punkt vor den Augen folgen sie einer Kurve in Brusthöhe oder am Boden. Diese Darstellung ähnelt dem Tunnel. Die Kurve vom Benutzer zum nächsten Lagerplatz muss aber so gestaltet sein, dass sie von der aktuellen Gasse in die nächste führt (siehe Abbildung 7-16). An den Gassenenden können sich Stützpunkte befinden, über die die Kurve generiert wird. Nun ist noch festzulegen, in welcher Richtung sich der Benutzer bewegen soll, denn es gibt zwei Gassenenden und er soll den kürzesten Weg zurücklegen. Dieser Punkt erwies sich bei Tests als schwierig zu handhaben. Die Erstellung einer ergonomisch geformten Kurve an jedem Ort des Weges von einer Gasse in die nächste gestaltete sich sehr aufwendig. Da ein Gassenwechsel ein schnell zu erlernende und einfach auszuführender Vorgang ist und die Wegfindung bei der Befragung von Industrievertretern als eher unwichtig erachtet wurde (siehe 4.3.4), wird auf eine Unterstützung des We-

ges mit 3D-Geometrien verzichtet. Deshalb wird der Gassenwechsel durch Einblenden von Text („Gehe zu Gasse X“) und nur der Weg innerhalb einer Gasse und der Greifvorgang mit 3D-Geometrien unterstützt.



**Abbildung 7-16: Gassenwechsel über Stützpunkte für die virtuelle Kurve an den Gassenenden**

Innerhalb der Gasse wird der Benutzer mit Hilfe des Tunnels zum Lagerort geführt, der mit einem Rahmen hervorgehoben wird. Der Rahmen wird nicht um den Lagerinhalt oder das Lagerhilfsmittel angezeigt, sondern um das Magnetschild mit der Lagerfachbeschriftung am Querträger unterhalb des Lagerfachs. Dies hat zwei Gründe. Zum einen nimmt ein kleiner Rahmen von ca. 10 x 5 cm nicht soviel Platz ein. Der kleine Rahmen lässt sich besser in einem kleinen FoVD darstellen. Zum anderen haben die Magnetschilder eine definierte Form und befinden sich an festen Orten im Lager. Da die Artikel in verschiedenen Lagerhilfsmitteln oder ohne Lagerhilfsmittel gelagert werden, müsste nahezu jeder Artikel individuell betrachtet werden. Dazu stehen die Lagerhilfsmittel – im Gegensatz zu den fest eingespannten im FAR – nicht in einer genau definierten Position und Orientierung im Lager.

Damit die optische Hervorhebung der Magnetschilder an allen Lagerorten genau angezeigt wird, ist eine exakte Kalibrierung der Trackingkameras zueinander und der Kameras zum Lager nötig. Das Koordinatensystem im Lager muss so eingerichtet werden, dass die Achsen entlang der Hauptdimensionen der Regale verlaufen (v. a. Länge und Breite). Die Ausrichtung der Regale untereinander ist auch wichtig. Sie sollten parallel zueinander in einem festen Abstand stehen (Gassenbreite = 1 m). Nun kann anhand eines hinterlegten Modells der Lagergeometrie die Position jedes Magnetschildes berechnet werden. Beim Aufbau kam es zu leichten Abweichungen bei der Positionierung der Schilder und durch kleine Ungenauigkeiten beim Tracking, aber der Rahmen passte um jedes Magnetschild. Dies lag auch daran, dass er um

einige Zentimeter länger und ca. zwei Zentimeter höher war, als das Schild. So war etwas Spielraum für die Genauigkeit des Systems gegeben.

Die verschiedenen Visualisierungen können über eine xml-Datei konfiguriert werden. Die 3D-Geometrien lassen sich ein- und ausschalten sowie in einem gewissen Umfang konfigurieren. Ein komplettes Ausschalten, so dass nur die wichtigen Daten zur aktuellen Position in Textform angezeigt werden, ist ebenfalls möglich. Diese Einstellungen sind allerdings nicht zur Laufzeit möglich.

Ist der Auftrag fertig kommissioniert, wird der Benutzer aufgefordert, den Sammelbehälter abzugeben. Die Abgabe wird bestätigt und es erscheint wieder das Menü mit der Auftragsauswahl – unabhängig davon, ob ein weiterer Auftrag vorhanden ist. Der Benutzer kann einen neuen Auftrag anfordern oder sich vom System abmelden.

### **7.2.3.3 Interaktion**

Zur Interaktion wird der Dreh-/Drückknopf eingesetzt. Mit ihm werden zwei Interaktionen ausgeführt: das Scrollen durch eindimensionale Menüs und das Bestätigen von Aktionen. Bei der Auswahl des Benutzers und des Auftrags wird durch das Menü gescrollt. Beim Login wurde auf die Eingabe eines Passwortes, d. h. auf Texteingabe verzichtet, da dies mit dem Dreh-/Drückknopf nur umständlich realisiert werden kann. Während der Visualisierung der aktuellen Position werden im unteren Bild des FovD mehrere Schaltflächen angezeigt, z. B. Quittierung oder der Sprung ins Fehlermenü. Dies wird analog zu den Menüs gesteuert. Durch Drehen wird zwischen den Schaltflächen navigiert und durch Drücken wird die Auswahl bestätigt. Standardmäßig ist der Fokus auf dem Button zur Bestätigung.

Während der Tätigkeit des Benutzers kann sich der Dreh-/Drückknopf ungewollt bewegen. Deswegen wurde neben dem optischen auch ein akustisches Feedback installiert. Beim Drehen des Knopfs und einem Verschieben seines Fokus, erklingt ein Klickton, bei einer Bestätigung ein Pfeifton. Somit merkt der Benutzer sofort, dass eine Aktion ausgeführt wurde und er dies bei seiner nächsten Aktion beachten muss.

### **7.2.3.4 Gesamtsystem**

Das Gesamtsystem besteht aus den drei Komponenten Tracking-, Visualisierungs- und Interaktionssystem. Den Hardwareaufbau zeigt Abbildung 7-17. Es können zwei Arten von IR-Trackingkameras eingesetzt werden. Das System von metaio besteht



der Regale und der Lagerfächer müssen ebenfalls definiert werden. Das ist zum einen wichtig, um die 3D-Geometrie zur Hervorhebung des Lagerplatzes räumlich richtig positionieren zu können, zum anderen dient dies als Occlusion-Geometrie, d. h. dass eine Verdeckung von virtuellen Objekten durch reale Objekte realisiert werden kann. Das FM2 ermöglicht die Anzeige unterschiedlichster 3D-Geometrien zur Wegfindung, Blickführung und zur Unterstützung des Greifvorgangs, wie beispielsweise Pfeile, Rahmen oder den Tunnel. Diese Geometrien lassen sich in einer eigenen Datei konfigurieren. Sie können ein- und ausgeschaltet, ihre Größe oder Form variiert sowie ihre räumliche Position im Bezug zum Benutzer oder dem Weltkoordinatensystem definiert werden. Über diese Dateien erfolgt eine schnelle Änderung des Systems und eine Anpassung an die jeweiligen Randbedingungen.

## 8 Evaluierung Funktionsmuster 2

Die Evaluierung des FM2 wird wieder im kleinen Lagerbereich in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml durchgeführt. Mit einer Expertenevaluierung (ein sogenanntes Usability Testing) und Vortests wurde das System zunächst v. a. hinsichtlich der 3D-Visualisierung getestet und optimiert. Eine Evaluierung in einem praxisnahen Umfeld bei einem Industriepartner erfolgte nicht, weil eine Portierung des Trackingsystems innerhalb des Forschungsvorhabens zu aufwendig gewesen wäre.

### 8.1 Usability Testing

Da ein Pick-by-Vision-System von sehr vielen Parametern beeinflusst wird, wurde es während der Entwicklung laufend durch Usability Testings evaluiert. Dazu ist keine große Anzahl an Testpersonen nötig, denn bereits sechs Experten entdecken die meisten Fehler und jeder weitere Experte bestätigt diese im Wesentlichen [Oeh-04]. Dies bietet v. a. die Möglichkeit Mitarbeiter aus der Industrie bei den Studien miteinzubeziehen. Die Evaluation kann mit den Verfahren „lautes Denken“, „Befragung“, „strukturiertes Interview“ und „Beobachtung“ erfolgen. Beim Usability Testing besteht kein Anspruch auf eine statistisch abgesicherte Aussagekraft. Es sollen nur grundlegende Fehler und Optimierungspotenziale aufgezeigt werden. Mit Experten wurden das AR-System und auch der Anwendungsfall (Versuchsaufbau) durchgesprochen und mit erfahrenen Probanden Probeläufe absolviert. Vor der Portierung des FM2 von AR-Lab des FAR in die Versuchshalle des Lehrstuhls fml bewerteten es Experten aus der Industrie folgendermaßen:

- Es wurden zu wenige Informationen angezeigt, denn es fehlte die Artikelnummer und die Entnahmemenge. Der Pfeil wird von den Experten als hilfreicher angesehen als der Tunnel, da dieser zu viel von der realen Welt verdeckt.
- Der Dreh-/Drückknopf eignet sich sehr gut für die Eingabe der Daten.
- Das Target auf der Brille stört nicht, allerdings ist das Gewicht zu hoch.
- Das Referenzszenario im AR-Lab des FAR könnte praxisnäher sein (zu kleiner Aufbau).

## 8.2 Labortest Funktionsmuster 2

Im Versuchslager des Lehrstuhls fml wurde eine Papierliste mit zwei Konfigurationen des FM2 verglichen. Dabei wurde einmal ein Trackingsystem eingesetzt und einmal nicht.

### 8.2.1 Versuchsaufbau Labortest Funktionsmuster 2

Zum Versuchsaufbau gehören die Lagerumgebung, die Kommissionieraufträge, die Kommissioniertechnologien und die eingesetzten Verfahren zur Ermittlung der subjektiven Beanspruchung.



Abbildung 8-1: Versuchsumgebung beim Labortest zum FM2

#### ***Versuchsumgebung***

Es wird die Lagerumgebung in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml verwendet. Der Regalaufbau unterscheidet sich somit nicht von den anderen Versuchsreihen (siehe

Abbildung 8-1). Die Regale wurden genau parallel mit einer Gassenbreite von einem Meter ausgerichtet. Dies ist für die virtuelle Hervorhebung der Lagerfächer notwendig. Auch die Position der Magnetschilder muss genau bestimmt sein, weil sich der virtuelle Rahmen darauf bezieht. Die Basis ist in ca. drei Meter Entfernung vor dem Lager aufgebaut. Dort sind die Sammelbehälter (KLT 600 x 400 mm) bereitgestellt. Die Behälter werden auf einen Kommissionierwagen abgestellt, der während eines ganzen Auftrags durch die Gassen mitgeführt wird. Die Abgabe der Behälter erfolgt auf den Tisch. Das Sortiment entspricht dem des Labortests mit dem FM1. Die Lagerplatzbelegung wurde geändert und der Lagerfüllungsgrad beträgt 98 % (fünf leere Fächer).

### **Kommissionieraufträge**

Die Probanden bearbeiten mit jeder Technik sechs Kommissionieraufträge mit insgesamt 30 Positionen (5 Pos/Auftrag) und 61 Entnahmeeinheiten (2,03 EE/Pos) (siehe Tabelle 8-1). Bei den anderen Versuchsreihen gaben die Probanden an, dass sie bemerkten mit jeder Technik die gleichen Aufträge zu bearbeiten. Deshalb variieren die Aufträge zwischen den Techniken leicht, d. h. dass sich innerhalb eines Auftrags die Positionen unterscheiden können. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Anzahl der Positionen und die Anzahl der Entnahmeeinheiten ebenso konstant bleiben wie die Wege und die Greifvorgänge. So muss der Proband bei einer Technik ins rechte und bei der anderen ins linke Regal nach ähnlichen Artikeln greifen. Durch die Variation der Positionen zwischen den Techniken wird eine Ähnlichkeit der Aufträge nicht erkannt. Die Aufträge sind aber bezüglich ihrer wichtigsten Einflussgrößen nahezu gleich (Pos, EE, Gewicht etc.), so dass dies keine Auswirkungen auf das Ergebnis hat.

Auftrag	Anzahl Positionen	Entnahmeeinheiten	besondere Artikel
A1	3	5	1 x großes Teil
A2	6	9	
A3	9	18	Großer Auftrag
A4	3	4	1 Fehler im Auftrag
A5	6	12	
A6	3	13	viele Positionen

**Tabelle 8-1: Auftragsstruktur beim Labortest mit dem FM2**

Beim vierten Auftrag wurde bei jeder Technik ein Fehler eingebaut. In dem angezeigten Lagerfach liegt ein falscher Artikel, d. h. der Fehler müsste bei Abgleich mit der Artikelnummer erkannt werden. Der richtige Artikel liegt im Fach darunter. Der Pro-

band sollte im vierten Auftrag bei jeder Technik erkennen, dass ein falscher Artikel im Lagerfach liegt und diesen Artikel nicht mitnehmen. Wenn nicht, wird ein Fehler angerechnet.

### ***Verwendete Kommissioniertechniken beim Labortest***

Es wurde die gleiche Art von Papierlisten wie im Labortest mit FM1 verwendet. Der dritte Auftrag umfasst neun Positionen, die auf zwei Seiten abgedruckt sind. Dies soll das Handling der Papierliste noch realitätsnäher wiedergeben.

Es wird das im Kapitel 7.2.3.4 entwickelte Pick-by-Vision System verwendet. Als Trackingsystem dienen sechs IR-Kameras von A.R.T. Sie wurden so aufgebaut, dass der Regalbereich abgedeckt ist. Die Vorversuche ergaben, dass die beste 3D-Visualisierung ein Tunnel aus Tori mit einem Rechteck am Ende, um das Magnetschild der Lagerfachbeschriftung ist. Der Tunnel ist dazu animiert, d. h. vom Auge bis zum Lagerplatz blinken die einzelnen Tori nacheinander auf. Zusätzlich wird die Artikelnummer links und die Menge rechts oben angezeigt. Der Lagerplatz wird nicht als Text visualisiert. Auf die Schaltflächen am unteren Bildrand wurde verzichtet, um die Szene nicht zu überfüllen. Ein kurzer Knopfdruck bestätigt die Aktion, ein langer meldet einen Fehler.

Beim System ohne Tracking werden die 3D-Geometrien deaktiviert und der 2D-Text aktiviert. Es werden der Lagerort, die Artikelnummer und die Menge oben im FoVD in einer etwas kleineren Schriftgröße angezeigt und durch eine Umrandung eingeschlossen. Die Visualisierung unterscheidet sich etwas, da in dieser Konfiguration ohne die 3D-Geometrien mehr Platz im FoVD zur Verfügung steht. Am unteren Bildrand wird die Schaltfläche mit Buttons zur Quittierung und zur Fehlereingabe genutzt. Die Bestätigung wird mit einem kurzen Klick auf den entsprechenden Button durchgeführt, ein Klick auf den Fehlerbutton führt ins Fehlermenü. Das Target auf der Datenbrille ist zwar ohne Funktion, aber aufgrund der besseren Vergleichbarkeit der Versuchsreihen bleibt es montiert.

Der Ablauf und die Visualisierung sind bei beiden Systemen bis auf die GUI mit den Positionsdaten gleich. Die Aufträge werden aus einer xml-Datei bezogen. Da die Aufträge für beide Techniken nicht gleich sind, gibt es zwei unterschiedliche Dateien. In einer weiteren xml-Datei sind die Einstellungen für die Visualisierung vorzunehmen. Diese beiden Dateien mussten vor jedem Durchlauf mit einer der beiden Pick-by-Vision-Techniken angepasst werden.

### **Erfassung der subjektiven Beanspruchungskriterien beim Labortest**

In einem Fragebogen werden die persönlichen Daten wie Alter und Erfahrungen im Kommissionier- oder 3D-Bereich abgefragt (siehe Anhang C). Die mentale Belastung mit jeder Technologie wird mit dem NASA TLX gemessen. Diesen beantworteten die Probanden direkt am Rechner in einem selbst programmierten Excel-Tool (siehe Abbildung 8-2). Zu jedem der sechs Punkte konnten sie einen Schieberegler nach ihrer Einschätzung einstellen. Dadurch konnten die Eingaben gleich automatisch ausgewertet werden.

The screenshot shows a window titled "Nasa TLX" with a yellow background. It contains six rows of sliders, each with a label and a question in German. The sliders are positioned between two end labels. At the bottom, there is an "OK" button.

Category	Question	Scale Labels
Mental Demand (geistige Anforderung)	In welchem Masse stellte diese Studie geistige Anforderungen, also denken, beobachten, entscheiden?	low to high
Physical Demand (körperliche Anforderung)	Wieviel koerperliche Anstrengung war nötig?	low to high
Temporal Demand (zeitliche Anforderung)	Welchen Zeitdruck empfanden Sie bei der Aufgabe?	low to high
Effort (Aufgabenerfüllung)	Wie zufrieden sind Sie mit dem Grad der Aufgabenerfuellung?	good to poor
Performance (Anstrengung)	Wie sehr mussten Sie sich bei der Studie insgesamt anstrengen (geistig und koerperlich)?	low to high
Frustration Level (Frustriert)	In welchem Masse fuehlten Sie sich bei der Studie gestresst?	low to high

Abbildung 8-2: GUI für die Eingabe beim NASA TLX Test

### **8.2.2 Nullhypothesen Labortest Funktionsmuster 2**

Die Kommissionierfehlerquote, die Kommissionierzeit und die mentale Belastung werden in dieser Versuchsreihe ermittelt. Die beiden logistischen Kennzahlen lassen sich des Weiteren auf den Einfluss der 3D- und Kommissioniererfahrung bzw. der Lerneffekte untersuchen. Folgende Nullhypothesen stehen in dieser Versuchsreihe zur Diskussion.

H<sub>0, 1</sub>: Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für alle drei Kommissioniertechnologien gleich<sup>24</sup>.

$$f_{\text{Liste}} = f_{\text{oTr}} = f_{\text{mTr}}$$

H<sub>0, 2a</sub>: Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision ohne Tracking unabhängig von der 3D-Erfahrung.

$$f_{\text{oTr, 3D}} = f_{\text{oTr, ohne 3D}}$$

H<sub>0, 2b</sub>: Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision mit Tracking unabhängig von der 3D-Erfahrung.

$$f_{\text{mTr, 3D}} = f_{\text{mTr, ohne 3D}}$$

H<sub>0, 3a</sub>: Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für die Papierliste unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$f_{\text{Liste, Kom-Erf}} = f_{\text{Liste, ohne Kom-Erf}}$$

H<sub>0, 3b</sub>: Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision ohne Tracking unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$f_{\text{oTr, Kom-Erf}} = f_{\text{mTr, ohne Kom-Erf}}$$

H<sub>0, 3c</sub>: Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision mit Tracking unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$f_{\text{mTr, Kom-Erf}} = f_{\text{oTr, ohne Kom-Erf}}$$

H<sub>0, 4a</sub>: Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für die Papierliste unabhängig von Lerneffekten.

$$f_{\text{Liste, Durchgang 1}} = f_{\text{Liste, Durchgang 2}} = f_{\text{Liste, Durchgang 3}}$$

H<sub>0, 4b</sub>: Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision ohne Tracking unabhängig von Lerneffekten.

$$f_{\text{oTr, Durchgang 1}} = f_{\text{oTr, Durchgang 2}} = f_{\text{oTr, Durchgang 3}}$$

H<sub>0, 4c</sub>: Die Kommissionierfehlerquote  $f$  ist für Pick-by-Vision mit Tracking unabhängig von Lerneffekten.

$$f_{\text{mTr, Durchgang 1}} = f_{\text{mTr, Durchgang 2}} = f_{\text{mTr, Durchgang 3}}$$

H<sub>0, 5</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für alle drei Kommissioniertechnologien gleich.

$$t_{\text{Liste}} = t_{\text{oTr}} = t_{\text{mTr}}$$

H<sub>0, 6a</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision ohne Tracking unabhängig von der 3D-Erfahrung.

$$t_{\text{oTr, 3D}} = t_{\text{oTr, ohne 3D}}$$

---

<sup>24</sup> = Liste, oTr = Pick-by-Vision ohne Tracking, mTr = Pick-by-Vision mit Tracking

H<sub>0, 6b</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision mit Tracking unabhängig von der 3D-Erfahrung.

$$f_{mTr, 3D} = t_{mTr, ohne 3D}$$

H<sub>0, 7a</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für die Papierliste unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$t_{Liste, Kom-Erf} = t_{Liste, ohne Kom-Erf}$$

H<sub>0, 7b</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision ohne Tracking unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$t_{oTr, Kom-Erf} = t_{oTr, ohne Kom-Erf}$$

H<sub>0, 7c</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision mit Tracking unabhängig von der Kommissioniererfahrung.

$$t_{mTr, Kom-Erf} = t_{mTr, ohne Kom-Erf}$$

H<sub>0, 8a</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für die Papierliste unabhängig von Lerneffekten, d. h. ob die Technik als erstes, zweites oder drittes getestet wurde.

$$t_{Liste, Durchgang 1} = t_{Liste, Durchgang 2} = t_{Liste, Durchgang 3}$$

H<sub>0, 8b</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision ohne Tracking unabhängig von Lerneffekten.

$$t_{oTr, Durchgang 1} = t_{oTr, Durchgang 2} = t_{oTr, Durchgang 3}$$

H<sub>0, 8c</sub>: Die Kommissionierzeit  $t$  ist für Pick-by-Vision mit Tracking unabhängig von Lerneffekten.

$$t_{mTr, Durchgang 1} = t_{mTr, Durchgang 2} = t_{mTr, Durchgang 3}$$

H<sub>0, 9</sub>: Die mentale Belastung (NASA TLX) ist für alle drei Kommissioniertechnologien gleich.

$$TLX_{Liste} = TLX_{oTr} = TLX_{mTr}$$

### 8.2.3 Versuchsdurchführung Labortest Funktionsmuster 2

Vor der Versuchsreihe wurde festgelegt, in welcher Reihenfolge die Probanden die drei Durchgänge mit den verschiedenen Techniken durchführen. Die Zuordnung der sechs verschiedenen Reihenfolgen oTr-L-mTr, L-oTr-mTr, mTr-oTr-L, oTr-mTr-L, L-mTr-oTr und mTr-L-oTr erfolgte über Zufallszahlen.

Für einen Probanden war ein Zeitfenster von 120 min veranschlagt. In der vier Tage umfassenden Versuchsreihe wurden 19 Probanden getestet. Nach der Einweisung durch den Versuchsleiter (Projekthintergrund, Ablauf und Ziele der Versuchsreihe)

wurde der Lageraufbau, die Lagerfachbeschriftung und die verschiedenen Artikel mit ihren Artikelnummern erklärt. Vor dem ersten Durchgang füllten die Probanden den persönlichen Fragebogen aus. Das Pick-by-Vision-System mit Tracking wurde ihnen in zwei Probeläufen erklärt. Beim ersten begleitete der Versuchsleiter die Probanden und erläuterte die Funktionsweise. Die Probanden führten den Kommissionierwagen nicht mit und entnahmen keine Artikel. Beim zweiten kommissionierten sie einen Auftrag alleine. Da das System ohne Tracking auf dem gleichen Interaktionskonzept beruht, wurde auf eine explizite Einweisung verzichtet. Bei der Liste erfolgte ebenfalls eine Unterweisung im Prozessablauf. Die Probanden wurden angehalten, den Kommissionierwagen mit in die Gasse zu nehmen.

Während der Versuchsreihe wurden die beiden Kennzahlen Kommissionierzeit und Kommissionierfehler ermittelt. Die Zeitaufnahme begann beim Login bzw. beim Losgehen und stoppte bei der Abgabe des letzten Sammelbehälters. Neben Mengen- und Typfehlern wurden auch Prozessfehler direkt nach der Abgabe des Auftrags aufgenommen. Nach Abschluss der einzelnen Durchgänge füllten die Probanden eine NASA-TLX sowie ggf. einen Fragebogen zur getesteten Technik aus. Währenddessen wurde das Lager eingeräumt und die Pick-by-Vision-Systeme wieder auf den Ausgangszustand gebracht.

### **8.2.4 Ergebnisse des Labortests zum Funktionsmuster 2**

In diesem Kapitel erfolgt die Auswertung der Versuchsreihe. Zunächst werden die Kommissionierzeit und die Kommissionierfehler mit deskriptiver Statistik untersucht bevor mit statistischen Mitteln der Signifikanztest erfolgt. Außerdem werden die Fragebögen und die Einflüsse verschiedener Parameter auf die Kommissionierzeit bzw. die Kommissionierfehler ausgewertet.

#### **8.2.4.1 Probanden**

Es wurden 19 vor allem männliche Probanden getestet. Das Durchschnittsalter betrug 27,2 Jahre, wobei der jüngste 18 und der älteste 45 Jahre alt war. Es handelte es sich um sechs Akademiker, elf Studenten und zwei Facharbeiter der Ludwig Meister GmbH & Co. KG. Diese Verteilung entspricht nicht unbedingt der in der Praxis in vielen Kommissionierlagern vorhandenen Verteilung. 42,1% der Probanden hatten 3D- und 47,4% Kommissioniererfahrung. Tabelle 8-2 zeigt die Zusammenfassung.

<b>Geschlecht</b>	3 Frauen		16 Männer
<b>Durchschnittliches Alter</b>	27,2 Jahre		
<b>Alterspanne</b>	18 Jahre	bis	45 Jahre
<b>Standardabweichung</b>	6,78		
<b>Beruf</b>	2 Facharbeiter	11 Studenten	6 Akademiker
<b>3D-Erfahrung</b>	8 Probanden		
<b>Kommissioniererfahrung</b>	9 Probanden		

Tabelle 8-2: Zusammenfassung Probandenstruktur Labortest FM2

### 8.2.4.2 Kommissionierfehler

Bei der deskriptiven Auswertung beträgt die Fehlerrate bei der Liste 1,40 % und dürfte der Praxis entsprechen, wenn berücksichtigt wird, dass in Laborversuchen die Fehlerrate doppelt so hoch ist. Die Fehlerrate bei Pick-by-Vision ohne Trackingssystem ist bei 2,23 % und mit Trackingsystem bei 2,22 %. Dies ist für den Praxiseinsatz zu hoch (siehe Abbildung 8-3).

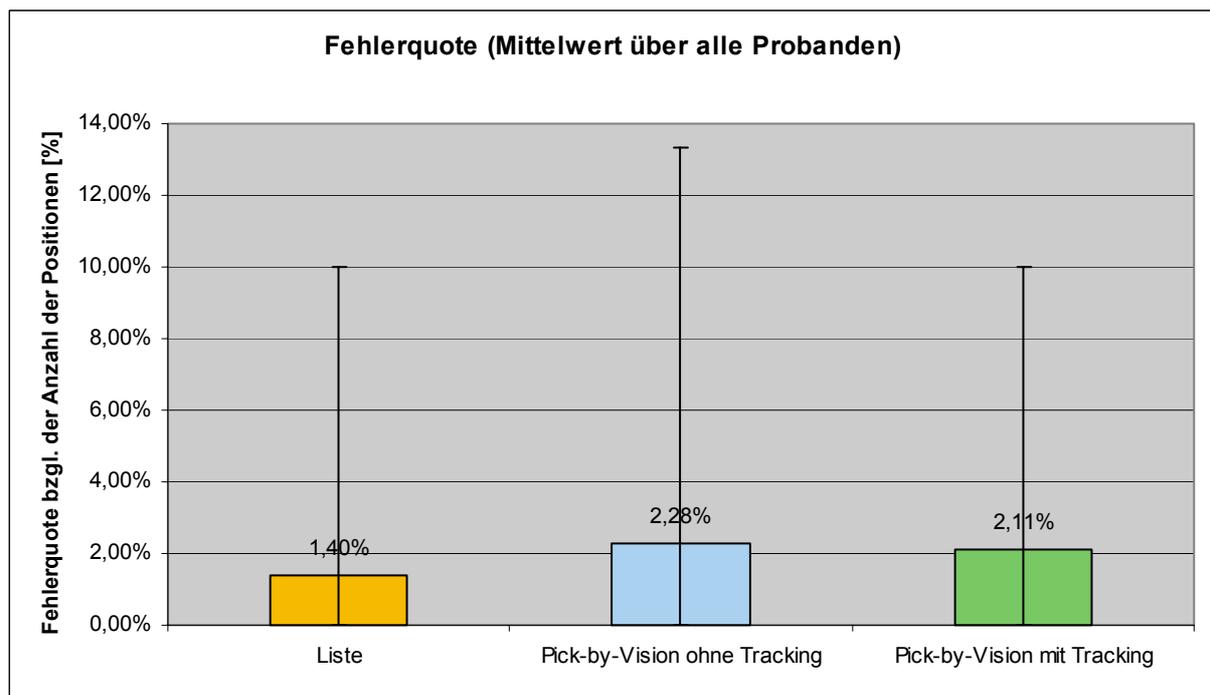
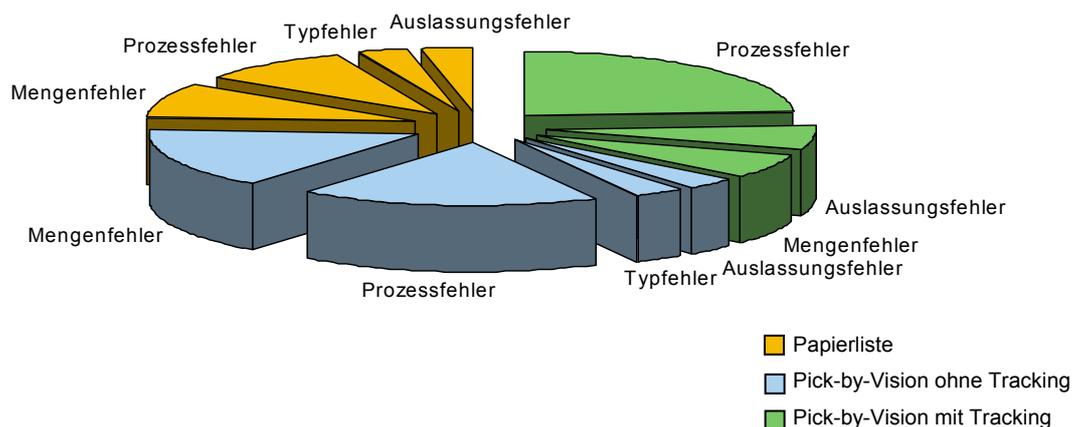


Abbildung 8-3: Fehlerquote Labortest FM2

Die Fehlerquote unterliegt bei allen drei Techniken nicht der Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test,  $\alpha = 5\%$ ). Das Vertrauensintervall für den Mittelwert der Fehlerquote ist bei der Liste zwischen 0,77 und 2,23 %, für Pick-by-Vision ohne Tracking zwischen 1,46 und 3,33 % und mit Tracking zwischen 1,30 und 3,09 % ( $\alpha = 5\%$ ). Die Probanden mit drei Kommissionierfehlern bei Pick-by-Vision mit Tracking bzw. der Liste könnten ein Ausreißer sein, werden aber weiter berücksichtigt. Bei Pick-by-

Vision ohne Tracking gibt es je einen Probanden mit vier und mit drei Fehlern sowie zwei mit zwei Fehlern. Vier von 19 Probanden begingen 85 % der Fehler. Eine Aussage zu speziellen Ausreißern ist deshalb nicht möglich. Bei den anderen beiden Techniken verteilen sich die Fehler auf mehr Probanden. Ein Friedman-Test für m verbundene Stichproben ( $\alpha = 5\%$ ) zeigt keinen signifikanten Unterschied. Die Nullhypothese  $H_{0,1}$  wird nicht verworfen.

Mit der Papierliste machten die Probanden mit acht Fehlern am wenigsten und alle Probanden erkannten den eingebauten Fehler. Es wurden ein Typ-, drei Prozess-, drei Mengen- und ein Auslassungsfehler begangen, wobei auf den ersten Auftrag nur ein Fehler entfiel. Dies ist ein großer Unterschied zu den anderen Versuchsreihen, bei denen im ersten Auftrag mit der Liste die mit Abstand meisten Fehler verursacht wurden.

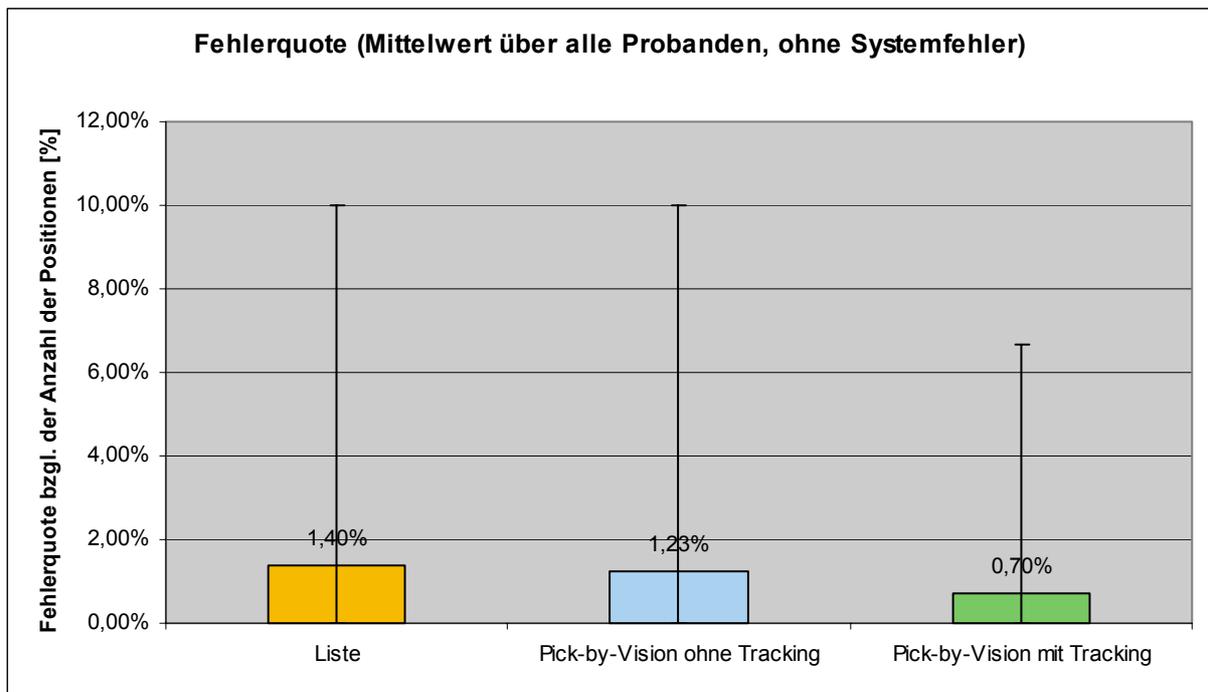


**Abbildung 8-4: Einteilung aller Kommissionierfehler nach Fehlerart beim Labortest FM2**

Bei Pick-by-Vision ohne Trackingsystem wurden 13 Fehler - sechs Auslassungs-, fünf Mengen- und ein Typfehler - begangen, sowie einmal der Fehler nicht erkannt. Bei Einsatz des Trackingsystems war die Anzahl der Fehler mit zwölf ähnlich hoch. Es handelte sich um zehn Auslassungs- und zwei Mengenfehler. Eine Zusammenfassung aller in dieser Versuchsreihe gemachten Fehler zeigt Abbildung 6-5.

Die Auslassungsfehler bei beiden Pick-by-Vision-Systemen können - bis auf zwei beim System mit Tracking - auch als Prozessfehler eingestuft werden, weil die Probanden bei der Bestätigung zu schnell oder zu lange drückten. Es war kein Mechanismus eingebaut, dies zu verhindern. Durch das akustische Feedback erkannten viele ihren Fehler, konnten aber nicht mehr zurückspringen. Dieser systematische

Fehler im System lässt sich leicht korrigieren. Damit alle Probanden die gleichen Voraussetzungen hatten, wurde die Optimierung während der Versuchsreihe nicht durchgeführt. Wird dieser Fehler herausgerechnet, ergibt sich ein anderes Bild (siehe Abbildung 8-5). Die Fehlerquoten sind aber immer noch zu hoch. Die Mengenfehler ließen sich mit einem Sprachsystem wie im FM1 mit der Ansage der Entnahmemenge zur Quittierung weiter reduzieren. Mit dem Dreh-/Drückknopf kann dies nur durch zusätzliche Interaktionen wie mehrfaches Drücken oder die Auswahl der Anzahl über ein Menü erreicht werden. Aufgrund der Probleme mit dem Dreh-/Drückknopf sollte über eine Implementierung von Spracheingabe beim FM2 generell nachgedacht werden. Die Fehlerquote läge dann bei beiden Systemen zwischen 0,3 und 0,4 %. Diese Quoten wären vor dem Hintergrund, dass es sich um einen Labortest handelt, für die Praxis geeignet.

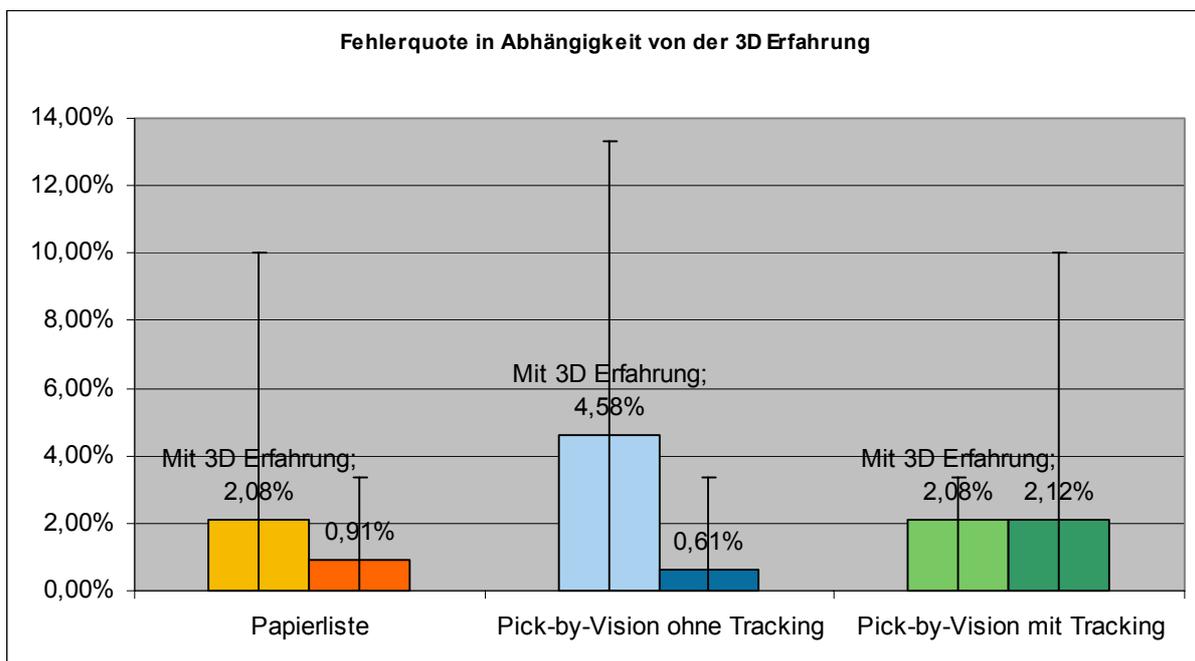


**Abbildung 8-5: Fehlerquote Labortest FM2 (ohne Systemfehler)**

### 8.2.4.3 Kommissionierfehler und 3D- bzw. Kommissioniererfahrung

Acht Probanden hatten 3D-Erfahrung im Fragebogen angegeben. Für die Papierliste spielt sie keine Rolle. Eine Prüfung auf Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test weist unüblicherweise bis auf die Stichprobe des Systems ohne Tracking und mit 3D-Erfahrung Normalverteilungen auf. Das System ohne Tracking zeigt sehr erstaunliche Werte, denn die Probanden mit 3D-Erfahrung weisen mit 4,53 %

eine um über sieben Mal höhere Fehlerquote auf als die ohne diese Erfahrung. Ein signifikanter Unterschied wird mit einem verteilungsfreien Mann-Whitney U-Test, nicht nachgewiesen ( $\alpha = 5\%$ ). Der Unterschied ist dadurch zu erklären, dass zwei Probanden mit sieben von insgesamt 13 Fehlern, 3D-Erfahrung haben und das Ergebnis verfälschen. Beim System mit Tracking unterscheiden sich die Mittelwerte kaum, was ein t-Test bestätigt ( $\alpha = 5\%$ ), wohingegen die Varianz der unerfahrenen vier Mal höher ist als die der Erfahrenen. Ein F-Test weist den Unterschied nach ( $\alpha = 5\%$ ). Abbildung 8-6 zeigt die Übersicht.  $H_{0,2a}$  wird im Gegensatz zu  $H_{0,2b}$  nicht verworfen.

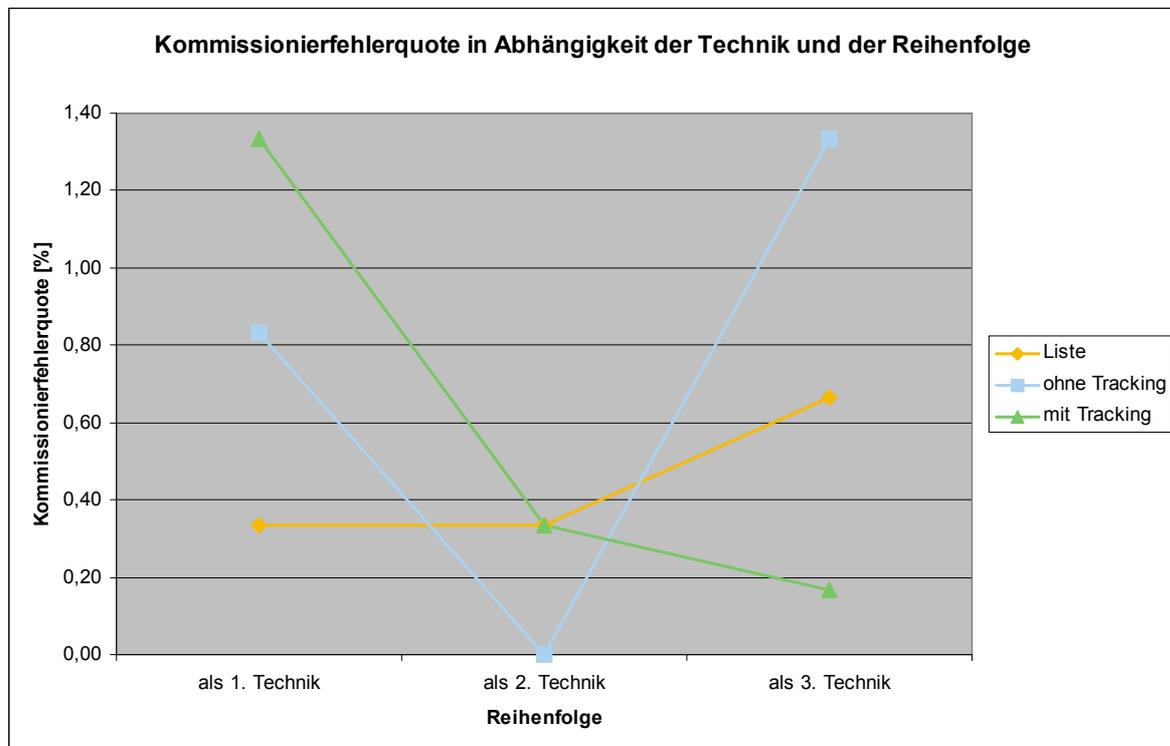


**Abbildung 8-6: Fehlerquote hinsichtlich 3D-Erfahrung der Probanden**

Als zweiter Einflussfaktor gilt es die Kommissioniererfahrung zu untersuchen, die neun Probanden aufwiesen. Bei der Papierliste ist die Stichprobe mit Kommissioniererfahrung normalverteilt und die ohne nicht (Kolmogorov-Smirnov-Test,  $\alpha = 5\%$ ). Ein verteilungsfreier Mann-Whitney U-Test ( $\alpha = 5\%$ ) zeigt keinen Unterschied auf. Beim System ohne Tracking sind beide Stichproben nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov-Test,  $\alpha = 5\%$ ), wobei ein Mann-Whitney U-Test keine Signifikanz aufweist. Beim System mit Tracking sind beide Stichproben normalverteilt. Ein t-Test zeigt keinen Unterschied der Mittelwerte ( $\alpha = 5\%$ ) und ein F-Test keinen bei den Varianzen ( $\alpha = 5\%$ ) auf. Die Differenzen sind auf den ersten Blick sowohl bei den Mittelwerten als auch bei den Varianzen erkennbar. Diese werden aber durch einzelne Probanden hervorgerufen, so dass kein signifikanter Unterschied nachgewiesen wird.

und die Nullhypothesen  $H_{0,3a}$ ,  $H_{0,3b}$  und  $H_{0,3c}$  werden nicht verworfen. Die Kommissioniererfahrung hat somit keinen Einfluss auf die Kommissionierfehler.

#### 8.2.4.4 Kommissionierfehler und Lerneffekte



**Abbildung 8-7: Anzahl Kommissionierfehler in Abhängigkeit der Technik und der Reihenfolge beim Labortest zu FM2**

Die Abhängigkeit von der Reihenfolge, in der die Probanden die Techniken ausprobierten, gilt es genauer zu untersuchen. Die Fehlerquoten unterliegen nicht der Normalverteilung, so dass der Zusammenhang graphisch ermittelt wird (siehe Abbildung 6-6). Bei der Untersuchung der Lerneffekte ist bei der Papierliste im Gegensatz zu den anderen Versuchsreihen nicht zu erkennen, dass zu Beginn die meisten Fehler gemacht werden. Die Fehlerquote steigt sogar leicht an, je später der Proband mit der Papierliste gearbeitet hat. Bei Pick-by-Vision ohne Tracking geht die Fehlerrate vom niedrigen Niveau beim ersten Durchgang sogar auf Null zurück, wenn die Technik als zweites getestet wurde, steigt aber dann sehr stark an, wenn dies der dritte Durchgang für die Probanden war, wie z. B. beim Probanden mit vier Fehlern. Die steigenden Fehlerquoten zum Ende der gesamten Versuchsreihe kann mit der Ermüdung oder auch der Langeweile der Probanden begründet werden. Bei Pick-by-Vision mit Tracking war die Fehlerrate am höchsten, wenn die Probanden mit dieser

Technik begannen. Sie mussten sich mit dieser Technik und mit dem Prozess zurechtfinden. Je später der Proband damit arbeitete, desto besser war er. Selbst bei steigender Müdigkeit oder bei Langeweile war die Führung des Greifvorgangs noch so gut, dass wenige Fehler gemacht wurden. Die Nullhypothesen  $H_{0,4a}$ ,  $H_{0,4b}$  und  $H_{0,4c}$  können vermutlich nicht verworfen werden.

Werden die systematischen Fehler nicht betrachtet, zeigt sich das gleiche Bild, d. h. die Auslassungsfehler aufgrund der zulangen Quittierung verteilen sich auf alle Versuchsreihen, unabhängig von der Versuchsdauer bzw. der Reihenfolge der Techniken.

#### 8.2.4.5 Zusammenfassung der Auswertung der Kommissionierfehler

Die Fehlerquoten unterscheiden sich geringfügig, aber nicht signifikant. Bei der Papierliste wurden geringfügig weniger Fehler gemacht, wobei bei den beiden Pick-by-Vision-Technologien ein Großteil der Fehler auf einen Systemfehler bei der Quittierung zurückzuführen ist, weil durch zu langes Drücken des Dreh-/Drückknopfes eine Position ungewollt übersprungen wurde. Werden diese Fehler herausgerechnet, schneiden die beiden Datenbrillen-Techniken etwas besser ab als die Liste. Ein signifikanter Unterschied ist weiterhin nicht festzustellen. Bei den beiden Pick-by-Vision-Technologien sind die Fehlerquoten nahezu identisch. Dies spricht für die Variante ohne Trackingsystem. Allerdings ist zu erkennen, dass nur beim System ohne Tracking die Anzahl der Fehler mit laufender Versuchsdauer (v. a. als dritte Versuchsreihe für den Probanden) und somit steigender Müdigkeit und Langeweile zurückgingen. Dies liegt vermutlich daran, dass der Proband mit der optischen Führung zum Lagerfach kaum mehr denken und suchen muss. Der in Textform vorgegebene Lagerplatz muss nicht mehr in die reale Lagerplatzanordnung umgerechnet werden. Es werden nur noch Mengenfehler begangen. Tabelle 6-10 fasst die Ergebnisse zusammen. Die 3D-Erfahrung hat einen positiven Einfluss auf das System mit Tracking.

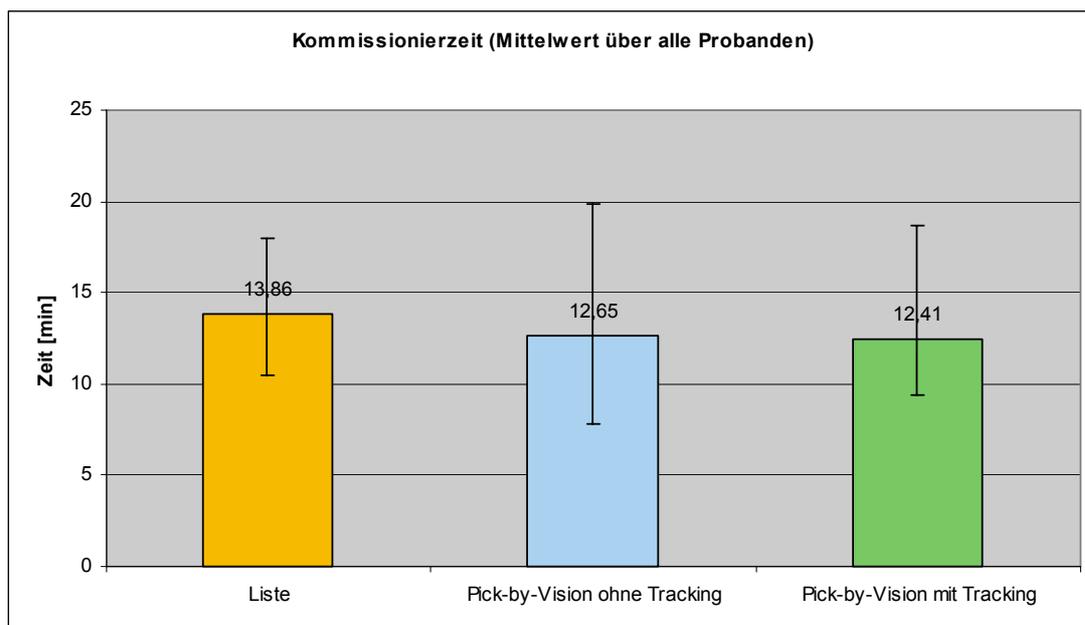
	Papierliste	Pick-by-Vision ohne Tracking	Pick-by-Vision mit Tracking
durchschnittliche Anzahl	0,42	0,68 (0,37)	0,63 (0,21)
Fehler insgesamt	8	13 (7)	12 (4)
durchschnittliche Fehlerquote [%]	1,40	2,23 (1,23)	2,11 (0,70)
Median	0	0	0
Minimum	0	0	0
Maximum	3	4 (3)	3 (2)
Varianz	0,59	1,45 (0,58)	0,69 (0,29)

	Papierliste	Pick-by-Vision ohne Tracking	Pick-by-Vision mit Tracking
Standardabweichung	0,77	1,20 (0,76)	0,83 (0,54)
Vertrauensintervall für den Mittelwert [%] ( $\alpha = 5\%$ )	0,77 - 2,23	1,46 - 3,33	1,30 - 3,09
Normalverteilung ( $\alpha = 5\%$ )	nein	nein	nein
Ausreißer ( $\alpha = 5\%$ )	nicht möglich, keine Normalverteilung		
Signifikanztest Mittelwerte mit Friedman-Test ( $\alpha = 1\%$ )	kein Signifikanter Unterschied zwischen den drei Techniken		
Einfluss 3D-Erfahrung (Mittelwerte)	-	nicht signifikant	nicht signifikant
Einfluss 3D-Erfahrung (Varianz)	-	-	signifikant zugunsten 3D-Erfahrung
Einfluss der Kommissioniererfahrung	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte und Varianzen (soweit möglich) (zu wenige Fehler)		
Einfluss Reihenfolge, grafische Auswertung	kein Einfluss	kein Einfluss	fällt zum Ende hin

**Tabelle 8-3: Zusammenfassung der Auswertung für die Kommissionierfehler (Systemfehler ist bei Werten in Klammer herausgerechnet)**

#### 8.2.4.6 Kommissionierleistung

Die Mittelwerte der beiden Verfahren mit Datenbrille sind nahezu gleich (siehe Abbildung 8-8). Mit Tracking ist das System um 0,24 min (1,9 %) schneller. Die Papierliste war um 1,45 min (10,5 %) bzw. 1,21 min (8,7 %) langsamer. Die schnellste und auch die langsamste Zeit wurden mit der Datenbrille ohne Tracking erreicht (7,77 min und 19,82 min), wobei der Unterschied 260 % beträgt und deswegen auch eine hohe Varianz im Vergleich zu den anderen beiden Techniken entsteht. Die Varianz ist bei der Papierliste und dem System mit Tracking nahezu gleich.



**Abbildung 8-8: Vergleich der Mittelwerte der Kommissionierzeiten im Labortest FM2**

Der Kolmogorov-Smirnov-Test ( $\alpha = 5\%$ ) zeigt, dass alle drei Stichproben normalverteilt sind. Nach dem Ausreißertest nach Grubbs ( $\alpha = 5\%$ ) muss ein Proband bei Pick-by-Vision mit Tracking genauer betrachtet werden. Da es sich bei der grafischen Auswertung um einen grenzwertigen Fall handelt, wird er nicht als Ausreißer behandelt. Die Mittelwerte der Kommissionierzeiten bewegen sich in folgenden Vertrauensintervallen ( $\alpha = 5\%$ ): Liste von 12,79 bis 14,94 min, Pick-by-Vision ohne Tracking von 11,15 bis 14,16 min und Pick-by-Vision mit Tracking von 11,28 bis 13,53 min. Die Untersuchung der Mittelwerte auf Signifikanz wird mit einer einfaktoriellem Varianzanalyse durchgeführt. Der Faktor, der variiert wird, ist die Kommissioniertechnologie. Über alle Probanden beträgt der kritische F-Wert 3,15 ( $\alpha = 5\%$ ) und ist somit höher als der empirische Wert von 1,77 (siehe Tabelle 8-4). Es wird kein Unterschied festgestellt und  $H_{0,5}$  nicht verworfen.

	Quadratsumme	Freiheitsgrade df	Varianz $\sigma^2$	Empirischer F-Wert
Treatment	23,13	2	11,57	1,77
Fehler	352,90	54	6,54	
Total	-376,03	56	-6,71	kritischer F-Wert ca. 3,15

Tabelle 8-4: Varianzanalyse zu den Kommissionierzeiten beim Labortest zu FM2

#### 8.2.4.7 Kommissionierzeit und 3D- bzw. Kommissioniererfahrung

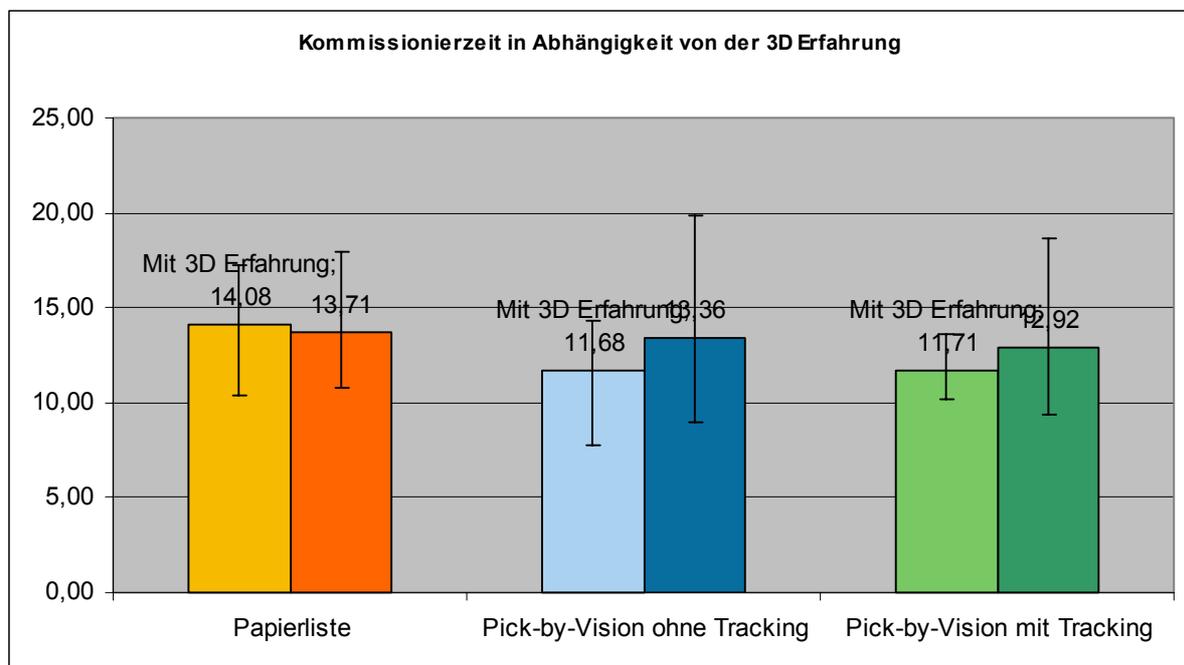
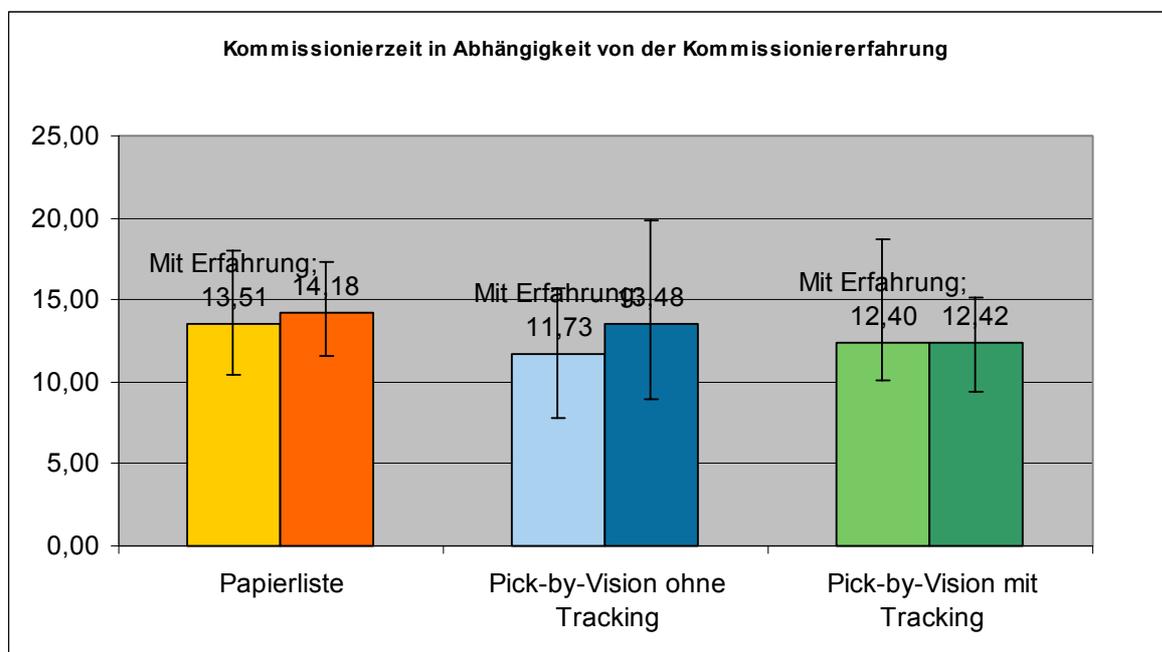


Abbildung 8-9: Kommissionierzeit in Abhängigkeit der 3D-Erfahrung beim Labortest zu FM2

Bei den acht Probanden mit 3D-Erfahrung zeigt sich bei den beiden Pick-by-Vision-Systemen die gleiche Tendenz. Sie waren schneller als die Probanden ohne diese Erfahrung und die Streuung ist geringer (siehe Abbildung 8-9). Bei der Liste sind die Mittelwerte und die Streuung ähnlich, aber diese Betrachtung ist uninteressant. Der Unterschied der Mittelwerte ist nicht unerheblich (ohne Tracking: 13 %, mit Tracking: 9 %), aber ein t-Test ( $\alpha = 5\%$ ) zeigt keine Unterschiede auf. Da es sich jeweils um zwei Teilmengen aus einer Stichprobe handelt, sind dies unabhängige Stichproben und der F-Test ( $\alpha = 5\%$ ) zur Prüfung der Varianzen kann angewandt werden. Es zeigt sich, dass der Unterschied beim System mit Tracking signifikant ist, während dies beim System ohne Tracking nicht ist.  $H_{0,6a}$  wird im Gegensatz zu  $H_{0,6b}$  nicht verworfen.



**Abbildung 8-10: Kommissionierzeit in Abhängigkeit der Kommissioniererfahrung beim Labor-test zu FM2**

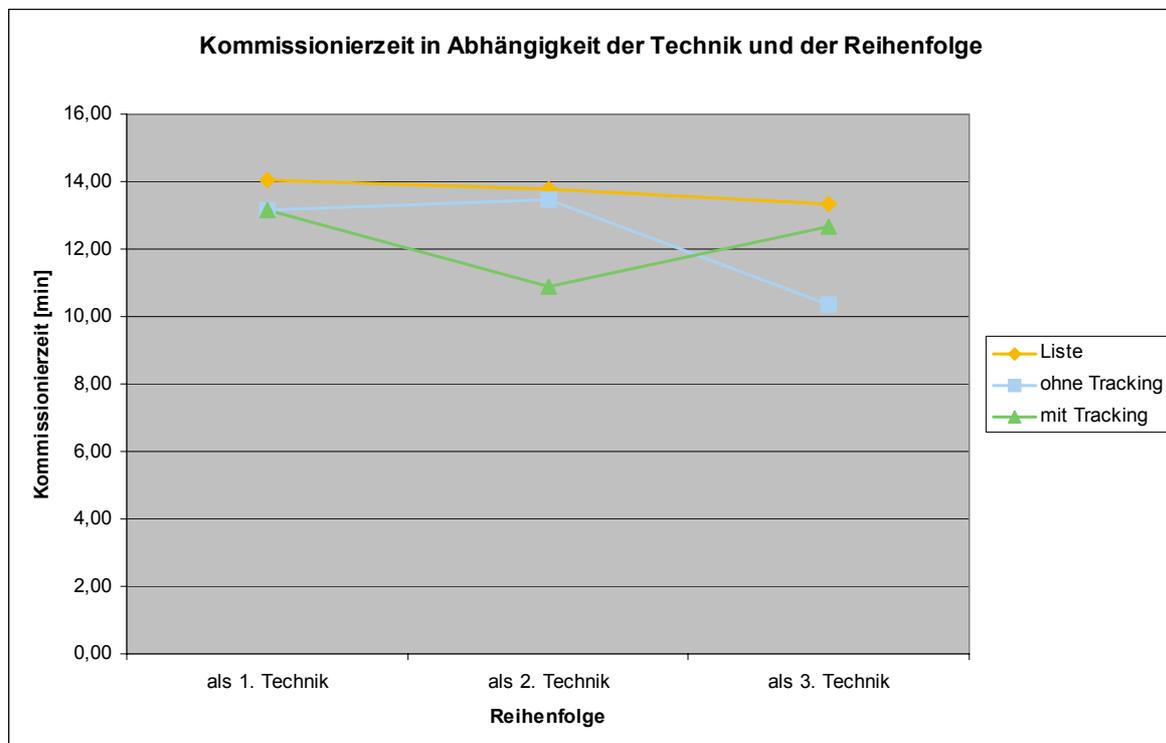
Bei den neun Probanden mit Kommissioniererfahrung ist das Bild ähnlich (siehe Abbildung 8-10). Bei der Kommissionierliste waren die erfahrenen Probanden 5 %, beim System ohne Tracking um 13 % schneller, während beim Einsatz von Tracking kein Unterschied erkennbar ist. Ein t-Test ( $\alpha = 5\%$ ) zeigt keine Unterschiede der Mittelwerte und ein F-Test ( $\alpha = 5\%$ ) keine Unterschiede der Varianz auf.  $H_{0,7a}$ ,  $H_{0,7b}$  und  $H_{0,7c}$  werden nicht verworfen.

### 8.2.4.8 Kommissionierzeit und Lerneffekte

Auffallend ist, dass die beiden Techniken mit der Datenbrille bereits ab dem ersten Auftrag etwas schneller sind als die Papierliste (ca. 0,1 min). Der Login-Dialog ist in FM2 im Vergleich zu FM1 kürzer, so dass dieser keine Auswirkungen auf den ersten Auftrag hat. Interessanter ist die Untersuchung, ob sich die Reihenfolge, in der die Probanden die Techniken ausprobiert haben, auf die Kommissionierzeit auswirkt. Da es sich um 19 Probanden handelt, wurde nicht jede Technik sechsmal als erster, zweiter und dritter Durchgang evaluiert. Da die Auswertung mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse erfolgt, wird ein zufällig ausgewählter Proband mit der siebenmal getesteten Reihenfolge oTr-mTr-L gestrichen. Der eine Faktor ist die Variable Technik und der zweite Faktor ist die Variable Reihenfolge. Alle überprüften Abhängigkeiten sind nicht signifikant (siehe Tabelle 8-5).

	Quadratsumme	Freiheitsgrade df	Varianz $\sigma^2$	Empirischer F-Wert
Technik	24,98	2	12,49	2,25
Reihenfolge	15,95	2	7,98	1,44
Interaktion	37,87	4	9,47	1,71
Fehler	249,57	45	5,55	
Total	328,37	53		kritischer F-Wert ca. 4,05

**Tabelle 8-5: Varianzanalyse zur Abhängigkeit der Kommissionierzeit von der Reihenfolge der Technik beim Labortest zum FM2**



**Abbildung 8-11: Kommissionierzeit in Abhängigkeit von der Technik und der Reihenfolge**

Die Kommissionierzeit hängt nicht von der Reihenfolge ab, in der die Probanden die Techniken testeten. Dies ist auch in Abbildung 8-11 zu erkennen. Nur bei der Papierliste ist ein Sinken der Kommissionierzeit in Abhängigkeit von der Testreihenfolge zu beobachten. Beim Einsatz des Trackingsystems fällt die Kommissionierzeit erwartungsgemäß vom ersten zum zweiten Testlauf stark ab, steigt aber zum dritten Testlauf wieder auf das Niveau vom ersten Testlauf an. Bei Pick-by-Vision ohne Tracking ist der Effekt umgekehrt. Vom ersten Testlauf zum zweiten steigt sie an und fällt dann zum dritten Testlauf auf den niedrigsten Stand aller Durchschnittszeiten in Abhängigkeit der Reihenfolge. Die Nullhypothesen  $H_{0, 8a}$ ,  $H_{0, 8b}$  und  $H_{0, 8c}$  können vermutlich nicht verworfen werden.

#### 8.2.4.9 Zusammenfassung der Auswertung der Kommissionierleistung

Beide Pick-by-Vision-System schneiden besser ab als die Papierliste, allerdings ohne einen signifikanten Unterschied. Das System mit Tracking ist minimal schneller als das ohne. Interessant ist, dass Probanden mit 3D-Erfahrung beim System mit Tracking signifikant schneller sind. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt Tabelle 8-6.

	Papierliste	Pick-by-Vision ohne Tracking	Pick-by-Vision mit Tracking
Durchschnitt [min]	13,86	12,65	12,41
Kommissionierleistung [Pos/h]	129,83	140,94	145,08
Median [min]	14,20	12,09	11,85
Minimum [min]	10,43	7,77	9,40
Maximum [min]	17,98	19,82	18,65
Varianz	4,84	9,49	5,27
Standardabweichung	2,20	3,08	2,30
Vertrauensintervall für den Mittelwert [min] ( $\alpha = 5\%$ )	12,79 - 14,94	11,15 - 14,16	11,28 - 13,53
Normalverteilung ( $\alpha = 5\%$ )	ja	ja	ja
Ausreißer ( $\alpha = 5\%$ )	0	0	0
Signifikanztest Mittelwerte (einfaktorielle Varianzanalyse) ( $\alpha = 5\%$ )	keine Signifikanz		
Differenz zwischen schnellsten und langsamsten Probanden [min]	7,5 (42%)	12 (61%)	9,5 (50%)
Einfluss 3D-Erfahrung ( $\alpha = 5\%$ )	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte		
Einfluss 3D-Erfahrung (Varianz) ( $\alpha = 5\%$ )	-	kein Unterschied	signifikanter Unterschied
Einfluss der Kommissioniererfahrung	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte		
Einfluss Reihenfolge (zweifaktorielle Varianzanalyse, $\alpha = 5\%$ )	kein ersichtlicher Einfluss bei Vergleich der Mittelwerte		

Tabelle 8-6: Zusammenfassung der Einflüsse auf die Kommissionierzeit beim Labortest zu FM2

### 8.2.4.10 Subjektive Beanspruchungskriterien

Der Nasa TLX Test soll zeigen, ob die Probanden eine unterschiedliche mentale Beanspruchung mit den Techniken hatten. Dazu wird für jede Technik und jeden Probanden der Mittelwert aus den sechs Kriterien gebildet. Die drei Datenreihen für die Techniken sind allesamt normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov-Test,  $\alpha = 5\%$ ). Eine einfaktorielle Varianzanalyse wird als Signifikanztest benutzt ( $\alpha = 5\%$ ). Es zeigt sich kein Unterschied bei der mentalen Belastung (siehe Tabelle 8-7). Abbildung 8-12 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

	Quadratsumme	Freiheitsgrade df	Varianz $\sigma^2$	Empirischer F-Wert
Treatment	79,63	2	39,81	0,15
Fehler	14111,84	54	261,33	
Total	14191,47	56	253,42	kritischer F-Wert ca. 3,17

Tabelle 8-7: Varianzanalyse zur mentalen Belastung der Techniken beim Labortest zu FM2

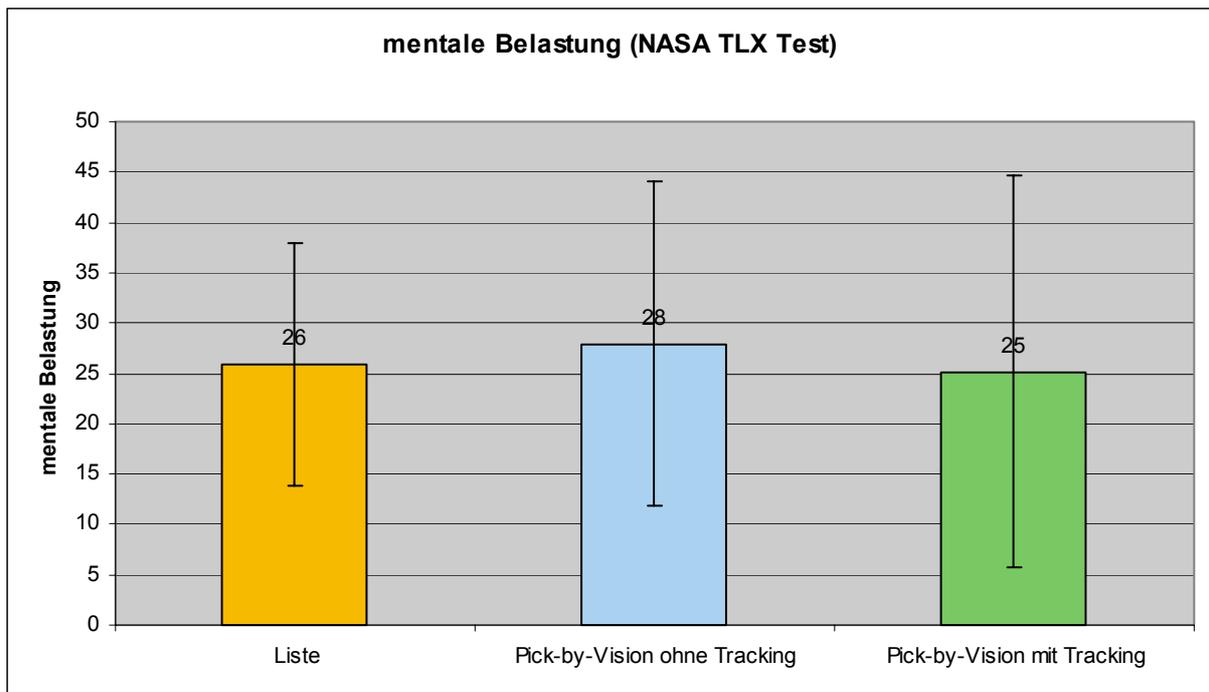


Abbildung 8-12: mentale Belastung durch die Techniken (Mittelwerte mit Standardabweichung)

### Offene Fragen

Nur zwei Probanden empfanden das Tragen des Rechners als störend, die Bedienung mit dem Dreh-/Drückknopf drei. Drei Probanden vermissten bei der Interaktion die fehlende „Zurück“-Funktion. Dies waren wohl Probanden, die das Überspringen der Position bemerkten und nicht mehr korrigieren konnten. Bei Pick-by-Vision ohne Tracking wurde am meisten Kritik geübt. Sechs Probanden fanden das Fokussieren

auf die Artikelnummer schwierig. Dies lag daran, dass diese zu weit oben und in einer zu kleinen Schrift angezeigt wurde, was ebenfalls sechs Probanden bemängelten. Diese schlechte Lesbarkeit dürfte auch ein Grund für die im Vergleich zu FM1 hohe Fehlerrate des Systems sein. Da in der Mitte des FoVD viel Platz ist, könnte die Positionsinformation dort stehen oder eine Liste angezeigt werden. Bei dem System mit Tracking gaben nur drei Probanden an, dass die Suche mit dem Kanal gewöhnungsbedürftig ist und lange dauert. Ebenso viele Probanden gaben an, die Lagerfächer durch den Tunnel leichter gefunden zu haben. Der Tragekomfort des Systemträgers wurde von mehreren Probanden bemängelt. Vier Probanden gaben an, dass die Augen am Anfang tränten und es für sie eine Anstrengung war. Als Vorteil gegenüber der Liste wurde von vier Probanden angegeben, dass die Hände frei waren. Nur ein Proband würde sich wünsche die Entnahmemenge zu bestätigen und ein weiterer würde ein festes Einrasten beim Dreh-/Drückknopf bevorzugen, so dass dieser sich nicht so leicht verstellen kann.

### 8.2.5 Kernaussagen zum Labortest mit dem Funktionsmuster 2

Die Probanden begingen mit der Papierliste weniger Fehler als mit beiden Pick-by-Vision-Systemen, die in etwa die gleiche Fehlerquote aufweisen. Die Werte sind zu hoch für eine Praxistauglichkeit, wobei bei beiden Pick-by-Vision-Systemen viele Fehler auf einen Systemfehler zurückzuführen sind. Ohne diese Systemfehler ist der Unterschied weiterhin nicht signifikant. Im Gegensatz zu den Versuchen mit dem FM1 traten wegen der fehlenden Bestätigung der Anzahl der entnommenen Artikel Mengenfehler auf. Mit Ausnahme eines Probanden beim System ohne Tracking wurden alle eingebauten Fehler erkannt. Beim System ohne Tracking wurden 85 % der Fehler von vier Probanden begangen, deren Zeiten aber um den Mittelwert lagen. Die Fehlerquote geht bei Pick-by-Vision mit Tracking zurück, je länger die Versuchsreihe dauert, weil der Tunnel weniger Aufmerksamkeit als das Ablesen der Daten benötigt.

- keine signifikanten Unterschiede bei der Kommissionierfehlerquote =>  $H_{0,1}$  wird nicht verworfen.
- kein Einfluss der 3D-Erfahrung beim System ohne Tracking =>  $H_{0,2a}$  wird nicht verworfen.

- positiver Effekt auf die Fehleranzahl durch vorhandene 3D-Erfahrung beim System mit Tracking =>  $H_{0,2b}$  wird verworfen.
- vermutlich kein Einfluss von Lerneffekten:  $H_{0,4a}$ ,  $H_{0,4b}$  und  $H_{0,4c}$  können vermutlich nicht verworfen werden.

Beide Pick-by-Vision-Technologien weisen in etwa die gleiche Kommissionierzeit auf, sind aber etwas schneller als die Papierliste. Die Liste konnte nicht auf dem Kommissionierwagen abgelegt werden, so dass erhebliche Handhabungsvorgänge nötig waren. Dies spricht für die Systeme mit Datenbrille, wenn sie von Anfang an schneller sind als eine intuitive Papierliste. Ein Zeitvorteil durch den Einsatz eines Tracking-systems ist nicht erkennbar. Die Verteilung beim Einsatz des Trackingsystems weist eine Schiefe auf, weil 12 der 19 Probanden schneller als der Mittelwert waren, d. h. ein Großteil konnte auf Anhieb gut mit dem System umgehen. Vor allem beim System ohne Tracking war eine sehr hohe Streuung zu erkennen, wobei die langsamen Probanden vor allem Probleme mit der Lesbarkeit der Daten hatten. Auffallend war, dass die Probanden aus der Praxis zu den langsameren gehörten, was damit zu erklären ist, dass sie mit dem Arbeitstempo und der Sorgfalt arbeiteten wie sie es normal im täglichen Betrieb über acht Stunden auch tun.

- keine signifikanten Unterschiede der Kommissionierzeiten =>  $H_{0,5}$  wird nicht verworfen.
- kein Einfluss der 3D-Erfahrung ohne den Einsatz von Tracking =>  $H_{0,6a}$  wird verworfen.
- positiver Einfluss der 3D-Erfahrung beim Einsatz von Tracking =>  $H_{0,6b}$  wird nicht verworfen.
- vermutlich kein Einfluss von Lerneffekten =>  $H_{0,8a}$ ,  $H_{0,8b}$  und  $H_{0,8c}$  können vermutlich nicht verworfen werden.

Die mentale Belastung geht nach dem ersten Durchgang zurück und steigt gegen Ende wieder an. Nur beim System ohne Tracking fällt sie auch am Ende.

- keine Unterschiede bei der mentalen Belastung zwischen Techniken =>  $H_{0,9}$  wird nicht verworfen.

## 9 Zusammenfassung und Fazit

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines praxistauglichen Konzepts zur Leistungs- und Qualitätssteigerung in der manuellen Kommissionierung mittels einer Datenbrille. Das auf mobiler, visueller Informationsbereitstellung basierende Kommissioniersystem soll einige Anforderungen erfüllen, die in Tabelle 9-1 den Ergebnissen gegenübergestellt sind.

Ziel	Ergebnis	
intuitives und freihändiges Arbeiten des Kommissionierers	durch Spracheingabe oder etwas eingeschränkt durch einen Dreh-/Drückknopf möglich	✓
Anpassung an den Benutzer bezüglich ergonomischer und arbeitswissenschaftlicher Aspekte	soweit es die vorhandene Hardware zulässt (die Hardware muss sich aber noch weiterentwickeln)	○
Erfüllung arbeitsphysiologische Anforderungen bezüglich der visuellen Informationsaufnahme, um eine beschwerdefreie Anwendung zu garantieren	die Datenbrille ist aus arbeitsphysiologischer Sicht unbedenklich	✓
sequenzfreie Kommissionierung	sequenzfreie Kommissionierung	✓
Unterstützung bei der Findung des Weges zum Entnahme- bzw. Abgabeort	eine visuell unterstützte Wegfindung innerhalb einer Lagergasse ist möglich, wird für das Auffinden der Gasse nicht gebraucht	✓
auf verschiedene Einsatzfälle anpassbarer Funktionsumfang	Visualisierung kann angepasst werden, Einsatz verschiedener Trackingsysteme und Interaktionsgeräte möglich	✓
Bereichswechsel zwischen Langsam- und Schnellläuferzonen	sowohl in Langsam- wie Schnellläuferzonen einsetzbar	✓
mit anderen (automatisierten) Kommissioniersystemen kombinierbar	ist mit anderen Systemen kombinierbar	✓
einfache Kommunikationsschnittstelle, z. B. ein Spracherkennungssystem, zur Dateneingabe durch den Kommissionierer	Im FM1 erfolgt die Eingabe mit wenigen Sprachbefehlen und im FM2 mit einem intuitiv bedienbaren Dreh-/Drückknopf.	✓
online-Datenaustausch WMS	im FM1 umgesetzt, in FM2 über standardisiertes xml-Dateiformat möglich	✓
leicht und schnell erlernbar	In allen Versuchsreihen zeigten sich steile Lernkurven.	✓
Anforderungen an industriellen Einsatz genügen	vor allem die verfügbare Hardware hat noch Verbesserungspotenzial; außerdem fehlen Langzeiterfahrungen zum HMD-Einsatz	○

**Tabelle 9-1: Gegenüberstellung der Ziele des Forschungsantrages und der Ergebnisse**

Der wissenschaftlich-technische Nutzen ist darin begründet, dass zum ersten Mal die Kommissionierung systematisch als Einsatzfeld der AR-Technologie untersucht wurde. Es erfolgte eine Betrachtung der Möglichkeiten, aber auch der Restriktionen des Einsatzes dieser Technik. Pick-by-Vision lässt sich vielfältig in der manuellen Kommissionierung einsetzen. Sei es in einem konventionellen MzW-System, der Kommissionierung entlang einer Regalzeile oder an einem stationären Kommissionierar-

beitsplatz. Neben den Einsatzbereichen wurden auch Untersuchungen zu technischen Fragestellungen wie der Auswahl der Hardware oder die Entwicklung der Benutzeroberfläche und des Interaktionskonzepts durchgeführt. Das System kann statische, aber auch dynamische Informationen wie die Hervorhebung des Entnahme- oder Ablageplatzes darstellen. Es erfolgte die Entwicklung neuer Ansätze wie z. B. der Einsatz eines virtuellen Tunnels zur Blickführung. Die durchgeführten Versuchsreihen hatten Kurzzeitcharakter, denn die Datenbrille wurde nie länger als eine Stunde von einem Probanden getragen, so dass keine Aussagen zu einer Langzeitwirkung auf die Ergonomie und die Arbeitsphysiologie getroffen werden können. Die Probanden gingen mit dem HMD motiviert und begeistert zu Werke. Durch die Versuchsreihen, Präsentationen bei Industriepartnern und durch Messeauftritte wurde das System einem breiten fachkundigen Publikum vorgestellt und überwiegend positiv bewertet. Das eingesetzte System entsprach noch nicht allen Anforderungen aus dem industriellen Umfeld und lässt sich weiterentwickeln. Beispielsweise kann die Sprachinteraktion beim FM1 weiter verbessert und auch beim FM2 eingeführt werden.

Der wirtschaftliche Nutzen lässt sich nicht direkt quantifizieren. Dies liegt zum einen daran, dass die Wirtschaftlichkeit von Kommissioniersystemen für jeden Einsatzfall speziell betrachtet werden muss und zum anderen daran, dass für die AR-Technologie noch kein Massenmarkt vorhanden ist. Für nahezu jedes Kommissioniersystem muss eine eigene Planung durchgeführt werden, weil eine Anpassung an die Anforderungen wie das Sortiment, die Auftragsstruktur, die zu erbringende Leistung etc. erfolgen muss. Deswegen kann eine generelle Aussage, dass Pick-by-Vision besser als andere Kommissioniertechnologien ist, nicht getroffen werden. Die erzielte Fehlerquote oder Kommissionierleistung beziehen sich auf kurzzeitige Versuchsreihen mit unerfahrenen Probanden in einem kleinen Versuchsaufbau. Die gezielte Führung durch das System bedingte eine steile Lernkurve, so dass die Benutzer bereits nach einer kurzen Einarbeitungszeit sehr gute Leistungen erbrachten. Die praxisnahe Versuchsreihe in einem etwas größeren Lagerbereich zeigte aber bereits sehr realistische Ergebnisse mit einer ohne zusätzliche Hilfsmittel erreichten, niedrigen Fehlerquote (1 Fehler bei 832 Positionen). Nicht die Steigerung der Kommissionierleistung, sondern die Reduzierung der Fehlerquote ist das entscheidende Merkmal für die Unternehmen. Fehlerkosten lassen sich zwar pauschal nicht quantifizieren, denn sie hängen von vielen Faktoren ab, wie dem Entdeckungsort, dem Wert

des Artikels oder den mit dem Kunden vereinbarten Vertragsstrafen. Jedoch ist jede Informationsbereitstellungstechnologie, die die Fehlerzahl reduziert, ohne dass weitere Technologien speziell zur Fehlervermeidung integriert werden müssen, vorteilhaft.

Es ist auch zu beachten, dass diese Ergebnisse mit einem sich in der Entwicklung befindlichen System erzielt wurden. Beim FM1 zeigte sich zwischen dem Vortest und den Laborversuchen, welche Leistungssteigerungen durch eine Optimierung des UI möglich sind. In der Benutzerschnittstelle liegen ebenso weitere Verbesserungspotenziale wie in der Hardware. Die am Markt erhältliche Hardware ist aus Sicht der Kommissionierung technisch verbesserungswürdig und zu teuer. Ein Ergebnis der Untersuchungen ist, dass der Einsatz eines Trackingsystems zur Hervorhebung des Lagerplatzes dazu führt, dass der Benutzer weniger mitdenken muss und weniger Fehler begeht. Die Fehlerquote ist aber nicht um soviel niedriger wie ohne Trackingsystem, so dass auf diese Komponenten im derzeitigen Entwicklungsstand verzichtet werden kann. Die Kosten und die Komplexität reduzieren sich. Die monokulare Datenbrille Microvision Nomad ist das derzeit Beste, was der Markt für diesen Anwendungsfall bereitstellt, denn sie wird nicht mehr produziert. Es gibt viele Ansätze in der Entwicklung der Datenbrillen, aber es besteht noch weiterer Forschungsbedarf. Die hohe Komplexität verursacht hohe Entwicklungskosten. Diese Kosten sowie der noch nicht vorhandene Massenmarkt begründen den hohen Anschaffungspreis. Aber AR findet immer mehr Einsatzfelder und das nicht nur im Forschungsbereich, sondern auch im wichtigen Konsumentenmarkt. Sony brachte mit Eye of Judgement das erste AR-Spiel auf den Markt, die Nintendo Wii setzt IR-Tracking ein und Datenbrillen werden als mobiles Visualisierungsmedium benutzt. Mit der weiteren Verbreitung von Datenbrillen steigen auch deren Bekanntheitsgrad und die Akzeptanz in der Gesellschaft. Diese Entwicklungen treiben die AR-Technologie voran. Wenn die Kosten für Datenbrillen und das Trackingsystem sinken und deren Leistungsfähigkeit steigt, werden sie für die Kommissionierung noch interessanter. Dieses Forschungsvorhaben hat gezeigt, dass Pick-by-Vision eine zukunftsfähige Technik ist und bei zu erwartendem weiteren Fortschritt in der Hardwaretechnologie eine neue Dimension in der Informationsbereitstellung in der Kommissionierung darstellt.

**Das Forschungsziel wurde damit erreicht.**

## Veröffentlichungen

Günthner W. A., Alt T., Reif R., Schedlbauer M.:

Er kam, sah und pickte.

Logistik Heute, Ausgabe 3/2006, S. 54.

Alt, T.; Reif, R.:

Augmented Reality in der Intralogistik.

Vortrag auf dem Forum "Was Hochschulen Leisten - innovative Konzepte in der Lagertechnik" auf der Fachmesse LogiMAT 2006, Stuttgart, 30.03.2006.

Voss, V.:

Memory fürs Lager.

Industriemagazin, Ausgabe 5/2006, S. 72.

Reif, R.; Walch, D.; Wulz, J.:

Einsatz von Virtual und Augmented Reality: Studie zur menschenorientierten Simulation und Prozessunterstützung im logistischen Umfeld.

Studie aus dem Bayerischen Forschungsverbund Supra-adaptive Logistiksysteme (ForLog), August 2007.

Reif, R.; Schedlbauer, M.; Walch, D.; Wulz, J.:

Logistik in der dritten Dimension.

In Göttig, R.; Schubert, G. (Hrsg.):

3D-Technologien an der Technischen Universität München.

Aachen: Shaker Verlag, 2007, S. 59-73.

Reif, R.; Walch, D.; Günthner W. A.:

Unterstützung des operativen Personals mit digitalen Werkzeugen.

Hebezeuge und Fördermittel, Ausgabe 9/2007, S. 440-441.

Reif, R.; Walch, D.:

Augmented & Virtual Reality Applications in the Field of Logistics.

Tagungsband der 4. Intuition International Conference and Workshop, 04.-05.10.2007, Athen, Griechenland, S. 61-69.

Schwerdtfeger, B.; Reif, R.; Frimor, T.; Klinker, G.:

Neue Techniken zur Informationsbereitstellung in der Kommissionierung.

In: Günthner, W. A. (Hrsg.):

Neue Wege in der Automobillogistik.

Berlin: Springer, 2007, S. 487-500.

Günthner, W. A.; Heptner, K.:

Technische Innovationen für die Logistik.

München: Huss-Verlag, 2007.

Reif, R.:

Augmented Reality - Vision oder Wirklichkeit.

Tagungsband des 14. Flaschenkellerseminars, 04.-05.12.2007, Weihenstephan, Deutschland.

Reif, R.; Günthner, W. A.:

Abseitslinie verschieben oder Augmented Reality.

VR Verpackungs-Rundschau, Special zur Interpack 2008, S. 18-19.

Meister, E.; Mayr, F.:

Pick-by-Vision – Vision oder Wirklichkeit.

Logistik Heute – Forum „Warehousing – Prozesse und Technologien mit Lean Production-Konzepten neu gestalten“ auf der CeMAT 2008 in Hannover, 28.05.2008

Reif, R.:

Einsatz von Augmented Reality in der Logistik.

Vortrag auf dem Forum des Campus Intralogistik auf der CeMAT 2008, Hannover, 29.05.2008.

Reif, R.; Walch, D.; Günthner, W. A.:

Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten Kommissioniersystems.

In: Schenk, M. (Hrsg.):

„Virtual Reality und Augmented Reality zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme“.

Magdeburg: Fraunhofer IFF, 2007, S. 251-260.

Mayr, F.:

„Pick-by-Vision: Kommissionieren mit der Datenbrille - Vision oder Wirklichkeit?“

Vortrag auf der 5. Kommissionier-Fachtagung: „Optimale Gestaltung von Kommissioniersystemen – Trends und Best Practices“, Osnabrück, 04.09.2008.

Schwerdtfeger, B.; Klinker, G.:

Supporting Order Picking with Augmented Reality.

The seventh IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 15.-18.09.2008, Cambridge, Großbritannien.

Günthner, W. A.; Durchholz, J.; Kraul, R.; Schneider, O.:

Technologie für die Logistik des 21. Jahrhunderts.

Kongressband zum 25. Deutscher Logistik-Kongress, S. 360-393.

Reif, R.; Walch, D.:

Augmented & Virtual Reality applications in the field of logistics.

The Visual Computer - International Journal of Computer Graphics, Volume 24, Number 11, November 2008, S. S 987-994.

Reif, R.; Günthner, W. A.:

Pick-by-Vision auf dem Weg in die Praxis.

Logistik für Unternehmen, 11-12/2008, S. 62-65.

Reif, R.; Günthner, W. A.:

Pick-by-Vision: An Augmented Reality supported Picking System.

Tagungsband zur WSCG 2009, 02.-05.02.2009, Pilsen, Tschechien.

Reif, R.; Günthner, W. A.; Schwerdtfeger, B.; Klinker, G.:

Pick-by-Vision comes on Age: Evaluation of an Augmented Reality supported Picking System in a real Storage Environment.

Tagungsband Afrigraph 2009, 04.-06.02.2009, Pretoria, Südafrika.

Reif, R.; Günthner, W. A.:

Untersuchungen zu Datenbrillen bei Kommissioniertätigkeiten.

In: GfA (Hrsg.): Arbeit, Beschäftigungsfähigkeit und Produktivität im 21. Jahrhundert.

Dortmund: GfA-Press, 2009.

### ***Erscheint in Kürze***

Reif, R.; Günthner, W. A.:

Pick-by-Vision: Augmented Reality supported Order Picking.

Tagungsband CGI 2009, 26.-29.05.2009, Victoria, Kanada.

### ***Messeauftritte***

CeMAT 2005: Präsentation von Pick-by-Vision auf dem Gemeinschaftsstand der WGTL (Wissenschaftliche Gesellschaft Technische Logistik), 11.-14.10.2005, Hannover.

Pick-by-Vision - Visuell unterstützte Kommissionierung.

CIM-Logistiktage, 10.11.2005, Fürstenfeldbruck.

Präsentation auf dem

3. BVL Wissenschaftssymposium, Dortmund, 30.-31.05.2006.

Innovationen hautnah! Pick-by-Vision und RFID werden erwachsen.

CIM-Logistiktage, 15.11.2006, Garching.

Die Zukunft der Kommissionierung.

LIZ-Demotag: Digitale Welten – live erleben, 17.11.2006, Garching.

Logistik live erleben im Logistikkonventionszentrum der TU München – Pick-by-Vision.

16. Deutscher Materialfluss-Kongress, TU München, 29.-30.03.2007, Garching.

"Digitale Welten - live erleben"

Vortrag und Live-Sequenz mit Vorführung auf dem 93. Treffen der Regionalgruppe Südbayern, TU München, 16.01.2007, Garching.

CeMAT 2008: Präsentation von Pick-by-Vision auf dem Gemeinschaftsstand der WGTG (Wissenschaftliche Gesellschaft Technische Logistik), 27.-31.05.2008, Hannover.

Erschließung von Produktivitätspotenzialen in der Logistik.

Symposium des Cluster Logistik, des LIZ und der MTM-Gesellschaft, 29.10.2008, Garching.

## Literaturverzeichnis

- [Alt-03] Alt, T.:  
Augmented Reality in der Produktion.  
München: Herbert Utz Verlag, 2003.
- [Arn-05] Arnold, D.:  
Materialfluss in Logistiksystemen.  
Berlin: Springer, 2003.
- [ART-08] A.R.T. GmbH  
<http://www.ar-tracking.de>
- [Azu-97] Azuma, R. T.:  
A survey of Augmented Reality.  
Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 8/1997, S. 355-385.
- [BaC-08] Bade, C.; Hoffmeyer, A.; Doil, F.:  
Industrielle Anwendung von Augmented Reality in der Fertigungsplanung  
bei der Volkswagen AG.  
In: Schenk, M. (Hrsg.):  
„Virtual Reality und Augmented Reality zum Planen, Testen und Betrie-  
ben technischer Systeme“.  
Magdeburg: Fraunhofer IFF, 2008, S. 41-51.
- [Bad-07] Badenschier, F.:  
Hightech-Kampfanzug aus der Geisterstadt.  
Spiegel online:  
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,483472,00.html>  
Aufruf: 25.04.2007.
- [Bar-04] Baratoff, G.; Regenbrecht, H.:  
Developing and Applying AR Technology in Design, Production, Service  
and Training.  
In Ong, S. K.; Nee, A. Y. C. (Hrsg.):  
Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing.  
London: Springer, 2004, S. 207-237.
- [Bec-08] Becker, B.; Huber, M.; Klinker, G.:  
Utilizing RFIDs for Location Aware Computing.  
In: Sanders, F. E. et al. (Hrsg.):  
UIC 2008.  
Berlin Heidelberg: Springer, 2008, S. 216-228.
- [Beh-05] Behzadan, A. H.; Kamat, V. R.:  
Visualization of Construction Graphics in Outdoor Augmented Reality.

- In: Kuhl, M. E.; Steiger, N. M.; Armstrong, F. B., Joines, J. A. (Hrsg.):  
Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, 2005, S. 1914-1920.
- [Ber-06] Bernatchez, M.:  
Resolution analysis for HMD helmets.  
[http://vresources.org/article/vre\\_articles/analyhmd/analysis.htm](http://vresources.org/article/vre_articles/analyhmd/analysis.htm)  
Download: 14.05.2006.
- [Beu-04] Beu, A. (Hrsg.):  
Style Guide für Augmented Reality Systeme.  
<http://www.uid.com/arvika/>  
Download: 20.11.2008.
- [Bio-06] Biocca, F.; Tang, A.; Owen, C.; Xiao, F.:  
Attention funnel: omnidirectional 3D cursor for mobile augmented reality platforms.  
In: CHI '06: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems.  
New York: ACM Press, 2006, S. 1115-1122.
- [Bok-06] Bokranz, R.; Landau, K.:  
Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen.  
Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2006.
- [Bor-05] Bortz, J.:  
Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler.  
Berlin: Springer, 2005.
- [Bow-05] Bowman, D. A.; Kruijff, E.; LaViola jr., J.; Poupyrev, I.:  
3D User Interfaces.  
Boston: Addison-Wesley, 2005.
- [Bra-05] Brau, H.; Ullmann, C.; Duthweiler, M.; Schulze, H.:  
Gestaltung von Augmented Reality Applikationen für Kommissionieraufgaben.  
In: Urbas, L., Steffens, C. (Hrsg.):  
Zustandserkennung und Systemgestaltung Bd. 19.  
Düsseldorf: VDI-Verlag, 2005, S. 83-88.
- [Bry-95] Brynzér, H.; Johansson, M. I.:  
Design and performances of kitting and order picking systems.  
In: International Journal of production economics, 41/1995, S. 115-125.
- [Cio-07] Ciocirlie, I.:  
The Ring Mouse Is Here.  
<http://news.softpedia.com/>, 14.07.2007.  
<http://news.softpedia.com/news/The-Ring-Mice-Are-Coming-57246.shtml>  
Aufruf: 21.11.2008.

- [Dan-05] Dangelmeier, W.; Mueck, B.; Franke, W.:  
Mixed Reality in Lagerprozessen.  
In: Gausemeier, J.; Grafe M. (Hrsg.):  
Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung.  
Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 167, 2005, S. 133-143.
- [DIN13407] DIN EN ISO 13407:  
Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme.  
Berlin: Beuth Verlag, 2000.
- [DIN9241] DIN EN ISO 9241:  
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten.  
Berlin: Beuth Verlag, 2001.
- [Dit-07] Dittmann, F.:  
RFID – Pioniertechnik für den „allgegenwärtigen Computer“.  
Technik in Bayern, 2/2007, S. 35.
- [DLA-06] Deutsche Logistik Akademie:  
Analyse und Bewertung von Kommissioniersystemen.  
Seminarunterlagen, München, 09.-10.5.2006.
- [Dul-05] Dullinger, K.-H.:  
Das richtige Kommissionier-Konzept - eine klare Notwendigkeit.  
In: Jahrbuch Logistik 2005.  
Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 2005, S. 194-198.
- [Ech-04] Echtler, F.; Sturm, F.; Kindermann, K.; Klinker, G.; Stilla, J.; Trilk, J.; Najafi, H.:  
The intelligent welding gun: Augmented Reality for experimental vehicle construction.  
In: Ong, S. K.; Nee, A. Y. C. (Hrsg.):  
Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing.  
London: Springer, 2004. S. 333-360.
- [Ede-05] Edelman, M.; Rottenkolber, B.; Brattke, S.:  
Head Mounted Display: Von der Grundlagenforschung bis zum Geschäftsansatz.  
In Gausemeier, J.; Grafe M. (Hrsg.):  
Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung.  
Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 167, 2005, S. 13-20.
- [EU90270] EU-Richtlinie über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten, 1990.
- [Fis-94] Fischer, J. H.:  
Zero-defect-picking.  
In: VDI-Berichte 1131.  
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1994, S.11-22.

- [Föl-05] Föllner, J.:  
Techniken zur Informationsbereitstellung in der Kommissionierung.  
Fördern und Heben, F+H 1-2/2005, S. 38-41.
- [FrW-04] Friedrich, W.:  
ARVIKA - Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service.  
Erlangen: Publicis Corporate Publishing, 2004.
- [Gri-08] Griffin Technology  
<http://www.griffintechology.com/products/powermate/>  
Aufruf 21.11.2008.
- [Gud-05] Gudehus, T.:  
Logistik.  
Berlin: Springer, 2005.
- [Gün-06a] Günthner, W. A.; Wulz, J.; Reske, M.:  
Virtuelle Kollision spart Werkumbau.  
Automobil-Produktion, 01/2006, S. 66-67.
- [Ham-06] Hammerl, M.; Sauerland, M.; Walch, D.; Weisweiler, S.:  
Mitarbeiterqualifizierung und -mobilität: Einflussfaktoren und Auswirkungen des flexiblen Mitarbeiterereinsatzes im logistischen Umfeld.  
Studie aus dem Bayerischen Forschungsverbund Supra-Adaptive Logistiksysteme (ForLog), 2006.
- [Han-04] Haner, U.; Greisle, A.:  
Positionierungssysteme.  
wt Werkstattstechnik online, 1-2/2004, S. 7-10.
- [Har-88] Hart, S.; Staveland, L.:  
Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research.  
In: Hancock, P. A.; Meshkati, N. (Hrsg.):  
Human Mental Workload.  
Amsterdam: North-Holland, 1988, S. 139-183.
- [Hep-98] Heptner, K.:  
Tendenzen in der Kommissioniertechnik.  
In: VDI Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik:  
Kommissionieren in Industrie und Handel.  
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1998.
- [Hil-04] Hille, A.:  
Hier spricht der Kommissionierer (Pick-by-Voice).  
DVZ-Deutsche Logistikzeitung, Nr.018, 2004.

- [Hom-04] ten Hompel, M.; Schmidt, T.:  
Warehouse Management - Automatisierung und Organisation von Lager-  
und Kommissioniersystemen.  
Berlin: Springer, 2004.
- [Hub-07] Huber, M.; Pustka, D.; Keitler, P.; Echtler, F.; Klinker, G.:  
A System Architecture for Ubiquitous Tracking Environments.  
The Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Aug-  
mented Reality, Nara, Japan, 13.-16.11.2007.
- [Iba-05] Ibach, P.; Stantchev, V.; Lederer, F.; Weiß, A.; Herbst, T.; Kunze, T.:  
WLAN-based asset tracking for warehouse management.  
IADIS International Conference e-Commerce, Porto, Portugal, 15.-  
17.12.2005.
- [Jia-04] Jiang, B.; Neumann, U.; Suya, Y.:  
A robust hybrid Tracking System for Outdoor Augmented Reality.  
In: Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2004, Chicago 27.-  
31.03.2004, S. 3-10.
- [Jün-00] Jünemann, R.; Schmidt, T.:  
Materialflusssysteme.  
Berlin: Springer, 2. Auflage, 2000.
- [Kam-06] Kampmeier, J.; Cucera, A.; Fritzsche, L.; Brau, H.; Duthweiler, M.; Lang,  
G. K.:  
Eignung monokularer Augmented Reality – Technologien in der Automobi-  
lproduktion.  
104. Tagung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft, 21.-  
24.09.2006, Berlin.
- [Kli-01] Klinker, G.; Stricker, D.; Reiners, D.:  
Augmented Reality for Exterior Construction Applications.  
In: Barfield, W.; Caudell, T. (Hrsg.):  
Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality.  
Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2001, S. 379-427.
- [Kri-81] Kristof, W.:  
Anwendungen einer Beziehung zwischen t- und F-Verteilungen auf das  
Prüfen gewisser statistischer Hypothesen über Varianzen und Korrelatio-  
nen.  
In: Jahnke, W. (Hrsg.):  
Beiträge zur Methodik in der differentiellen, diagnostischen und klini-  
schen Psychologie.  
Königstein/Taunus: Hain, 1981, S. 46-57.
- [Küc-03] Kücherer, K.:  
Angereicherte Wirklichkeit.  
c't, 16/2003, S. 80-83.

- [Küh-01] Kühlmeyer, M.:  
Statistische Auswertungsmethoden für Ingenieure.  
Berlin: Springer, 2001.
- [Kuh-07] Kuhlmann, U.:  
Der letzte Meter.  
c't, 9/2007, S. 204-206.
- [Kwi-93] Kwijas, R.:  
Kommissionieren heute – Stand der Technik und Verfahren.  
VDI Berichte Nr. 1051 – Kommissionieren.  
Düsseldorf: VDI Verlag, 1993. S. 1-10.
- [Lar-02] Laramee, R. S.; Ware, C.:  
Rivalry and Interference with a Head Mounted Display.  
[http://www.vrvis.at/TR/2002/TR\\_VRVis\\_2002\\_005\\_Full.pdf](http://www.vrvis.at/TR/2002/TR_VRVis_2002_005_Full.pdf)  
Download: 20.11.2008.
- [Log-04] Logistik für Unternehmen:  
Voice-Systeme erobern verschiedene Einsatzfelder in der Logistik.  
Logistik für Unternehmen, 10/2004, S. 64-67.
- [Lol-01] Lolling, A.:  
Klassifizierung und Analyse von Pickfehlern in manuellen Kommissioniersystemen.  
BVL-Forum Pick-Pack - Neue Akzente durch IT und eCommerce, 2001.
- [Lol-03] Lolling, A.:  
Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten.  
Aachen: Shaker Verlag, 2003.
- [Lün-02] Lüning, R.:  
Kommissionieranlagen - Erfahrungen und Trends aus Sicht der Betreiber.  
F+H Fördern und Heben 5/2002, S. 296-298.
- [Lün-05] Lüning, R.:  
Beitrag zur optimierten Gestaltung des Durchsatzes in Kommissioniersystemen für Stückgüter.  
Tagungsband zum 22. Deutschen Logistikkongress 2005, S. 182-189.
- [Mel-97] Melzer, J., E.; Moffitt, K. (Hrsg.):  
Head Mounted Displays – Designing for the user.  
New York: McGraw-Hill, 1997.
- [Men-99] Menk, J.:  
Beitrag zur Planung qualitätsfähiger Kommissioniersysteme – ein humanorientierter Ansatz.  
Dortmund: Verlag Praxiswissen, 1999.

- [met-08] metaio GmbH:  
<http://www.metaio.com>
- [Miz-01] Mizell, D.:  
Boeing's Wire Bundle Assembly Project.  
In: Barfield, W.; Caudell, T. (Hrsg.):  
Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality.  
Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2001, S. 447-467.
- [Mue-05] Mueck, B.; Höwer, M.; Franke, W.; Dangelmaier, W.:  
Augmented Reality applications for Warehouse Logistics.  
In: Abraham, A.; Dote, Y.; Furuhashi, T.; Köppen, M.; Ohuchi, A.; Ohswa, Y. (Hrsg.):  
Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology.  
Berlin: Springer, 2005, S. 1053-1062.
- [Nav-99] Navab, N.; Bani-Hashemi, A.; Mitschke, M.:  
Merging Visible and Invisible: Two Camera-Augmented Mobile C-arm  
(CAMC) Applications.  
In: Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on  
Augmented Reality, 1999, S. 134-141.
- [New-03] NewTec GmbH:  
Funkgesteuerte Pick-to-Light-Anlage optimiert Kommissionierung.  
Logistik für Unternehmen, 10/2003, S. 60-61.
- [Oeh-04] Oehme, O.:  
Ergonomische Untersuchung von kopfbasierten Displays für Anwendungen  
der erweiterten Realität in Produktion und Service.  
Aachen: Shaker-Verlag, 2004.
- [Pat-04] Patron, C.:  
Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung.  
München: Herbert Utz Verlag, 2004.
- [Pie-06] Pieringer, M.:  
Gepickt wie gesprochen.  
Logistik inside, 7/2006, S. 40-43.
- [Pro-06] Probst, D.:  
RFID-Chips bringen Intelligenz ins Kühlregal.  
VDI Nachrichten, 30.06.2006, S. 3.
- [Pus-08] Pustka, D.; Klinker, G.:  
Dynamic Gyroscope Fusion in Ubiquitous Tracking Environments.  
In: IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality  
2008. 15.-18.09.2008, Cambridge, UK, S. 13-20.

- [Rei-07] Reif, R.; Walch, D.; Wulz, J.:  
Einsatz von Virtual und Augmented Reality: Studie zur menschenorientierten Simulation und Prozessunterstützung im logistischen Umfeld.  
Studie aus dem Bayerischen Forschungsverbund Supra-adaptive Logistiksysteme (ForLog), August 2007.
- [Rib-02] Ribo, M.; Lang, P.; Ganster, H.; Brandner, M.; Stock, C.; Pinz, A.:  
Hybrid Tracking for Outdoor Augmented Reality Applications.  
In: IEEE Computer Graphics and Applications, November/Dezember 2002, S. 54-63.
- [Rüg-02] Rügge, I.:  
Technologische und anwendungsorientierte Potenziale mobiler, tragbarer Computersysteme.  
Bremen: TZI-Bericht 24, 2002.
- [Sas-08] Saske, B.:  
Augmented Reality in der Instandhaltung.  
München: Dr. Hut Verlag, 2008.
- [Sau-07] Sauerland, M.; Walch, D.; Hammerl, M.:  
Akzeptanz von Werkzeugen in Planung und Schulung.  
In: Günthner, W. A. (Hrsg.):  
Neue Wege in der Automobillogistik.  
Berlin: Springer, 2007, S. 413-423.
- [ScB-07a] Schwerdtfeger, B.; Reif, R.; Frimor, T.; Klinker, G.:  
Neue Techniken zur Informationsbereitstellung in der Kommissionierung.  
In: Günthner, W. A. (Hrsg.):  
Neue Wege in der Automobillogistik.  
Berlin: Springer, 2007, S. 487-499
- [ScB-07b] Schwerdtfeger, B.; Alt, T.; Klinker, G.:  
Einsatz von Augmented Reality zur aktiven Fehlervermeidung.  
In: Günthner, W. A. (Hrsg.):  
Neue Wege in der Automobillogistik.  
Berlin: Springer, 2007, S. 501-508.
- [ScB-08] Schwerdtfeger, B.; Klinker, G.:  
Supporting Order Picking with Augmented Reality.  
In: IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008. 15-18 September, Cambridge, UK, S. 91-94.
- [ScG-08] Schall, G.; Mendez, E.; Schmalstieg, D.:  
Virtual Redlining for Civil Engineering in Real Environments.  
In: IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008. 15.-18.09.2008, Cambridge, UK, S. 95-98.

- [ScL-05] Schmidt, L.; Wiedenmaier, S.; Oehme, O.; Luczak, H.:  
Benutzerzentrierte Gestaltung von Augmented Reality in der Produktion.  
In: Stary, C. (Hrsg.):  
Mensch & Computer 2005: Kunst und Wissenschaft –  
Grenzüberschreitungen der interaktiven Art.  
München: Oldenbourg Verlag, 2005, S. 51-60.
- [Sym-08] Symbol Technology, Inc.  
<http://www.symbol.com>
- [Tan-04] Tang, A.; Owan, C.; Biocca, F.; Mou, W.:  
Performance Evaluation of Augmented Reality for Directed Assembly.  
In: Ong, S. K.; Nee, A. Y. C. (Hrsg.):  
Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing.  
London: Springer, 2004, S. 311-331.
- [Tap-01] Tappert, C. C.; Ruocco, A. S.; Langdorf, K. A.; Mabry, F. J.; Heineman,  
K. J.; Brick, T. A.; Cross, D. M.; Pellissier, S. V.; Kaste, R. C.:  
Military Applications of Wearable Computers and Augmented Reality.  
In: Barfield, W.; Caudell, T. (Hrsg.):  
Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality.  
Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2001, S. 625-647.
- [Tüm-08] Tümler, J.; Mecke, R.; Doil, F.; Huckauf, A.; Urbina, M. H.; Roggentin, A.;  
Pfister, E. A.; Böckelmann, I.:  
Einbeziehung der Herzratenvariabilität für eine objektive Beanspru-  
chungsanalyse beim Einsatz mobiler Augmented Reality an einem Refe-  
renzarbeitsplatz.  
In: 50. Fachausschusssitzung Anthropotechnik - Beiträge der Ergonomie  
zur Mensch-System-Integration. Deutsche Gesellschaft für Luft- und  
Raumfahrt - Lilienthal-Oberth e.V., Manching, 22.-23.10.2008.
- [VDI3311] VDI 3311:  
Beleglose Kommissioniersysteme.  
Berlin: Beuth Verlag, 1998.
- [VDI3590] VDI 3590-1:  
Kommissioniersysteme – Grundlagen  
Berlin: Beuth Verlag, 2002.
- [Vog-97] Vogt, G.:  
Das neue Kommissionierhandbuch.  
Landsberg: Verlag moderne Industrie, 1997.
- [VW-03] Volkswagen AG:  
Schlussbericht zum Leitprojekt ARVIKA.  
<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb05/486098710.pdf>  
Download: 02.08.2005.

- [Wag-05] Wagner, M.:  
Tracking with multiple Sensors.  
Dissertation, Technische Universität München, 2005.
- [Wal-07] Walch, D.; Katzky, U.:  
Innovative Mitarbeiterqualifizierung im logistischen Umfeld.  
In: Günthner, W. A. (Hrsg.):  
Neue Wege in der Automobillogistik.  
Berlin: Springer, 2007, S. 425-434.
- [Wec-04] Weck, M.; Hamadou, M.; Hoymann, H.; Jahn, D.; Lescher, M.:  
Mobile Service Applications for Machine Tools.  
In: Ong, S. K.; Nee, A. Y. C. (Hrsg.):  
Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing.  
London: Springer, 2004, S. 237-257.
- [Wel-01] Welch, G.; Bishop, G.; Vicci, L.; Brumback, S.; Keller, K.; Colluci, D.:  
High-Performance Wide-Area Optical Tracking - The HiBall Tracking System.  
Presence, Vol. 10, No. 1, Februar 2001, S. 1–21.
- [Wie-04] Wiedenmaier, S.:  
Unterstützung manueller Montage durch Augmented Reality-Technologie.  
Aachen: Shaker Verlag, 2004.
- [Wul-08] Wulz, J.:  
Menschintegrierte Simulation in der Logistik mit Hilfe der Virtuellen Realität.  
Dissertation, München, Technische Universität, 2008.
- [Zho-03] Zhong, X.; Liu, P.; Georganas, N. D.; Boulanger, P.:  
Designing a Vision-based Collaborative Augmented Reality Application for Industrial Training.  
it – Information Technology, 45 (2003) 1, S. 7-19.

## Abkürzungsverzeichnis

1D	eindimensional
2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
AKL	Automatisches Kleinteilelager
AP	Arbeitspaket
AR	Augmented Reality
BF	Benutzerfreundlichkeit
CRT	Cathode Ray Tube
DDK	Dreh-/Drückknopf
DoF	Degrees of Freedom
EE	Entnahmeeinheit
ERP	Enterprise Resource Planning
f	Kommissionierfehlerquote [%]
FAR	Fachgebiet für Augmented Reality der TU München
FM1	Funktionsmuster 1
FM2	Funktionsmuster 2
fml	(Lehrstuhl für) Fördertechnik Materialfluss Logistik
FoV	Field of View
FoVD	Field of View Display
FoVE	Field of View Environment
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
$H_{0,x}$	Nullhypothese X
HNI	Heinz-Nixdorf-Institut
HMD	Head-mounted Display
IR	Infrarot
K1	Kürzel für das Szenario C
K2	Kürzel für das Szenario I1
K3	Kürzel für das Szenario A
kB	kognitive Belastung
KLT	Kleinladungsträger

KMU	kleine und mittlere Unternehmen
LCD	Liquid Crystal Display
MDT	Mobile Datenterminals
Mo	Motivation
MTM	Methods-Time Measurement
mTr	Pick-by-Vision mit Tracking
MzW	Mann-zur-Ware
OST	Optical See-Through
oTr	Pick-by-vision ohne Tracking
PbL	Pick-by-Light
PbV	Pick-by-Voice
Pos	(Auftrags-)Position
RBG	Regalbediengerät
RFID	Radio Frequency Identification
SDK	Software Development Kit
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TFT	Thin Film Transistor
TLX	Task Load Index
UI	User Interface
UMPC	Ultra Mobile PC
VR	Virtual Reality
VRD	Virtual Retinal Display
VST	Video See-Through
WLAN	Wireless Local Area Network
WMS	Warehouse Management System
WS	Wirkung des Systems
WzM	Mann-zur-Ware
XML	Extensible Markup Language

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Aufbau eines AR-Systems.....	8
Abbildung 2-2: Veränderung der Kommissionierzeitanteile [Lün-05].....	18
Abbildung 2-3: Beispiel für die grafische Darstellung der Ergebnisse der deskriptiven Statistik.....	24
Abbildung 2-4: Vorgehen bei der statistischen Auswertung bei den Versuchsreihen in diesem Projekt.....	26
Abbildung 2-5: Beispiel für Kommissionierzeit in Abhängigkeit der Kommissioniererfahrung (nach [Vog-97]).....	27
Abbildung 3-1: Einteilung Anforderungen an Pick-by-Vision .....	48
Abbildung 3-2: Allgemeiner Kommissionierprozess.....	50
Abbildung 3-3: Ablaufdiagramm für einen AR-gestützten Kommissionierprozess....	52
Abbildung 3-4: Dreh-/Drückknopf [Gri-08].....	68
Abbildung 3-5: Mini Click auf dem mobilen Rechner des Nomad .....	68
Abbildung 3-6: Fingerscanner [Sym-08] .....	70
Abbildung 3-7: Ringmouse [Cio-07].....	70
Abbildung 4-1: ein Pfeil zur Wegfindung.....	76
Abbildung 4-2: Vorgabe eines Pfades aus Pfeilen.....	76
Abbildung 4-3: statische 2D-Karte eines Lagers in der Draufsicht (a), Vorderansicht eines Regals (b), statische 2D-Karte mit allen Positionen in der Abarbeitungsreihenfolge und farblicher Kennzeichnung des Status (c) und dynamische 2D-Karte mit allen Positionen mit farblicher Statusangabe und der Position des Kommissionierers (d).....	77
Abbildung 4-4: statische Wegverfolgung von der aktuellen zur nächsten Position mit Karte (a) und zu allen Lagerorten (b) .....	80
Abbildung 4-5: Wegverfolgung in der realen Welt .....	81
Abbildung 4-6: Tunnel vom Auge zum Zielort.....	81
Abbildung 4-7: generelle Aufteilung der Daten in Inhalt und Navigation bei der Darstellung mit einem HMD [Beu-04].....	87
Abbildung 4-8: Texteingabe mit dem Dreh-/Drückknopf [Beu-04].....	91
Abbildung 4-9: Arbeitsschritte bei Pick-by-Vision, die im GUI dargestellt werden ....	94
Abbildung 4-10: Einteilung des GUI.....	96

---

Abbildung 4-11: Schriftgrößen im GUI .....	96
Abbildung 4-12: Zustände für Elemente (nicht verfügbar, verfügbar, aktiv) .....	97
Abbildung 4-13: verfügbare Funktionsleiste.....	97
Abbildung 4-14: grobe Texteingabe (links) und feine Texteingabe (rechts).....	97
Abbildung 4-15: Blick durch das Nomad mit einer möglichen Visualisierung (2D-Karte in der Vorderansicht, Bild, Positionsdaten). Die Verzerrung im Randbereich eines VRD ist am linken Rand deutlich zu sehen. ....	103
Abbildung 5-1: Erzeugung eines Auslagerauftrags im WMS .....	107
Abbildung 5-2: Aufbau des FM1 .....	108
Abbildung 5-3: Sprachkonsole (links) und dazugehörige Anzeige für den Kommissionierer (rechts).....	109
Abbildung 5-4: FM1 mit Datenbrille und Headset für die Sprachinteraktion .....	111
Abbildung 6-1: Lagerbereich mit Kommissioniervorzone und Leitstand .....	116
Abbildung 6-2: Proband mit Pick-by-Vision.....	121
Abbildung 6-3: ein abgegebener Auftrag mit dem ganzen Artikelspektrum (kleine Schachteln, Papierware, große Kartons).....	121
Abbildung 6-4: Fehlerquote Labortest .....	123
Abbildung 6-5: Einteilung nach Fehlerarten beim Labortest von FM1 .....	124
Abbildung 6-6: Anzahl Kommissionierfehler in Abhängigkeit der Technik und der Reihenfolge beim Labortest zu FM1 .....	126
Abbildung 6-7: Vergleich der Mittelwerte der Kommissionierzeiten im Labortest zu FM1 .....	127
Abbildung 6-8: Vergleich der Mittelwerte der Kommissionierzeiten ohne Ausreißer im Labortest zu FM1 .....	128
Abbildung 6-9: Kommissionierzeit in Abhängigkeit von der Technik und der Reihenfolge im Labortest zu FM1 .....	131
Abbildung 6-10: Benutzerfreundlichkeit .....	132
Abbildung 6-11: Wirkung des Systems .....	132
Abbildung 6-12: kognitive Belastung .....	133
Abbildung 6-13: Motivation .....	133
Abbildung 6-14: Zusammenhang Kommissionierleistung und Motivation im Labortest zu FM1 (inkl. Trendlinie).....	134
Abbildung 6-15: Lagerbereich im Distributionszentrum von Kühne + Nagel in Langenbach.....	140

---

Abbildung 6-16: Proband mit Pick-by-Vision.....	142
Abbildung 6-17: Proband mit der Papierliste .....	142
Abbildung 6-18: Fehlerquote praxisnaher Test zu FM1 .....	146
Abbildung 6-19: Der einzige Fehler, der mit Pick-by-Vision begangen wurde. Der Proband griff zwei Fächer weiter statt den roten die orangen Süßigkeiten.....	146
Abbildung 6-20: Einteilung nach Fehlerarten bei der praxisnahen Versuchsreihe..	147
Abbildung 6-21: Kommissionierzeit über alle Aufträge im der praxisnahen Versuchsreihe .....	149
Abbildung 6-22: Übersicht über die Kommissionierleistung [Pos/h] in der praxisnahen Versuchsreihe .....	149
Abbildung 6-23: Einfluss der Kommissioniererfahrung auf die Kommissionierzeiten bei der praxisnahen Versuchsreihe bei FM1 .....	150
Abbildung 6-24: Kommissionierzeiten in Abhängigkeit mit welcher Technologie die Probanden bei der praxisnahe Versuchsreihe mit FM1 begannen.....	152
Abbildung 6-25: Boxplot zum Vergleich der Kommissionierzeiten bei Pick-by-Vision in Abhängigkeit von der ersten Technologie bei der praxisnahen Versuchsreihe zu FM1 .....	152
Abbildung 6-26: Benutzerfreundlichkeit .....	154
Abbildung 6-27: Wirkung des Systems.....	154
Abbildung 6-28: kognitive Belastung .....	155
Abbildung 6-29: Motivation .....	155
Abbildung 6-30: Zusammenhang Kommissionierleistung und Motivation (inkl. Trendlinie) .....	156
Abbildung 7-1: inhomogens WLAN-Feld innerhalb einer Lagerhalle [Iba-05].....	166
Abbildung 7-2: passive Targets für Infrarotsysteme (links) und Videosysteme (Mitte) oder aktives Target mit LED (rechts).....	169
Abbildung 7-3: Kommissionier mit einem inside-out-System .....	175
Abbildung 7-4: Groborientierung an großem Marker, Feinorientierung an kleinem Marker .....	175
Abbildung 7-5: IR-Trackingsystem für Szenario 2 und 3 .....	177
Abbildung 7-6: Sony Glasstron HMD [ScB-07a] .....	178
Abbildung 7-7: Pfeil mit Gummiband auf das nächste Objekt [ScB-07a] .....	178
Abbildung 7-8: Blick durch das Sony Glasstron HMD [ScB-07a].....	178

---

Abbildung 7-9: Lagerbereich am FAR und Verdeckung des realen Sichtlagerkastens durch den virtuellen Rahmen bei der Hervorhebung des Lagerfachs.....	180
Abbildung 7-10: Tunnel zur Wegführung und Rahmen um das Lagerfach .....	181
Abbildung 7-11: Pfeil auf das Lagerfach.....	181
Abbildung 7-12: Trackingkameras über dem Lager.....	182
Abbildung 7-13: HMD mit Trackingkugeln .....	182
Abbildung 7-14: Funktionsweise von outside-in IR-Trackingsystemen.....	183
Abbildung 7-15: Pfeile in Richtung Gassenende und in die Richtung der nächsten Gasse.....	185
Abbildung 7-16: Gassenwechsel über Stützpunkte für die virtuelle Kurve an den Gassenenden .....	186
Abbildung 7-17: Hardwareaufbau mit den beiden möglichen Trackingtechnologien von metaio und A.R.T.....	188
Abbildung 8-1: Versuchsumgebung beim Labortest zum FM2 .....	191
Abbildung 8-2: GUI für die Eingaben beim NASA TLX Test .....	194
Abbildung 8-3: Fehlerquote Labortest FM2 .....	198
Abbildung 8-4: Einteilung aller Kommissionierfehler nach Fehlerart beim Labortest FM2 .....	199
Abbildung 8-5: Fehlerquote Labortest FM2 (ohne Systemfehler) .....	200
Abbildung 8-6: Fehlerquote hinsichtlich 3D-Erfahrung der Probanden.....	201
Abbildung 8-7: Anzahl Kommissionierfehler in Abhängigkeit der Technik und der Reihenfolge beim Labortest zu FM2.....	202
Abbildung 8-8: Vergleich der Mittelwerte der Kommissionierzeiten im Labortest FM2 .....	204
Abbildung 8-9: Kommissionierzeit in Abhängigkeit der 3D-Erfahrung beim Labortest zu FM2 .....	205
Abbildung 8-10: Kommissionierzeit in Abhängigkeit der Kommissioniererfahrung beim Labortest zu FM2.....	206
Abbildung 8-11: Kommissionierzeit in Abhängigkeit von der Technik und der Reihenfolge .....	207
Abbildung 8-12: mentale Belastung durch die Techniken (Mittelwerte mit Standardabweichung).....	209

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Informationsbereitstellungsarten in der Kommissionierung .....	12
Tabelle 2-2: typische Fehlerraten in herkömmlichen Kommissioniersystemen [Lol-03] .....	20
Tabelle 3-1: Einfluss des Organisationssystems auf Pick-by-Vision.....	30
Tabelle 3-2: Zusammenfassung der Materialflusstypen für den Einsatz von Pick-by-Vision (B = Bereitstellung, F = Fortbewegung, E = Entnahme) .....	33
Tabelle 3-3: Übersicht über den Einfluss des Informationssystems bei Pick-by-Vision .....	34
Tabelle 3-4: Eignung von bestimmten Lagertypen für Pick-by-Vision.....	35
Tabelle 3-5: Zusammenfassung der Einflussfaktoren auf den Einsatz von Pick-by-Vision.....	38
Tabelle 3-6: Zusammenfassung des Einflusses der Kommissionierstrategien.....	39
Tabelle 3-7: Zusammenfassung der Spezifizierung der zehn Szenarien.....	44
Tabelle 3-8: Informationen und Interaktionen im allgemeinen Kommissionierprozess .....	51
Tabelle 3-9: Informationen und Interaktionen zum AR-gestützten Kommissionierprozess .....	54
Tabelle 3-10: nötige Informationen und Interaktionen zur Eingabe von Fehlmengen bei der AR-unterstützten Kommissionierung .....	54
Tabelle 3-11: Nötige Eingaben für die für die Kommissionierung nötigen Interaktionsschritte .....	67
Tabelle 4-1: Zusammenfassung der Einflussfaktoren auf die Wegfindung .....	75
Tabelle 4-2: Zusammenfassung der möglichen Visualisierungen für die Wegfindung .....	82
Tabelle 4-3: mögliche graphische Darstellungen für einen Kommissionierauftrag ...	98
Tabelle 4-4: Einzelnen Masken und die Interaktion in den Masken mit den beiden Eingabegeräten Dreh-/Drückknopf (DDK) und Spracheingabe .....	102
Tabelle 5-1: Aufbau der Benutzeroberfläche beim FM1 .....	114
Tabelle 6-1: Auftragsstruktur beim Labortest zum FM1 .....	117
Tabelle 6-2: Zusammenfassung Probandenstruktur im Labortest zu FM1 .....	122

Tabelle 6-3: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Kommissionierfehler im Labortest zu FM1 .....	127
Tabelle 6-4: Ergebnisse der Varianzanalyse (ohne Ausreißer) zur Kommissionierzeit .....	129
Tabelle 6-5: Ergebnisse zweifaktorielle Varianzanalyse über alle Probanden (inkl. Ausreißer) zu Lerneffekten bei der Kommissionierzeit im Labortest zu FM1...	130
Tabelle 6-6: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Kommissionierzeit im Labortest zu FM1 .....	132
Tabelle 6-7: Vergleich der drei Technologien mit MTM-1 ohne Berücksichtigung von Wiederholungen von Sprachein- und -ausgaben.....	139
Tabelle 6-8: Auftragsstruktur bei der praxisnahen Versuchsreihe zu FM1 .....	141
Tabelle 6-9: Zusammenfassung Probandenstruktur praxisnahe Versuchsreihe zu FM1 .....	145
Tabelle 6-10: Zusammenfassung der Auswertung für die Kommissionierfehler .....	148
Tabelle 6-11: Zusammenfassung der Auswertung der Kommissionierzeit bei der praxisnahen Versuchsreihe .....	154
Tabelle 6-12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuchsreihen zum FM1 ..	161
Tabelle 7-1: Vor- und Nachteile von akustischem Tracking.....	164
Tabelle 7-2: Vor- und Nachteile von elektromagnetischem Tracking.....	165
Tabelle 7-3: Vor- und Nachteile von WLAN-Tracking .....	167
Tabelle 7-4: Vor- und Nachteile von RFID-Tracking .....	168
Tabelle 7-5: Vor- und Nachteile von inertialem Tracking .....	168
Tabelle 7-6: Vor- und Nachteile von mechanischem Tracking.....	169
Tabelle 7-7: Vor- und Nachteile von optischem Tracking .....	170
Tabelle 8-1: Auftragsstruktur beim Labortest mit dem FM2 .....	192
Tabelle 8-2: Zusammenfassung Probandenstruktur Labortest FM2.....	198
Tabelle 8-3: Zusammenfassung der Auswertung für die Kommissionierfehler (Systemfehler ist bei Werten in Klammer herausgerechnet) .....	204
Tabelle 8-4: Varianzanalyse zu den Kommissionierzeiten beim Labortest zu FM2	205
Tabelle 8-5: Varianzanalyse zur Abhängigkeit der Kommissionierzeit von der Reihenfolge der Technik beim Labortest zum FM2 .....	207
Tabelle 8-6: Zusammenfassung der Einflüsse auf die Kommissionierzeit beim Labortest zu FM2 .....	208

Tabelle 8-7: Varianzanalyse zur mentalen Belastung der Techniken beim Labortest zu FM2 .....	209
Tabelle 9-1: Gegenüberstellung der Ziele des Forschungsantrages und der Ergebnisse .....	212

## Formelverzeichnis

Formel 2-1: Kommissionierleistung [Pos/h] .....	19
Formel 2-2: Berechnung der Kommissionierleistung aus der Kommissionierzeit für einen Probanden .....	20
Formel 2-3: Berechnung der Fehlerquote für einen Kommissionierer .....	21

## Anhang A

Beim Einsatz einer Nutzwertanalyse erfolgt mit einem paarweisen Vergleich die Gewichtung der Entscheidungskriterien untereinander. Den Entscheidungskriterien sind Zielerfüllungsgraden zugeordnet. Für die Bewertung der Einsatzszenarien, der Datenbrillen, der Interaktionsgeräte und der Trackingsysteme sind im Folgenden der paarweise Vergleich, die Zielerfüllungsgrade und die Nutzwertanalyse dargestellt.

### **Bewertung der Einsatzszenarien**

Gewichtung der einzelnen Kriterien untereinander

Entscheidungskriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Summe	Gewichtungsfaktor
1. Reduzierung der Wegzeit		0	1	1	1	2	2	1	2	10	0,139 => 0,15
2. Reduzierung von Totzeiten	2		2	2	1	2	2	1	2	14	0,194 => 0,20
3. Reduzierung der Basiszeit	1	0		1	0	1	1	0	1	5	0,069 => 0,05
4. Einblenden von Bildern	1	0	1		0	2	1	1	2	8	0,111 => 0,10
5. Hervorhebung Lagerfach	1	1	2	2		2	2	1	2	13	0,181 => 0,20
6. Anzeige Ablagebehälter	0	0	1	0	0		1	1	1	4	0,056 => 0,05
7. technische Umsetzung	0	0	1	1	0	1		0	1	4	0,056 => 0,05
8. Arbeitssicherheit und Ergonomie	1	1	2	1	1	1	2		1	10	0,139 => 0,15
9. Erhöhung der Flexibilität	0	0	1	0	0	1	1	1		4	0,056 => 0,05
Summe										72	1

Zielerfüllungsgrade für die Kriterien

Zielerfüllungsgrad	0-2	3-5	6-8
Entscheidungskriterien	schlecht	mittel	gut
1. Reduzierung Wegzeit	Wegzeit wird nicht bzw. kaum beeinflusst	Reduzierung der Wegzeit	erhebliche Reduzierung der Wegzeit
2. Reduzierung der Totzeiten	keine bzw. kaum Reduzierung der Totzeiten	Reduzierung der Totzeiten	erhebliche Reduktion der Totzeiten
3. Reduzierung der Basiszeit	keine bzw. kaum Reduzierung der Basiszeit	Reduzierung der Basiszeit	erhebliche Reduzierung der Basiszeit
4. Einblenden von Bildern	nicht sinnvoll	kann Kommissionierqualität erhöhen	erhöht Kommissionierqualität
5. Hervorhebung Lagerfach	nicht sinnvoll	kann Kommissionierqualität erhöhen	erhöht Kommissionierqualität
6. Anzeige Ablagebehälter	nicht nötig bzw. nicht sinnvoll	kann Kommissionierqualität erhöhen	erhöht Kommissionierqualität

Zielerfüllungsgrad	0-2	3-5	6-8
Entscheidungskriterien	schlecht	mittel	gut
7. technische Umsetzung	schwierig	mittel	einfach
8. Arbeitssicherheit und Ergonomie	erhöhte Gefahr / keine Entlastung für den Mitarbeiter	kaum Gefahr / kaum Entlastung für den Mitarbeiter	keine Gefahr / Entlastung für den Mitarbeiter
9. Erhöhung der Flexibilität	keine Erhöhung der Flexibilität	Erhöhung der Flexibilität	erhebliche Erhöhung der Flexibilität

### Nutzwertanalyse zur Bewertung der Einsatzszenarien von Pick-by-Vision

Szenario	Kriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Summe
		0,15	0,20	0,05	0,10	0,20	0,05	0,05	0,15	0,05	
A	Zielerfüllung	2	6	9	5	9	0	5	6	9	
	Nutzwert	0,30	1,20	0,45	0,50	1,80	0,00	0,25	0,90	0,45	5,85
B	Zielerfüllung	2	3	9	4	2	0	7	7	7	
	Nutzwert	0,30	0,60	0,45	0,40	0,40	0,00	0,35	1,05	0,35	3,90
C	Zielerfüllung	9	9	5	6	9	7	2	4	7	
	Nutzwert	1,35	1,80	0,25	0,60	1,80	0,35	0,10	0,60	0,35	7,20
D	Zielerfüllung	9	5	7	4	2	0	6	7	5	
	Nutzwert	1,35	1,00	0,35	0,40	0,40	0,00	0,30	1,05	0,25	5,10
E	Zielerfüllung	0	3	0	7	5	0	8	6	5	
	Nutzwert	0,00	0,60	0,00	0,70	1,00	0,00	0,40	0,90	0,25	3,85
F	Zielerfüllung	1	3	0	0	3	0	8	5	5	
	Nutzwert	0,15	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00	0,40	0,75	0,25	2,75
G	Zielerfüllung	7	9	6	6	7	5	3	6	4	
	Nutzwert	1,05	1,80	0,30	0,60	1,40	0,25	0,15	0,90	0,20	6,65
H	Zielerfüllung	5	3	0	0	3	0	7	5	4	
	Nutzwert	0,75	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00	0,35	0,75	0,20	3,25
I1	Zielerfüllung	-	9	-	7	5	9	9	7	9	
	Nutzwert	-	1,80	-	0,70	1,00	0,45	0,45	1,05	0,45	5,90
I2	Zielerfüllung	2	6	4	5	6	0	6	6	7	
	Nutzwert	0,30	1,20	0,20	0,50	1,20	0,00	0,30	0,90	0,35	4,95

### Bewertung der Datenbrillen

#### Gewichtung der Entscheidungskriterien

Entscheidungskriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe	Gewichtungsfaktor
1. FoV		1	1	2	2	1	1	2	1	2	13	0,14 => 0,15
2. Bauart	2		1	1	2	1	1	2	2	1	13	0,14 => 0,15
3. Okularität	1	0		1	2	0	1	2	1	1	9	0,10
4. Auflösung	0	1	1		1	1	1	2	1	1	9	0,10
5. Bildwiederhol- frequenz	0	0	0	1		0	0	1	0	1	3	0,03 => 0,05
6. Gewicht	1	1	2	1	2		2	2	1	1	13	0,14 => 0,15
7. Ergonomie	1	1	1	1	2	0		2	1	2	11	0,12 => 0,10
8. Bildqualität	0	0	0	0	1	0	0		1	1	3	0,03 => 0,05
9. Industrielle Tauglichkeit	1	0	1	1	2	1	1	1		2	10	0,11 => 0,10
10. Kosten	0	1	1	1	1	1	0	1	0		6	0,07 => 0,05
Summe											90	1

## Ausprägungen der Entscheidungskriterien

Zielerfüllungsgrad	1	3	5
Entscheidungskriterien	schlecht	mittel	gut
1. FoV*	< 20° horizontal	< 30° horizontal	> 30° horizontal
2. Bauart	Look-Around	OST (FoV eingeschränkt)	OST (FoV frei)
3. Okularität	binokular	biokular	monokular
4. Auflösung	640x400	800x600	> 800x600
5. Bildwiederholfrequenz	< 60 Hz	60 Hz	> 70 Hz
6. Gewicht**	> 200g	< 200g	< 100g
7. Ergonomie	keine Verstellung Tragegestell, keine Zertifikate	Verstellung Tragegestell, keine Zertifikate	Verstellung Tragegestell, Zertifikate
8. Bildqualität	kein Kontrast einstellbar, keine Farbauswahl	Kontrast einstellbar, keine Farbauswahl	automatischer Kontrast, Farbauswahl
9. Industrielle Tauglichkeit	keine Zertifikate, Akkulaufzeit < 4h	Zertifikate, Akkulaufzeit < 6	Zertifikate, Tiefkühltauglichkeit, Akkulaufzeit > 6
10. Kosten	> 10.000 Euro	7.000-10.000 Euro	7.000 Euro

\* Kein HMD erreicht ein FoV von 150° horizontal und 60° vertikal. Deswegen werden die Anforderungen heruntergesetzt. Der wichtigste Wert ist der horizontale FoV, so dass dieser betrachtet wird. Monokulare HMDs haben generell einen kleineren FoV. Da bis auf das Sony Glasstron (und das Zeiss HMD sowie die Lumus PD-20 Series, die jeweils als monokulare und binokulare Variante gibt) nur monokulare HMD betrachtet werden, wird kein Unterschied gemacht.

\*\* Für viele HMDs ist nur das Gewicht des Visors, also der Visualisierungseinheit, angegeben. Daher wird für einen Visor, der auf herkömmliche Brillen montiert werden kann, 50g, und für einen, der ein spezielles Tragegestell braucht, 100g hinzugezählt.

## Nutzwertanalyse zur Bewertung von HMDs

HMD	Kriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe
icuiti M920-CF	Zielerfüllung	3	1	5	1	3	3	1	3	1	5	
	Nutzwert	0,45	0,15	0,50	0,10	0,15	0,45	0,10	0,15	0,10	0,25	2,40
Liteeye LE-750	Zielerfüllung	3	3	5	3	5	1	3	3	5	5	
	Nutzwert	0,45	0,45	0,50	0,30	0,25	0,15	0,30	0,15	0,50	0,25	3,30
Lumus PD-10	Zielerfüllung	3	5	5	3	3	3	3	3	3	5	
	Nutzwert	0,45	0,75	0,50	0,30	0,15	0,45	0,30	0,15	0,30	0,25	3,60
Lumus PD-25	Zielerfüllung	5	5	5	1	-	5	3	3	1	-	
	Nutzwert	0,75	0,75	0,50	0,10	-	0,75	0,30	0,15	0,10	-	3,40
Micro-optical	Zielerfüllung	1	1	5	1	3	3	1	5	3	5	
	Nutzwert	0,15	0,15	0,50	0,10	0,15	0,45	0,10	0,25	0,30	0,25	2,40
Micro-vision	Zielerfüllung	3	5	5	3	3	1	5	3	5	5	
	Nutzwert	0,45	0,75	0,50	0,30	0,15	0,15	0,50	0,15	0,50	0,25	3,70
RCO ProView	Zielerfüllung	3	1	5	3	5	1	3	5	5	3	
	Nutzwert	0,45	0,15	0,50	0,30	0,25	0,15	0,30	0,25	0,50	0,15	3,00
Shimadzu	Zielerfüllung	3	3	5	3	3	5	3	3	1	5	
	Nutzwert	0,45	0,45	0,50	0,30	0,15	0,75	0,30	0,15	0,10	0,25	3,40
Sony Glasstron	Zielerfüllung	3	1	3	3	5	5	3	3	1	5	
	Nutzwert	0,45	0,15	0,30	0,30	0,25	0,75	0,30	0,15	0,10	0,25	3,00
Zeiss HMD	Zielerfüllung	5	5	5	3	-	5	3	3	1	-	
	Nutzwert	0,75	0,75	0,50	0,30	-	0,75	0,30	0,15	0,10	-	3,60

## Bewertung des Interaktionsgeräts

### Bewertungskriterien für die Interaktionsgeräte

Entscheidungskriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	Summe	Gewichtungsfaktor
1. Bestätigung		2	2	2	2	2	2	2	14	0,25
2. Menüaufruf	0		1	2	0	1	1	1	6	0,11 => 0,10
3. Scrollen	0	1		1	0	1	1	1	6	0,11 => 0,10
4. Buchstaben und Zahlen	0	0	1		1	1	1	1	5	0,09 => 0,10
5. Umsetzbarkeit	0	1	1	1		1	2	1	7	0,13 => 0,15
6. Ergonomie	0	1	1	1	1		1	2	7	0,13 => 0,15
7. Industrietauglichkeit	0	1	1	1	0	1		2	6	0,11 => 0,10
8. Kosten	0	1	1	1	1	0	0		4	0,09 => 0,05
Summe									56	1

### Ausprägungen für die Bewertungskriterien für die Interaktionsgeräte

Zielerfüllungsgrad	1	3	5
Entscheidungskriterien	schlecht	mittel	gut
1. Bestätigung	mehrere zusätzliche Handbewegungen	zusätzliche Handbewegung nötig	hands-free
2. Menüaufruf	mehrere zusätzliche Handbewegungen	zusätzliche Handbewegung nötig	hands-free
3. Scrollen	nicht intuitiv	intuitiv	hands-free
4. Buchstaben und Zahlen	hingreifen und hinschauen nötig	einfach und intuitiv, während Arbeit	hands-free
5. Umsetzbarkeit	unter hohem Aufwand integrierbar	unter Aufwand integrierbar	einfach integrierbar und austauschbar
6. Ergonomie	schwierig montierbar, kleine Bedienteile, > 200g	am Benutzer montierbar, kleine Bedienteile, < 200g	leicht in Kleidung integrierbar, große Bedienteile, < 100g
7. Industrietauglichkeit	Gefährdung, kein robuste Bauart	keine Gefährdung, verstärkte Bauart	keine Gefährdung, robuste Bauart
8. Kosten	> 800 Euro	< 800 Euro	< 400 Euro

### Nutzwertanalyse zu Interaktionsgeräten

Kriterien	Gewichtung	Armtastatur		Dreh-/Drückknopf		Funktions-tasten, Button		Sprachbedienung	
		Zielerfüllung	NW	Zielerfüllung	NW	Zielerfüllung	NW	Zielerfüllung	NW
Bestätigen	0,25	1	0,25	3	0,75	3	0,75	5	1,25
Menüaufruf	0,10	1	0,10	3	0,30	1	0,10	5	0,50
Scrollen	0,10	1	0,10	3	0,30	1	0,10	5	0,50
Buchstaben und Zahlen	0,10	5	0,50	3	0,30	1	0,10	5	0,50
Umsetzbarkeit	0,15	5	0,75	3	0,45	5	0,75	1	0,15
Ergonomie	0,15	1	0,15	5	0,75	5	0,75	3	0,45
Industrietauglichkeit	0,10	1	0,10	5	0,50	3	0,30	3	0,30
Kosten	0,05	3	0,15	5	0,25	5	0,25	1	0,05
		Σ	2,10	Σ	3,60	Σ	3,10	Σ	3,70

## Bewertung von Trackingsystemen

### Gewichtung der Entscheidungskriterien

Entscheidungs-kriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Summe	Gewichtungs-faktor
1. Anzahl Objekte		0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,01 => 0,05
2. Ergonomie	2		1	1	2	1	2	2	2	13	0,18 => 0,20
3. Freiheitsgrade	0	1		1	2	0	1	2	1	8	0,11 => 0,10
4. Genauigkeit	2	1	1		1	1	2	1	2	11	0,15
5. Kosten	2	0	1	1		0	1	0	1	6	0,08 => 0,05
6. Latenzzeit	2	1	1	1	2		2	1	2	12	0,17 => 0,15
7. Messraum	1	0	1	0	1	0		1	1	5	0,07 => 0,05
8. Robustheit	2	0	2	1	2	1	1		1	10	0,14 => 0,15
9. Zuverlässigkeit	2	0	1	0	1	0	1	1		6	0,08 => 0,10
Summe										72	1

### Ausprägungen der Entscheidungskriterien

Zielerfüllungsgrad	1	3	5
Entscheidungskriterien	schlecht	mittel	gut
1. Anzahl Objekte	1	bis 3	mehr als 3
2. Ergonomie	Kabel, Gewicht hoch, viele Komponenten	kabellos, Gewicht mittel, viele Komponenten	kabellos, Gewicht gering, wenige Komponenten
3. Freiheitsgrade	2	3	6
4. Genauigkeit	< 1m	< 20cm	< 3cm
5. Kosten / Benutzer	> 500 Euro	< 500 Euro	< 100 Euro
6. Latenzzeit	> 100ms	100 bis 70 ms	< 70ms
7. Messraum	< 10 m <sup>2</sup>	bis 50 m <sup>2</sup>	unendlich (theoretisch)
8. Robustheit	Einflüsse durch Metall und Licht, Sichtverbindung nötig	Einfluss von Metall oder Licht	keine Einflüsse, keine Sichtverbindung
9. Zuverlässigkeit	gering	mittel	hoch

### Nutzwertanalyse zur Bewertung von Trackingsysteme

	Kriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Summe
Technik		0,05	0,20	0,10	0,15	0,05	0,15	0,05	0,15	0,10	
akustisch	Zielerfüllung	3	3	5	3	5	3	3	1	3	
	Nutzwert	0,15	0,60	0,50	0,45	0,25	0,45	0,15	0,15	0,30	3,00
elektro-magn.	Zielerfüllung	3	3	5	3	3	3	1	3	5	
	Nutzwert	0,15	0,60	0,50	0,45	0,15	0,45	0,05	0,45	0,50	3,30
Funk (WLAN)	Zielerfüllung	5	5	3	1	5	3	5	3	3	
	Nutzwert	0,25	1,00	0,30	0,15	0,25	0,45	0,25	0,45	0,30	3,40
Funk (RFID)	Zielerfüllung	3	5	3	3	3	3	1	3	5	
	Nutzwert	0,15	1,00	0,30	0,45	0,15	0,45	0,05	0,45	0,50	3,50
Funk (DGPS)	Zielerfüllung	5	5	3	1	5	1	5	3	5	
	Nutzwert	0,25	1,00	0,30	0,15	0,25	0,15	0,25	0,45	0,50	3,30
inertial	Zielerfüllung	1	5	5	1	3	1	5	5	3	
	Nutzwert	0,05	1,00	0,50	0,15	0,15	0,15	0,25	0,75	0,30	3,30
mecha-nisch	Zielerfüllung	1	1	5	5	1	5	1	5	5	
	Nutzwert	0,05	0,20	0,50	0,75	0,05	0,75	0,05	0,75	0,50	3,60
optisch, Vi, in-out	Zielerfüllung	5	3	5	3	5	3	5	3	3	
	Nutzwert	0,25	0,60	0,50	0,45	0,25	0,45	0,25	0,45	0,50	3,70
optisch, IR, out-in	Zielerfüllung	5	5	5	5	1	3	3	3	5	
	Nutzwert	0,25	1,0	0,50	0,75	0,05	0,45	0,15	0,45	0,50	4,10

# Anhang B

## Lastenheft

<b>1. Hardware</b>				
<b>1.1. Visualisierungsmedium</b>				
1.1.1.	Position des Displays	direkt vor dem Auge	M	Im Antrag wird angegeben, dass eine Datenbrille verwendet wird, aber nicht welche.
1.1.2.	Sichtfeld (FoVE)	keine Verdeckung	M	Das Display wird im industriellen Umfeld eingesetzt. Aus Sicht der Arbeitssicherheit darf die Sicht des Arbeiters nicht eingeschränkt werden, um mögliche Arbeitsunfälle zu vermeiden.
1.1.3.	FoVD	150° horizontal, 60° vertikal	S	Dies ist der Bereich, in dem die virtuellen Objekte angezeigt werden können.
1.1.4.	Auflösung	mind. 800x600 Pixel	M	Dies ist eine Mindestanforderung an moderne Datenbrillen.
1.1.5.	Bildwiederholffrequenz	mind. 60 Hz	M	Die Bildwiederholffrequenz bestimmt, als wie angenehm der Mensch das Bild findet. Bei zu niedriger Frequenz ruckelt das Bild und dies ist auf Dauer störend.
1.1.6.	Kontrast	verstellbar	S	Die Umweltbedingungen können im industriellen Umfang schwanken, deshalb soll sich der Kontrast des Displays daran anpassen lassen bzw. sich automatisch daran anpassen.
1.1.7.	Displayfarben	farbig	S	Farben sind ein wichtiges Gestaltungsmerkmal (z. B. rot für wichtige Elemente).
1.1.8.	Gewicht	< 200g	M	Da das HMD vom Kommissionierer über den ganzen Tag getragen wird, ist ein niedriges Gewicht eine Grundvoraussetzung, um gesundheitlichen Folgen vorzubeugen.
1.1.9.	Tragekomfort	hoch	M	Optimal ist die Schwerpunktlage nahe dem Kopfzentrum. Wünschenswert ist ein nach hinten verlagerter Schwerpunkt. Das Gewicht soll gleichmäßig auf Nase und Ohren verteilt werden. Kopf- und HMD-Schwerpunkt sollten möglichst zusammenfallen.
1.1.10.	Tragegestell	individuell einstellbar	M	Zum Tragekomfort gehört auch, dass sich der Mensch das Tragegestell optimal auf seine individuelle Kopfform einstellen kann.
1.1.11.	mit Brille benutzbar	ja	M	Das HMD soll für Brillenträger ohne Einschränkungen mit der Brille benutzbar sein.
1.1.12.	Arbeitssicherheit	gewährleisten	M	Da es im industriellen Umfeld eingesetzt wird, darf es die Arbeitssicherheit der Mitarbeiter nicht gefährden, z. B. dürfen keine Kabel abstehen, die sich irgendwo verhaken können.
1.1.13.	Robustheit	hoch	M	Für den industriellen Einsatz sollte das Gerät möglichst robust gebaut sein und auch mit Handschuhen bedient werden können. Es sollte Stürze aus 1,5m Höhe aushalten.
1.1.14.	Kosten	max. 7.000 €	M	
<b>1.2. Interaktionsgerät</b>				
1.2.1.	Bedienung	intuitiv	M	Das Gerät soll sich leicht, schnell und intuitiv bedienen lassen, um die Akzeptanz zu erhöhen und eine kurze Einlernphase zu ermöglichen.
1.2.2.	Benutzen der Hände	hands-free	S	Die Interaktionstechnik ist so zu wählen, dass der Kommissionierer (meistens) beide Hände für die Kommissionierung zur Verfügung hat.
<b>1.2.3. durchzuführende Interaktionen</b>				
1.2.3.1.	Quittierung einer	nach jeder	M	Die Quittierung ist die wichtigste vom Kommissionierer zu

	Entnahme	Position		tätigende Interaktion und muss mit dem System einfach durchzuführen sein.
1.2.3.2.	Quittierung Arbeitsschritt	nach jedem Arbeitsschritt	M	Bei der Anzeige der einzelnen Arbeitsschritte muss dieser nach der Abarbeitung quittiert werden.
1.2.3.3.	Nulldurchgang melden		M	Neben der Quittierung ist der Nulldurchgang die wichtigste Meldung, die der Kommissionierer an das System weitergeben muss. So wird der Nachschub ausgelöst und die Inventur unterstützt.
1.2.3.4.	Fehlermanagement	Fehlmengen	S	Die Eingabe und die Korrektur von einfachen Fehlern, z.B. Fehlmengen auf einem Lagerplatz, sollen möglich sein.
1.2.4.	Austauschbarkeit	einfach	M	Es sollen verschiedene Technologien getestet werden.
1.2.5.	Integration in das System	einfach	M	Das Gerät muss sich leicht in das Gesamtsystem integrieren lassen, z.B. Integration in den mobilen PC oder in die Arbeitskleidung.
1.2.6.	Arbeitssicherheit	gewährleisten	M	Da es im industriellen Umfeld eingesetzt wird, darf es die Arbeitssicherheit der Mitarbeiter nicht gefährden, z.B. dürfen keine Kabel abstehen, die sich irgendwo verhaken können.
1.2.7.	Robustheit	hoch	M	Es muss auch mit Handschuhen ohne Probleme bedient werden können, resistent gegen Schmutz sein; und soll Stürze aus 1,5m ohne Probleme überstehen.
1.2.8.	Kosten	< 800 Euro	S	
<b>1.3. Mobiler PC</b>				
1.3.1.	Gewicht	< 1,5kg	M	Der Kommissionierer trägt den mobilen PC den ganzen Tag mit sich. Evtl. ist eine Integration in die Arbeitskleidung möglich.
1.3.2.	Tragekomfort	hoch	M	Der Kommissionierer trägt den mobilen PC den ganzen Tag mit sich. Evtl. ist eine Integration in die Arbeitskleidung möglich.
1.3.3.	Tragegestell	individuell einstellbar	M	Zum Tragekomfort gehört auch, dass sich der Mensch das Tragegestell optimal auf seine individuellen Bedürfnisse einstellen kann.
1.3.4.	Leistung	2 GHz, dual Core	S	Hängt davon ab, welche Anwendungen darauf laufen (gesamtes Tracking, Sensorfunktion, Visualisierung, Videoverarbeitung,...) sollen
1.3.5.	RAM-Speicher	2 GHz	S	Hängt davon ab, welche Anwendungen darauf laufen (gesamtes Tracking, Sensorfunktion, Visualisierung, Videoverarbeitung,...). Ein Zwischenspeicher ist wichtig, da das Gerät auch teilweise offline laufen und somit Funklöchern vorbeugen kann und das Netz nicht zu sehr beansprucht wird.
1.3.6.	ROM-Speicher	40 GB	S	Hängt davon ab, welche Anwendungen darauf laufen (gesamtes Tracking, Sensorfunktion, Visualisierung, Videoverarbeitung,...).
1.3.7.	Ausfallsicherheit	> 99 %	M	Wenn keine Notfalllösung (z.B. Papierliste) integriert ist, sollte diese bei 100 % liegen.
1.3.8.	Akkukapazität	mind. 8h	M	Eine Schicht dauert normal 8 Stunden, währenddessen sollte das Gerät nicht aufgeladen werden müssen. Es gibt aber die Möglichkeit, dass es in den Pausen aufgeladen wird.
1.3.9.	Robustheit	hoch	M	Für den industriellen Einsatz sollte das Gerät möglichst robust gebaut sein und z.B. Stürze aus Hüfthöhe überstehen. Dazu sollte es robust gegenüber elektromagnetischer Strahlung im Produktionsumfeld sein.
1.3.10.	Arbeitssicherheit	gewährleisten	M	Da er im industriellen Umfeld eingesetzt wird, darf er die Arbeitssicherheit der Mitarbeiter nicht gefährden. Es soll keine nach außen stehenden Kabel geben. Am besten wird das Gerät in die Arbeitskleidung integriert.
1.3.11.	Kosten	< 2.500 Euro	M	

<b>1.4.</b>	<b>Server</b>			
1.4.1.	Rechnertyp	Standard	M	Es soll kein spezieller Rechner für den Aufbau des Systems nötig sein.
1.4.2.	Leistung	mind. 2GHz	M	
1.4.3.	RAM-Speicher	mind. 1GB	M	
1.4.4.	Festplatte	40 GB	S	
1.4.5.	Schnittstellen	Standard	M	WLAN, USB etc.
1.4.6.	Ausfallsicherheit	100 %	M	Da der Server das zentrale Element im System ist darf er nicht ausfallen, denn er bekommt die Daten vom WMS, schickt sie weiter an die Clients etc.
1.4.7.	Kosten	0 Euro	S	Wird vom Lehrstuhl gestellt.
<b>1.5.</b>	<b>bidirektionale Kommunikation</b>			
1.5.1.	Übertragungsmedium	kabellos	M	Die Daten vom Server zum Client sollen kabellos übertragen werden, da Kabel die Flexibilität des Systems einschränken und den Kommissionierer behindern. Auch wegen dem Arbeitsschutz sind abstehende Kabel zu vermeiden.
1.5.2.	vorhandene Netzwerke	Integration möglich	M	In vorhandene drahtlose Netzwerke (fml-Halle bzw. auch bei Industriepartnern) soll das System integriert werden können.
1.5.3.	Technologie	Standard	M	Da es in vorhandene drahtlose Netzwerke integriert werden soll, werden Standardtechnologien (z.B. WLAN) verwendet.
1.5.4.	Übertragungskapazität	genügend	S	Je nachdem viel Datenaustausch nötig ist, muss die Kapazität erreicht werden (hängt davon ab, welche Services auf dem Server und auf dem Client ausgeführt werden).
1.5.5.	Erweiterungsfähigkeit	ja	M	Der Anschluss mehrerer Clients muss möglich sein.
1.5.6.	Robustheit	hoch	M	Strahlung, die im industriellen Umfeld durch Maschinen oder andere Funknetzwerke verursacht wird, darf keine Auswirkungen haben.
1.5.7.	Kosten	max. 2.000€	M	
<b>1.6.</b>	<b>Tracking</b>			
1.6.1.	Genauigkeit	Präzise für den Anwendungsfall	M	Das Tracking muss so genau sein, dass der Kommissionierer den Lagerplatz mit der Entnahmeeinheit ohne Probleme sofort erkennen kann. Die Genauigkeit hängt von der Größe der Lagerplätze ab (Palettenlager ist weniger kritisch als Kleinteilelager) und davon ob im Fernbereich (Lagergasse) oder Nahbereich (Lagerfach) getrackt wird.
1.6.2.	Robustheit	störungsfrei	M	Es soll robust gegenüber allen Umwelteinflüssen im Lager sein (z.B. Lichtverhältnisse, Verschmutzung).
1.6.3.	Geschwindigkeit	in Echtzeit	M	Es sollen z.B. schnelle Kopfbewegungen des Menschen abgefangen werden.
1.6.4.	Weiträumigkeit	ja	M	In großen Lagerumgebungen (Szenario C) muss es den gesamten Lagerbereich abdecken.
1.6.5.	Verkabelung	vermeiden	M	Kabel stören den Mitarbeiter und schränken seine Bewegungsfreiheit ein. Wenn am Mann eine Verkabelung nötig ist, soll diese in die Kleidung integriert werden. Auch wegen dem Arbeitsschutz sind abstehende Kabel zu vermeiden.
1.6.6.	Kosten	max. 5.000€	M	
<b>2.</b>	<b>Software</b>			
<b>2.1.</b>	<b>Visualisierung</b>			
2.1.1.	Text		M	Die Mindestanforderung ist das Einblenden von Text.
2.1.2.	Zeichengröße	mind. 17px	M	Wichtig ist, dass der Kommissionierer keine Probleme hat die Informationen zu lesen. Dies führt sonst zu Zeitverzögerungen und Müdigkeit.
2.1.3.	Lesbarkeit	hoch	M	Neben der Zeichengröße spielt eine generelle Lesbarkeit der Informationen aus dem gleichen Grund eine wichtige

				Rolle (Zeilenabstand, Anordnung der Zeichen, etc.).
2.1.4.	Leserichtung	links oben nach rechts untern	M	Die natürliche Leserichtung muss eingehalten werden. Für einen Europäer ist dies von links oben nach rechts unten.
2.1.5.	Mehrsprachigkeit	dt., engl.	S	Da in Kommissionierbereichen meist Mitarbeiter aus unterschiedlichen Ländern kommen, sollten auch mehrere Sprachen zur Auswahl stehen.
2.1.6.	Individualisierung	möglich	S	Der Kommissionierer kann sich aussuchen, welche Daten er sich anzeigen lassen will und wie, z.B. benutzerabhängiges GUI bzw. gruppenspezifisches GUI (Anfänger, Leiharbeiter, Erfahrene,...).
2.1.7.	graphische Unterstützung	ja	M	Neben Textelementen soll der Kommissionierer auch graphisch unterstützt werden. Piktogramme sagen oft mehr als Worte; das Einblenden von Bildern der zu entnehmenden Artikel kann auch hilfreich sein.
2.1.8.	Kodierung/ Strukturierung	optimal	M	Die Einteilung der Anzeige soll optimal strukturiert sein, damit der Kommissionierer die benötigten Daten sofort findet und diese eindeutig identifizieren kann, z.B. impliziert die Darstellungsgröße von Objekten deren Bedeutung
2.1.9.	räumliche Einteilung		M	Beispielsweise bedeutet eine Platzierung oberhalb anderer Objekte eine größere Wichtigkeit/ Rangfolge.
2.1.10.	Farbgebung	angepasst	M	Der Einsatz von Komplementärfarben ist sinnvoll. Dabei muss jedoch Rot-Grün-Blindheit berücksichtigt werden. Eine möglichst bekannte Farbsymbolik soll konsistent verwendet werden. Die Farben in industriellem Umfeld sind zu beachten.
2.1.11.	Informationsdichte	angepasst	M	Es sollen nicht zu viele, aber auch nicht zu wenige Informationen angezeigt werden.
2.1.12.	Anzahl der Informationen	nur soviel wie nötig	M	7 +/- 2 psychologische Einheiten der Informationsaufnahme als Maximum des Menschen. Wie viele verschiedene Informationen (Weg, Pick,...) sieht der Kommissionierer gleichzeitig? Drei Daten sind für die Anwender aus der Praxis unentbehrlich (Artikelnummer, Standort, Anzahl).
2.1.13.	Aktualität der Informationen	stets aktuell	M	Dem Kommissionierer sollen stets die aktuellen Informationen angezeigt werden (in Verbindung mit online Datenaustausch).
2.1.14.	Weginformationen	ja	M	Es ist sicherlich nicht für alle Kommissioniersysteme erforderlich Weginformationen anzuzeigen, aber in manchen Fällen macht es Sinn.
<b>2.1.14.</b>	<b>Wegfindung</b>			
2.1.14.1	Systematik		M	Das Anzeigen des Wegs soll einer gewissen Systematik folgen; der Mensch soll keine unerwarteten Aktionen ausgesetzt sein
2.1.14.2	Metaphern	eindeutig	M	Mit eindeutigen, vielleicht auch schon aus dem realen Leben bekannten Metaphern findet sich der Mensch besser zurecht und findet schneller den Weg.
<b>2.2.</b>	<b>Interaktion</b>			
2.2.1.	Integration Interaktionsgeräte	verschiedene	M	Es soll zwar nur ein Interaktionsgerät pro Kommissionierer verwendet werden, aber dieses soll beliebig ausgetauscht werden können (z.B. Versuche mit verschiedenen Interaktionsgeräten).
2.2.2.	Dialogführung	stabil	M	Es sollen stets die gleichen Metaphern verwendet werden. Es dürfen keine langen Verzögerungen auftreten.
2.2.3.	Bedienung	intuitiv	M	Da nur eine kurze Einlernphase nötig sein soll, die Bediener nicht zu den Hochqualifizierten gehören und möglichst wenig Fehler passieren dürfen, sollen einfache vielleicht bereits bekannte Metaphern verwendet werden.
2.2.4.	Einstellen des Dialogs	individuell	M	Der Mensch bringt eine bessere Leitung, wenn er die Arbeitsmittel an sich anpassen kann und er fühlt, dass er

				ein Mitspracherecht hat. Außerdem sind alle Menschen verschieden und haben andere Vorstellungen von der Dialogführung.
2.2.5.	Reaktionszeiten	< 70ms	M	Damit der Kommissionierer keine lästigen Wartezeiten (= Totzeiten) hat, sollte die Antwort auf seine Eingaben so schnell wie möglich kommen.
2.2.6.	Rückmeldung	auf jede Aktion	M	Dem Kommissionierer muss auf jede seiner Aktionen eine eindeutige Rückmeldung bekommen. Dies kann optisch oder akustisch erfolgen.
<b>2.3. Bidirektionale Kommunikation</b>				
2.3.1.	Übertragungsprotokoll	TCP / IP	M	Auch beim Übertragungsprotokoll soll auf Standardtechnologien zurückgegriffen werden.
2.3.2.	Verschlüsselung der Daten	vorhanden	S	In der Laborumgebung ist dies nicht so wichtig, aber beim Einsatz in der Industrie muss darauf geachtet werden, dass keine Daten nach außen dringen können (Abhörsicherheit).
2.3.3.	Funklöcher	Handhabung	S	In einem großen Lagerbereich kann es zu Funklöchern kommen; es soll eine Methode implementiert werden, damit dies keine Rolle spielt. Funklöcher können den online-Datenaustausch behindern.
2.3.4.	Datenübermittlung	online	M	Damit der Kommissionierer die ständig aktuellen Daten hat und an das WMS sofort Änderungen übertragen werden, soll ein online-Datenaustausch stattfinden. Zwischenspeichern am Gerät soll möglich sein (z.B. ein Auftrag, keine Batchbildung).
2.3.5.	Datenaustausch	direkt	M	Der Austausch zwischen Server und Client soll direkt ohne eine spezielle Middleware erfolgen.
<b>2.4. Softwareaufbau</b>				
2.4.1.	Architektur	3-Tier	S	Die Aufteilung in die drei Schichten client tier, application-server tier und data-server tier unterstützt den modularen Aufbau und die Flexibilität.
2.4.2.	Schnittstellen		M	Es soll eine einfache Integration neuer Module, z.B. Scanner oder RFID-Leser, WMS bzw. Austausch der Standardmodule, z.B. Tracking oder Visualisierung möglich sein. Außerdem wird das System bei Partnern in der Praxis getestet und soll daher leicht in deren Infrastruktur integriert werden können.
2.4.3.	modularer Aufbau	ja	M	Da bei dem System Komponenten häufig getauscht werden, z.B. Interaktions- oder Trackingmodul, ist es wichtig, dass diese für sich selber stehen und leicht in das Gesamtsystem integrierbar sind.
2.4.4.	Erweiterungsfähigkeit	ja	M	Das System wird nach und nach um Funktionalitäten erweitert. Die Schnittstellen und der modulare Aufbau unterstützen dies. Der Anschluss mehrerer Clients sollte möglich sein.
2.4.5.	Kosten	max. 10.000€	M	
<b>2.5. Funktionalitäten</b>				
2.5.1.	Installierbarkeit	einfach	M	Das System soll einfach zu installieren sein. Dafür sollen Standardrechner mit Standardbetriebssystemen ausreichen. Die Installation soll schnell gehen und auch für Laien nachvollziehbar sein.
2.5.2.	Notfallstrategien	vorhanden	M	Beispielsweise für Funklöcher und damit eine Unterbrechung zum Client. Bei einem Ausfall der Clients soll eine Papierliste als Ersatz dienen.
2.5.3.	Fehlermanagement		S	Nicht nur wenn Unstimmigkeiten im Kommissionierprozess auftreten, sondern auch bei sonstigen Fehlern soll dies dem Mitarbeiter angezeigt werden. Zu den Fehlern soll nach Möglichkeit auch ein Lösungsweg angezeigt werden.

2.5.4.	Funktionsumfang	leicht erweiterbar	M	da das System nach und nach aufgebaut und um Funktionen erweitert wird, soll sich der Funktionsumfang ohne Probleme erweitern lassen.
2.5.5.	Anmeldedialog		M	Für jeden Nutzer soll ein Anmeldedialog erfolgen, damit evtl. sein Profil geladen werden kann und vom WMS nachverfolgt werden kann, wer gerade kommissioniert.
<b>2.6. Anbindung an ein WMS</b>				
2.6.1.	Integration WMS	ja	M	möglichst standardisiert, um die Anbindung an verschiedene Systeme zu ermöglichen.
2.6.2.	Datenaustausch	in Echtzeit	M	Dem Kommissionierer sollen immer die aktuellen Daten zur Verfügung stehen (online Datenübermittlung).
2.6.3.	Datenformat	XML	M	Der Datenaustausch soll in einem einfachen und standardisierten Format vor sich gehen; XML ist dafür eine gute Lösung.
2.6.4.	Anzahl Kommissionierer	1 (10-20)	M	Für den Testaufbau soll ein Kommissionierer = Client angebunden werden. Für die Praxistests muss das System aber mit mehreren Kommissionierern gleichzeitig arbeiten können.
2.6.5.	Wegdaten	wegoptimiert	M	Das WMS soll bereits wegoptimierte Kommissionieraufträge bereitstellen.
2.6.6.	Auftragsdaten	Sammelbehälter / Abgabe	M	Das WMS soll vorgeben, ob der Kommissionierer überhaupt einen Behälter braucht und wenn ja, welchen Behälter und wo der Kommissionierer seine Artikel abgeben muss.
<b>2.6.7. Eingaben</b>				
2.6.7.1.	Quittierung	Quittierung Auftrag	M	Es wird erst nach Beendigung eines kompletten Auftrags eine Meldung an das WMS geschickt (weniger Funkverkehr).
2.6.7.2.	Fehlmengen	Fehlmengen/ Nulldurchgang	M	Wenn der Kommissionierer merkt, dass die Anzahl der Artikel nicht stimmt, muss er dies dem WMS mitteilen können.
2.6.8.	Benutzerverwaltung	alle	M	Alle Benutzer sollen im WMS verwaltet werden; beim Login werde Daten an WMS geleitet, dieses überprüft die Daten und erteilt den Login.
2.6.9.	externe Geräte	Barcode-, RFID-Leser	S	Das System sollte auch die Einbindung eines Scanners oder eines RFID-Lesers (Lesehandschuh) vorsehen.
2.6.10.	andere Kommissioniertechniken	Integration	S	Da ein Vergleich von Pick-by-Vision mit anderen Kommissioniertechniken angestrebt wird, sollte diese WMS-Anbindung so variabel sein, dass sie auch für diese verwendet werden kann.
2.6.11.	Unterbrechung des Kommissioniervorgangs	möglich	M	Es kann vorkommen, dass z.B. die Funkverbindung abbricht und ein Datenaustausch in Echtzeit nicht möglich ist (siehe auch bidirektionale Kommunikation).
2.6.12.	Übertrag auf anderen Kommissionierer	möglich	M	Bei längeren Unterbrechungen oder Ausfall des Kommissionierers (z.B. Unfall) muss der angefangene Auftrag auf einen anderen Kommissionierer übertragen werden können.
2.6.13.	Ausfallsicherheit	Übergang auf Sekundärsystem	S	Sollte das Primärsystem Pick-by-Vision einmal ausfallen, sollte das WMS auf ein Sekundärsystem, z.B. Papierliste ausweichen.
2.6.14.	Ausnahmesituationen	abdecken	S	Minder mengenverwaltung, bei Bedarf überspringen von Plätzen, Mehrmengenentnahmen
2.6.15.	Inventur	laufend	M	Durch die Anbindung in Echtzeit ist eine laufende Inventur gewährleistet; aber auch für die Versuchsdurchführung zur Herstellung der Ausgangssituation damit alle Probanden die gleiche Ausgangssituation haben (rückwärtiges Kommissionieren, Einlagern).
2.6.16.	Versuchsdurchführung	unterstützend	S	Unterstützung bei der Datenauswertung von Versuchsreihen (z.B. Kommissionierzeit)
2.6.17.	Betriebssystem	unabhängig	M	Es sollte vom Betriebssystem unabhängig sein.

2.6.18.	Einbindung in fml-Infrastruktur	eigenständig	M	Das WMS soll das Pick-by-Vision-System unabhängig von anderen Projekten (RBG, RFID) mit Daten versorgen.
2.6.19.	Kosten	keine	M	
<b>2.7.</b>	<b>Tracking</b>			
2.7.1.	Integration in System	leicht	M	Da verschiedene Trackingverfahren getestet werden können, sollten diese einfach in das Gesamtsystem integriert werden können.
2.7.2.	Sensorfusion	möglich	M	Da verschiedene Trackingverfahren gleichzeitig im Einsatz sein können (Nah- und Ferntracking oder zusätzlicher Inertialsensor) soll die Daten einfach fusionieren können.
2.7.3.	eigenständiger Service		M	Das Tracking soll wie die anderen Services eigenständig arbeiten.
2.7.4.	Tracking Kommissionierer	den rechtlichen Rahmenbedingungen entsprechend	M	Wenn es nötig ist, den Kommissionierer zu tracken, dann kann sein Weg zurückverfolgt werden und dies gleicht einer Überwachung. Es muss gewährleistet sein, dass dies zu keinen Problemen (z.B. mit dem Betriebsrat) führt.
<b>3.</b>	<b>Kommissionierprozess</b>			
<b>3.1.</b>	<b>Auftragsabarbeitung</b>			
3.1.1.	Abarbeitung der Aufträge	sequenz-unabhängig	M	Es können mehrere Aufträge gleichzeitig in einem Bereich abgearbeitet werden.
3.1.2.	informatrische Anzeigen und Bewegungsabläufe	parallel	M	Der Kommissionierer soll nicht stoppen, um die nächsten Informationen zu bekommen, sondern soll diese während seines natürlichen Bewegungsablaufs erhalten.
3.1.3.	Aufteilung in Einzelschritte	so wenige wie möglich	M	Um den Ablauf übersichtlicher zu gestalten, soll der gesamte Kommissionierprozess in Teilprozesse aufgeteilt werden. Dabei muss beachtet werden, dass nicht zu viele Einzelprozesse entstehen.
3.1.4.	Unterbrechung des Kommissionierprozesses	möglich	M	Sowohl gewollte (WC-Pause) wie auch ungewollte Unterbrechungen (Fehler) des Kommissionierprozesses sollen möglich sein.
3.1.5.	Auftragssteuerung	WMS	M	Über den Ablauf des Kommissionierprozesses braucht sich das System nicht kümmern. Dies läuft über ein online angebundenes WMS.
3.1.6.	Notfallstrategie		S	Mindermengenverwaltung, Platz überspringen, Mehrmengenentnahme, Ladungsträgerwechsel
3.1.7.	Eilaufträge	handhabbar	S	Eilaufträge ändern die vorgegebene Kommissionierreihenfolge. Die Reihenfolge wird vom WMS festgelegt, aber die Visualisierung für Eilaufträge könnte anders sein, damit die Dringlichkeit sofort zu sehen ist.
3.1.8.	Inventur		S	Das System kann auch zur Inventur benutzt werden: Vergleich Ist-Bestand – Bedarfsbestand.
3.1.9.	Abhängigkeit vom Artikelspektrum	keine	M	Es soll einen breiten Einsatzbereich haben und nicht auf spezielle Artikel beschränkt sein (Größe, Form, Verpackung, Menge der Entnahmeeinheit, usw.)
3.1.10.	Abhängigkeit von der Kommissioniermenge	keine	M	unabhängig vom mengenmäßigen Umschlag im Lager
<b>3.2.</b>	<b>Anzuzeigende Daten</b>			
3.2.1.	Datenmenge	variabel	M	Die anzuzeigende Datenmenge soll variabel sein, d.h. z.B. Anzeige der gesamten Liste oder nur einer Position bzw. innerhalb einer Position mal mit Artikelnummer mal ohne.
3.2.2.	Kommissionierliste		S	Viele Kommissionierer wollen einen Überblick über den Auftrag haben, deswegen soll die gesamte Liste einsehbar sein.
3.2.3.	einzelne Position		M	WMS optimiert Auftrag, d.h. den Kommissionierer hat nur die nächste Position zu interessieren.

3.2.4.	Artikelnummer		M	Ist unbedingt notwendig, v.a. wenn die Artikel optisch schwierig zu unterscheiden sind.
3.2.5.	Entnahmemenge		M	unbedingt notwendig
3.2.6.	Auftragsnummer		S	eventuell
3.2.7.	Kunde		S	eventuell
3.2.8.	Termin		S	Am Anfang, wenn der Kommissionierer den Auftrag erhält, soll er sehen bis wann er abgearbeitet werden muss.
3.2.9.	Entnahmeort		M	unbedingt notwendig
3.2.10.	Lagerfach		M	Im zweiten Funktionsmuster soll das Lagerfach optisch hervorgehoben werden.
3.2.11.	Artikelbild		S	als visuelle Unterstützung, v.a. bei einem sehr unterschiedlichen Artikelspektrum
3.2.12.	Arbeitsschritte		M	Die einzelnen Arbeitsschritte sollen nach und nach angezeigt werden.
3.2.13.	Ablagebereich		S	Als Ersatz zu Put-to-Light, dass dem Kommissionierer angezeigt wird, wo er die Artikel ablegt.
3.2.14.	Kommissionierfehler		S	Wenn Unstimmigkeiten auftreten, soll dies dem Kommissionierer aufgezeigt werden.
<b>4.</b>	<b>Mitarbeiterakzeptanz</b>			
4.1.	Bedienung	intuitiv	M	Ein Muss für den Erfolg des Systems (schnelle Erlernbarkeit und Akzeptanz).
4.2.	Nützlichkeit	sichtbar	M	Die Mitarbeiter auf Nützlichkeit hinweisen. Die neue Technologie bringt Vorteile (z.B. Zeitersparnis und damit mehr Lohn).
4.3.	Unterstützung bei Bedienung	vorhanden	M	Der Mitarbeiter soll sofort wissen, an wen er sich bei Fragen zu wenden hat (Ansprechpartner oder Bedienungsanleitung).
4.4.	Mitgestaltung	möglich	M	Dem Mitarbeiter eine Mitgestaltungsmöglichkeit der Bedienoberfläche bieten. Er soll mitreden können, weil er es dann eher akzeptiert, und weil er weiß, welche Informationen er braucht. Ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess soll möglich sein.
4.5.	Gefühl der Beherrschung	vorhanden	M	Der Mitarbeiter soll stets das Gefühl haben, dass er das System beherrscht.
4.6.	Leistungsvergleich	vorhanden	S	Es soll ein Leistungsvergleich mit anderen Gruppen möglich sein (Motivation).
4.7.	Einführungsveranstaltung	vorhanden	M	Hier erfolgt eine genaue Erklärung des Systems, eine Erläuterung, warum es eingeführt wird, welche Vorteile es bringt oder dass bei einem System mit Kamera, die Arbeit nicht überwacht wird.
4.8.	Schulung und Training	nötig	M	Die Einlernzeit soll zwar kurz sein, aber auch so lange, dass die Mitarbeiter einen sicheren Umgang mit dem System beherrschen.
4.9.	Einarbeitungszeit	gewähren	M	Die Mitarbeiter sollen auch nach der Schulung sich langsam mit dem System einarbeiten (niedrigere Leistungsanforderungen).
4.10.	Alter der Mitarbeiter	einbeziehen		Menschliche Leistungsfähigkeit ändert sich mit dem Alter (z.B. Optik). Vor allem die Optik spielt bei diesem System eine wichtige Rolle und deswegen sollte der Alterungsprozess berücksichtigt werden, da im Lager Kommissionierer unterschiedlichen Alters arbeiten. Auch die Akzeptanz von neuen Technologien ist in den unterschiedlichen Altersschichten verschieden.
4.11.	Akzeptanz	nötig	M	Die Vorgesetzten müssen die Akzeptanz vorleben.
4.12.	Design	akzeptabel	M	Der Mitarbeiter soll sich „nicht dämlich“ mit der zu tragenden Hardware vorkommen.
4.13.	Ergonomie	wichtig	M	Das Tragen und Verwenden des Systems soll keine gesundheitlichen Schäden verursachen und für den Mitarbeiter so bequem wie möglich sein (siehe dazu die ein-

				zelenen Hardware- und Softwarekomponenten).
4.14.	Kalibrierung	so wenig wie möglich	M	Das System muss, v.a. wenn auf Tracking zugegriffen wird, kalibriert werden. Dies soll nur einmal zu Beginn der Kommissionierung möglich sein.
<b>5.</b>	<b>Allgemeines</b>			
5.1.	Implementierungsphase	1-2 Wochen	S	Die Implementierungsphase spielt bei den Funktionsmustern keine Rolle, aber später ist dies ein sehr wichtiger Punkt; auch für die Praxistests ist es wichtig, dass das System schnell integriert werden kann.
5.2.	Amortisationszeit	<1a	S	Die Amortisationszeit spielt bei den Funktionsmustern keine Rolle, aber später ist dies ein sehr wichtiger Punkt.
5.3.	Temperaturbereich	-15-50°C	S	Ein Einsatz in Tiefkühlagern ist denkbar.
5.4.	Vergleichbarkeit mit Referenzszenarien	möglich	M	Die Demonstratoren sollen mit anderen Kommissionierkonzepten verglichen werden. Bei den Praxistests muss eine Vergleichbarkeit zu den bisher eingesetzten Technologien möglich sein.
5.5.	mobiles System		S	für Messeauftritte etc.

# Anhang C

## Fragebogen zur Benutzerakzeptanz der GUI

TU München  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik



### Fragebogen zum Einsatz einer Datenbrille in der Kommissionierung

Dieser Fragebogen wird im Rahmen des Forschungsprojekt Pick-by-Vision – Augmented Reality unterstützte Kommissionierung eingesetzt. Bei diesem Projekt geht es darum, dass dem Kommissionierer alle nötigen Daten über eine Datenbrille (auch Head-Mounted-Display genannt) bereitgestellt werden.

#### 1. Angaben zur Person

- 1.1. Wie alt sind Sie? \_\_\_\_\_
- 1.2. Welchen beruflichen Hintergrund haben Sie? \_\_\_\_\_
- 1.3. Wie viel Berufserfahrung können Sie in der Kommissionierung bzw. im Lagerbereich vorweisen? \_\_\_\_\_ Jahre
- 1.4. Mit welchen Kommissioniertechnologien haben Sie bereits gearbeitet?
- |                    |                          |                       |                          |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Kommissionierliste | <input type="checkbox"/> | Pick-by-Voice         | <input type="checkbox"/> |
| Pick-by-Light      | <input type="checkbox"/> | mobiles Datenterminal | <input type="checkbox"/> |
| andere Technologie | _____                    |                       |                          |
- 1.5. Haben Sie bereits Erfahrung mit einer der folgenden Technologien?
- |                             |                               |                                |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 3D-CAD                      | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| Virtual / Augmented Reality | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| Datenbrillen                | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| Spracheingabesysteme        | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
- 1.6. Wie lange arbeiten Sie schon im Lager der ihrer Firma? \_\_\_\_\_ Jahre
- 1.7. Gibt es am aktuellen Kommissionierprozess, vor allem bei der Bereitstellung der Daten Verbesserungspotenziale oder sogar Probleme?
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

#### 2. Kommissionierprozess

- 2.1. Welche Daten werden zu welchem Zeitpunkt während des Kommissionierprozesses benötigt?
- Prozess 1: \_\_\_\_\_ Daten: \_\_\_\_\_
- Prozess 2: \_\_\_\_\_ Daten: \_\_\_\_\_
- Prozess 3: \_\_\_\_\_ Daten: \_\_\_\_\_

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Rupert Reif  
Tel.: +49 (0)89 289 15953  
Email: reif@fml.mw.tum.de

1 von 6

TU München  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik



2.2. Wie viele Daten sollen gleichzeitig angezeigt werden? \_\_\_\_\_  
Welche sind dies?

\_\_\_\_\_

2.3. Welche Eingaben müssen in das System erfolgen?

\_\_\_\_\_

2.4. Mit welchem Eingabegerät würden Sie das machen?

\_\_\_\_\_

2.5. Ist eine Unterstützung der Kommissionierers bei seinem Weg durch das Lager nötig (Navigationssystem)? ja  nein   
wenn ja, wie sollte dies aussehen?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### 3. Datenbrille

#### 3.1. Ergonomie

Wie beurteilen Sie den Tragekomfort (Gewichtsverteilung, Einstellbarkeit, etc.)?

gut	bedingt	schlecht	keine Aussage
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie empfinden Sie das Gewicht? Bedenken Sie, dass Sie das Display den ganzen Tag über tragen müssten.

in Ordnung	zu hoch	keine Aussage
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wird Ihr Sichtfeld durch die Datenbrille beeinträchtigt?

nein	bedingt	ja	keine Aussage
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welches Tragegestell für die Datenbrille würden Sie bevorzugen?

Kappe	Helm	Brille	sonst.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Notizen zu den oben genannten Punkten:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Rupert Reif  
Tel.: +49 (0)89 289 15953  
Email: reif@fml.mw.tum.de

TU München  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik



### 3.2. Visualisierung

Wie empfanden Sie die Schriftgröße? Konnten Sie die Schrift gut lesen?	gut	bedingt	schlecht	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie empfanden Sie den Farbkontrast? Konnten Sie die angezeigten Daten jederzeit gut erkennen?	gut	bedingt	schlecht	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ist es für Sie störend, dass die virtuellen Daten nur auf einem Auge angezeigt werden?	nein	ja		keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Stellt die abwechselnde Fokussierung zwischen realer Umgebung und virtuellen Daten ein Problem dar?	nein	ja		keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

### 3.3. Würden Sie über einen längeren Zeitraum mit einer Datenbrille arbeiten wollen?

- nein, warum? \_\_\_\_\_
- ja, aber mit einer besseren Datenbrille
- ja

### 3.4. Wie empfinden Sie die eingeblendeten virtuellen Daten?

- unterstützend
- störend
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

## 4. Akzeptanz

Hat eine Datenbrille negative Einflüsse auf Ihre äußere Erscheinung (unangenehmes Aussehen, Haare, etc.)?	nein	ja		keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Wie schätzen Sie die Akzeptanz einer Datenbrille bei Ihren Kollegen ein?	hoch	gering	nicht gegeben	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wollen Sie bei der Entscheidung über die Einführung einer Datenbrille durch ihren Arbeitgeber beteiligt werden (z.B. Auswahl der Datenbrille)?	nein	ja		keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Wären Sie stolz darauf, wenn Ihr Unternehmen eine Vorreiterrolle bei der Einführung einer neuen Technologie spielt?	nein	ja		keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Wollen Sie die Darstellungsform der angezeigten Daten individuell anpassen können?	nein	ja		keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Rupert Reif  
Tel.: +49 (0)89 289 15953  
Email: reif@fml.mw.tum.de

3 von 6

TU München  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik



Wird durch die Einführung eines neuen Werkzeugs der Mitarbeiter unselbständiger und leichter austauschbar?	nein	eventuell	ja	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ist das Einblenden eines virtuellen Spiels, z.B. eines virtuellen Gegners, eine zusätzliche Motivation für Sie?	nein	ja		keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Notizen zu den oben genannten Punkten:

---



---



---

## 5. Beurteilung der Benutzeroberfläche

### 5.1. Darstellung der Informationen

War die Schrift gut lesbar (Deutlichkeit, Schriftgröße)?	gut	bedingt	schlecht	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie war die Informationsdichte?	zu gering	ausreichend	zu hoch	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie übersichtlich war die Displayeinteilung (Aufteilung in verschiedene Anzeigebereiche)?	übersichtlich	ausreichend	unübersichtlich	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Waren die möglichen Interaktionen ersichtlich, d.h. war Ihnen klar mit welchen Elementen Sie auf der Benutzeroberfläche interagieren können?	alle	manche	nein	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
War Ihnen die Bedeutung der Icons in der Funktionsleiste (am oberen Bildschirmrand) klar?	alle	manche	nein	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Notizen zu den oben genannten Punkten:

---



---

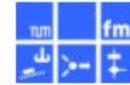


---

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Rupert Reif  
Tel.: +49 (0)89 289 15953  
Email: reif@fml.mw.tum.de

4 von 6

TU München  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik



### 5.2. Länge der dargestellten Kommissionierliste

Das Anzeigen der gesamten Kommissionierliste ist übersichtlich.	ja	bedingt	nein	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Anzeige der gesamten Kommissionierliste ist ausreichend.	ja	nein		keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Die Anzeige der nächsten drei Positionen ist übersichtlich.	ja	bedingt	nein	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Anzeige der nächsten drei Positionen ist ausreichend.	ja	nein		keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Die Anzeige der aktuellen Position war übersichtlich.	ja	bedingt	nein	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die alleinige Anzeige der aktuellen Position ist völlig ausreichend.	ja	nein		keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Notizen zu den oben genannten Punkten:

---



---

### 5.3. graphische Unterstützungen bei der Kommissionierung

Die Unterstützung durch das Einblenden einer Karte ist hilfreich, wenn...	ja	bedingt	nein	keine Aussage
... eine Draufsicht zur Wegfindung angezeigt wird.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... eine Vorderansicht der Pickfront angezeigt wird.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Einblenden von dreidimensionalen Objekten ist hilfreich, wenn...	ja	bedingt	nein	keine Aussage
... Pfeile zur Wegfindung eingesetzt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... ein Pfeil auf das aktuelle Lagerfach zeigt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... eine farbige Umrandung um den aktuellen Lagerplatz angezeigt wird.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Einblenden des Bildes des zu pickenden Artikels ist sinnvoll.	ja	bedingt	nein	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Notizen zu den oben genannten Punkten:

---



---

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Rupert Reif  
Tel.: +49 (0)89 289 15953  
Email: reif@fml.mw.tum.de

5 von 6

TU München  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik



- 5.4. Die dargestellten Benutzeroberflächen und Interaktionen reichen aus, um ein Kommissioniersystem zu bedienen. ja  nein   
wenn nicht, was muss noch angezeigt bzw. eingegeben werden können?

---

---

---

---

### 6. Potenzial des Einsatzes einer Datenbrille im Lager

- 6.1. In wie vielen Jahren wird diese Technologie ein gängiges System im Lager sein?  
5  10  20  wird sich nicht durchsetzen
- 6.2. Könnten Sie sich vorstellen an einem Praxistest teilzunehmen?  
ja  nein   
wenn ja, über welchen Zeitraum?  
einen Tag  eine Woche  einen Monat

Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens.

Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Rupert Reif  
Tel.: +49 (0)89 289 15953  
Email: reif@fml.mw.tum.de

6 von 6

**Labortest FM1****Fragebogen zur Kommissionierliste**

Codenummer: \_\_\_\_\_

	Stimmt über- haupt nicht	Stimmt weit- gehend nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt ein wenig	Stimmt weit- gehend	Stimmt genau
Ich fand das Kommissionieren in dieser Form sehr interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine Motivation für die Tätigkeit ist gestiegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Tätigkeit machte mir großen Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde diese Form des Kommissionierens zur Aufgabenbewältigung empfehlen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie viel geistige und physische Aktivität wurde gefordert (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Suchen, Anschauen, etc.)? Das heißt, war die Tätigkeit zu kommissionieren leicht oder anspruchsvoll?

leicht	<input type="checkbox"/>	anspruchsvoll					
--------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------

Wie anstrengend war es für Sie, die Kommissionierprozesse zu verstehen?

gar nicht anstrengend	<input type="checkbox"/>	sehr anstrengend					
-----------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------------------

Als wie erfolgreich schätzen Sie sich ein, diese Art zu kommissionieren bewältigt zu haben?

nicht erfolgreich	<input type="checkbox"/>	sehr erfolgreich					
-------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------------------

Wie viel Anstrengung mussten Sie aufbringen, um sich im Lager zurecht zu finden?

wenig Anstrengung	<input type="checkbox"/>	sehr viel Anstrengung					
-------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------

Wie gestresst fühlten Sie sich während der Tätigkeit zu kommissionieren (z. B. unsicher, entmutigt, verwirrt)?

überhaupt nicht gestresst	<input type="checkbox"/>	sehr gestresst					
---------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen?

--

## Fragebogen zu Pick-by-Vision

Codenummer \_\_\_\_\_

	Stimmt über- haupt nicht	Stimmt weit- gehend nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt ein wenig	Stimmt weit- gehend	Stimmt genau
Die Steuerung des Systems war eindeutig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Handhabung war einfach zu lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Einsatz dieser Technologie war für das Kommissionieren hilfreich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System zeichnet sich durch seine Übersichtlichkeit aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System hilft, Fehler zu vermeiden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System hat meine Eingaben immer sofort erkannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Einblenden der Daten wurde meine Sicht behindert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Einblendung der Daten vor das Auge empfand ich als hilfreich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand das Kommissionieren in dieser Form sehr interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine Motivation für die Tätigkeit ist gestiegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Tätigkeit machte mir großen Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde diese Form des Kommissionierens zur Aufgabenbewältigung empfehlen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie viel geistige und physische Aktivität wurde gefordert (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Suchen, Anschauen, etc.)? Das heißt, war die Tätigkeit zu kommissionieren leicht oder anspruchsvoll?

leicht	<input type="checkbox"/>	anspruchsvoll					
--------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------

Wie anstrengend war es für Sie, die Kommissionierprozesse zu verstehen?

gar nicht anstrengend	<input type="checkbox"/>	sehr anstrengend					
-----------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------------------

Als wie erfolgreich schätzen Sie sich ein, diese Art zu kommissionieren bewältigt zu haben?

nicht erfolgreich	<input type="checkbox"/>	sehr erfolgreich					
-------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------------------

Wie viel Anstrengung mussten Sie aufbringen, um sich mit der neuen Technologie im Lager zurecht zu finden?

wenig Anstrengung	<input type="checkbox"/>	sehr viel Anstrengung					
-------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------

Wie gestresst fühlten Sie sich während des Kommissionierens mit Hilfe der neuen Technologie (z. B. unsicher, entmutigt, verwirrt)?

überhaupt nicht gestresst	<input type="checkbox"/>	sehr gestresst					
---------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen?

--

## Fragebogen zu Pick-by-Voice

Codenummer: \_\_\_\_\_

	Stimmt über- haupt nicht	Stimmt weit- gehend nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt ein wenig	Stimmt weit- gehend	Stimmt genau
Die Steuerung des Systems war eindeutig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Handhabung war einfach zu lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Einsatz dieser Technologie war für das Kommissionieren hilfreich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System zeichnet sich durch seine Übersichtlichkeit aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System hilft, Fehler zu vermeiden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System hat meine Eingaben immer sofort erkannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kam gut ohne visuelle Unterstützung zu recht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ohne visuelle Unterstützung konnte ich mir den Lagerplatz nur schwer merken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand das Kommissionieren in dieser Form sehr interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine Motivation für die Tätigkeit ist gestiegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Tätigkeit machte mir großen Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde diese Form des Kommissionierens zur Aufgabenbewältigung empfehlen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie viel geistige und physische Aktivität wurde gefordert (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Suchen, Anschauen, etc.)? Das heißt, war die Tätigkeit zu kommissionieren leicht oder anspruchsvoll?

leicht	<input type="checkbox"/>	anspruchsvoll					
--------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------

Wie anstrengend war es für Sie, die Kommissionierprozesse zu verstehen?

gar nicht anstrengend	<input type="checkbox"/>	sehr anstrengend					
-----------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------------------

Als wie erfolgreich schätzen Sie sich ein, diese Art zu kommissionieren bewältigt zu haben?

nicht erfolgreich	<input type="checkbox"/>	sehr erfolgreich					
-------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------------------

Wie viel Anstrengung mussten Sie aufbringen, um sich mit der neuen Technologie im Lager zurecht zu finden?

wenig Anstrengung	<input type="checkbox"/>	sehr viel Anstrengung					
-------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------

Wie gestresst fühlten Sie sich während des Kommissionierens mit Hilfe der neuen Technologie (z. B. unsicher, entmutigt, verwirrt)?

überhaupt nicht gestresst	<input type="checkbox"/>	sehr gestresst					
---------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen?

--

**Praxistest FM1****Kommissionierauftrag**

Auftrag Nr.: 1

Seite: 1

Pos	Lagerplatz	Artikel	Entnahmemenge	erledigt
1	<b>1-21-02</b>	0865710250	<b>1</b>	<input type="checkbox"/>
2	<b>1-12-03</b>	520985128	<b>3</b>	<input type="checkbox"/>
3	<b>4-17-02</b>	435104	<b>2</b>	<input type="checkbox"/>

Kommissioniert am:

Unterschrift:

---

## Fragebogen zur Evaluierung eines Augmented Reality gestützten Kommissioniersystems

Sehr geehrte Damen und Herren,  
Ziel der Versuchsreihe ist es, zu prüfen ob die Kommissionierung mit Datenbrille einen Fortschritt in der Kommissioniertechnologie bedeutet.  
Es soll dabei nicht Ihre Leistung überprüft werden, sondern es interessieren Ihre Erfahrungen und Meinung zu der von Ihnen verwendeten Technik. Die Auswertung des Fragebogens erfolgt völlig anonym. Uns würde es sehr helfen, wenn Sie die Fragen so umfassend und ehrlich wie möglich beantworten. Vielen Dank.

Ihr Team des *fml*

### Angaben zur Person

Alter: \_\_\_\_\_ Geschlecht: männlich  weiblich

Muttersprache: \_\_\_\_\_

Benötigen Sie eine Sehhilfe? ja, Brille  ja, Kontaktlinsen  nein

Haben Sie Erfahrung im Bereich Kommissionieren?  
keine Erfahrung  etwas Erfahrung  langjährige/große Erfahrung

Wie beurteilen Sie Ihre Computerkenntnisse? (1=sehr gut...6=ungenügend)  
1  2  3  4  5  6

Haben Sie Erfahrung im Bereich Virtual/Augmented Reality (z.B. 3D-Visualisierung, 3D-Computerspiele, Datenbrillen etc.)? ja  nein   
3D-Visualisierung   
3D-Computerspiele   
Datenbrillen   
sonstige: \_\_\_\_\_

Haben Sie bereits Erfahrung mit Systemen zur Kommissionierunterstützung außer der Kommissionierliste (z.B. Pick-by-Voice)? ja  nein

Wenn ja: Welche(s) System(e)?

---

---

---

### Fragen zur Versuchsdurchführung mit Datenbrille

	a	b	c	d	e	f
Die Gewöhnung an das neue System fiel mir leicht	<input type="checkbox"/>					
Die Bedienung des Wearable PC's mit Datenbrille war in kurzer Zeit zu lernen	<input type="checkbox"/>					
Die Anordnung der eingeblendeten Information war übersichtlich	<input type="checkbox"/>					
Die Einblendung der Informationen vor das Auge hilft Fehler zu vermeiden	<input type="checkbox"/>					
Das Display schränkt die Sicht stark ein	<input type="checkbox"/>					
Das System erleichtert das Aufsuchen/Vergleichen der Lagerplatz-Nr./Art.-Nr.	<input type="checkbox"/>					
Das Gewicht der Datenbrille war störend	<input type="checkbox"/>					
Die Lesbarkeit der Informationen ist gut	<input type="checkbox"/>					
Die Arbeit mit der Datenbrille war interessant	<input type="checkbox"/>					
Die Darstellungsart erleichtert das Finden der benötigten Informationen	<input type="checkbox"/>					
Ich kann mir vorstellen, das System im täglichen Kommissioniereinsatz zu verwenden	<input type="checkbox"/>					
Die Arbeit mit der Datenbrille hat mir Spaß gemacht	<input type="checkbox"/>					
Die (Sprach-)Steuerung funktionierte problemlos	<input type="checkbox"/>					
Die Arbeit mit dem Gerät erfordert Übung	<input type="checkbox"/>					

\*) a: *stimmt überhaupt nicht*, b: *stimmt weitgehend nicht*, c: *stimmt eher nicht*, d: *stimmt ein wenig*, e: *stimmt weitgehend*, f: *stimmt genau*

Unter welchen Voraussetzungen würden Sie den Einsatz des untersuchten Systems als sinnvoll/nicht sinnvoll erachten?

Was hat Ihnen am Kommissionieren mit Datenbrillen-Unterstützung besonders gefallen/nicht gefallen?

**Kognitive Belastung**

Wieviel geistige und psychische Aktivität wurde gefordert (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Suchen, Anschauen, etc.)? Das heißt, war die Tätigkeit zu kommissionieren leicht oder anspruchsvoll?							
leicht	<input type="checkbox"/>	anspruchsvoll					
Wie anstrengend war es für Sie, die Kommissionierprozesse zu verstehen?							
gar nicht anstrengend	<input type="checkbox"/>	sehr anstrengend					
Als wie erfolgreich schätzen Sie sich ein, diese Art zu kommissionieren bewältigt zu haben?							
nicht erfolgreich	<input type="checkbox"/>	sehr erfolgreich					
Wie viel Anstrengung mussten Sie aufbringen, um sich mit der neuen Technologie im Lager zurecht zu finden?							
wenig Anstrengung	<input type="checkbox"/>	sehr viel Anstrengung					
Wie gestresst fühlten Sie sich während der Tätigkeit zu kommissionieren mit Hilfe der neuen Technologie (z. B. unsicher, entmutigt, verwirrt)?							
überhaupt nicht gestresst	<input type="checkbox"/>	sehr gestresst					

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen?

---



---



---



---



---

### Fragen zum Kommissionieren mit Papierliste

	a	b	c	d	e	f
Es passieren hin und wieder Fehler durch Verrutschen in der Zeile beim Ablesen der Liste	<input type="checkbox"/>					
Ich fühle mich sicher im Umgang mit den Listen	<input type="checkbox"/>					
Das Arbeiten mit den Listen ist einfach und geht schnell	<input type="checkbox"/>					
Bei mehreren gebündelten Aufträgen ist die Handhabung der vielen Blätter fehleranfällig	<input type="checkbox"/>					
Ich muss häufig auf die Liste schauen	<input type="checkbox"/>					
Das Kommissionieren mit Papierlisten macht mir Spaß	<input type="checkbox"/>					
Das Mitführen der Listen stört nicht bei der Arbeit	<input type="checkbox"/>					
Die Information auf den Listen reichte mir, um mich schnell im Lager zurecht zu finden	<input type="checkbox"/>					
Das Kommissionieren mit Papierliste ist leicht zu lernen	<input type="checkbox"/>					
Die Arbeit mit der Papierliste war interessant	<input type="checkbox"/>					
Der Umgang mit den Listen erfordert Übung	<input type="checkbox"/>					

\*) a: stimmt überhaupt nicht, b: stimmt weitgehend nicht, c: stimmt eher nicht, d: stimmt ein wenig, e: stimmt weitgehend, f: stimmt genau

Was gefällt Ihnen am Kommissionieren mit Papierliste besonders bzw. was stört Sie?

---



---



---



---

**Kognitive Belastung**

Wie viel geistige und psychische Aktivität wurde gefordert (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Suchen, Anschauen, etc.)? Das heißt, war die Tätigkeit zu kommissionieren leicht oder anspruchsvoll?							
leicht	<input type="checkbox"/>	anspruchsvoll					
Wie anstrengend war es für Sie, die Kommissionierprozesse zu verstehen?							
gar nicht anstrengend	<input type="checkbox"/>	sehr anstrengend					
Als wie erfolgreich schätzen Sie sich ein, diese Art zu kommissionieren bewältigt zu haben?							
nicht erfolgreich	<input type="checkbox"/>	sehr erfolgreich					
Wie viel Anstrengung mussten Sie aufbringen, um sich im Lager zurecht zu finden?							
wenig Anstrengung	<input type="checkbox"/>	sehr viel Anstrengung					
Wie gestresst fühlten Sie sich während der Tätigkeit zu kommissionieren mit (z. B. unsicher, entmutigt, verwirrt)?							
überhaupt nicht gestresst	<input type="checkbox"/>	sehr gestresst					

**Labortest FM2****Kommissionierauftrag**

Auftrag Nr.: 1

Seite: 1 von 1

Pos	Lagerplatz	Artikelnummer	Menge	Quittierung
1	2 - B - 05	52158768	3	<input type="checkbox"/>
2	4 - C - 01	3082	1	<input type="checkbox"/>
3	4 - C - 07	385129	1	<input type="checkbox"/>

Kommissioniert am:

Unterschrift:

## Fragebogen zur Evaluierung eines Augmented Reality gestützten Kommissioniersystems

Sehr geehrte Damen und Herren,  
Ziel der Versuchsreihe ist es zu prüfen, ob die Kommissionierung mit Datenbrille einen Fortschritt in der Kommissioniertechnologie bedeutet.  
Es soll dabei nicht Ihre Leistung überprüft werden, sondern es interessieren Ihre Erfahrungen und Meinung zu der von Ihnen verwendeten Technik. Die Auswertung des Fragebogens erfolgt völlig anonym. Uns würde es sehr helfen, wenn Sie die Fragen so umfassend und ehrlich wie möglich beantworten. Vielen Dank.

Ihr Team des *fml*

### Angaben zur Person

Codenummer: \_\_\_\_\_

Alter: \_\_\_\_\_ Geschlecht: männlich  weiblich

Muttersprache: \_\_\_\_\_

Benötigen Sie eine Sehhilfe? ja, Brille  ja, Kontaktlinsen  nein

### Angaben zur Kommissioniererfahrung

Haben Sie Erfahrung im Bereich Kommissionieren?  
keine Erfahrung  etwas Erfahrung  langjährige/große Erfahrung

wenn ja, mit welchen Technologien:  
Kommissionierliste  Pick-by-Voice  Pick-by-Light

sonstige: \_\_\_\_\_

### Angaben zur 3D-Erfahrung

Haben Sie Erfahrung im Bereich Virtual / Augmented Reality?  
keine Erfahrung  etwas Erfahrung  langjährige/große Erfahrung

wenn ja, mit welchen Technologien:  
3D-Visualisierung  3D-Computerspiele  Datenbrillen

sonstige: \_\_\_\_\_

Codenummer: \_\_\_\_\_

**Pick-by-Vision mit Tracking**

**Notizen**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Codenummer: \_\_\_\_\_

**Pick-by-Vision ohne Tracking**

**Notizen**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---