

**Einsatz von Virtual und Augmented Reality:
Studie zur menshintegrierten Simulation
und Prozessunterstützung im logistischen
Umfeld**

Gefördert durch die



**Bayerische
Forschungsförderung**





Herausgegeben von: Rupert Reif, Dennis Walch,
Johannes Wulz

© ForLog – Bayerischer Forschungsverbund
Supra-adaptive Logistiksysteme

Garching bei München, 2007

Alle Rechte vorbehalten. Insbesondere ist die Überführung in
maschinenlesbare Form sowie das Speichern in Informationssys-
temen auch auszugsweise nur mit schriftlicher Genehmigung von
ForLog gestattet.



Vorwort

An dieser Stelle sei allen ein Dank ausgesprochen, die sich an der Entwicklung der Systeme beteiligt haben. Dies sind zum einen die Studenten, die im Rahmen ihrer Studienarbeiten einen großen Beitrag geleistet haben: Robert Comerlati, Ralph Prechtl, Tobias Spähn, Andreas Steghafner, Wolfgang Steuer, Peter Tenerowicz und Hans Wimmer. Zum Anderen gilt ein großes Dankeschön den Probanden, die sich bereitwillig den Demonstratoren und unseren Fragen gestellt haben.

Ein Dankeschön auch an den Lehrstuhl für pädagogische Psychologie von Professor Mandl an der Ludwig-Maximilians-Universität München, der vertreten durch Frau Dr. Birgitta Kopp bei der Gestaltung des Versuchsablaufs und der Auswertung der Daten eine große Hilfe war.

Ebenso gehört ein Dankeschön den im Projekt eingebundenen Industriepartnern CIM GmbH, ICIDO GmbH, HEINZ KETTLER GmbH & Co. KG und metaio GmbH, die uns mit ihrer Erfahrung im Bereich der Virtual und Augmented Reality sowie als Stifter von Hard- und Softwarekomponenten stets bei der Entwicklung mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben.

Nicht zuletzt möchte sich das Autorenteam ganz herzlich bei den Projektverantwortlichen und Mitarbeitern der Teilprojekte PlanLog und MitLog für die Ratschläge während der Konzeption bis hin zur Evaluierung bedanken: Prof. Willibald A. Günthner, Prof. Marianne Hammerl, Prof. Gudrun Klinker, Julia Boppert, Dr. Martin Sauerland, Michael Schedlbauer, Björn Schwerdtfeger und Dr. Silke Weisweiler.

Garching bei München, den 31.07.2007

Rupert Reif, Dennis Walch, Johannes Wulz

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen der Virtual Reality Simulation und Augmented Reality Kommissionierung	3
2.1	Menschintegrierte Virtual Reality Simulation	4
2.1.1	Definition und Technologie der Virtual Reality	4
2.1.2	Einsatz der Virtuellen Realität in ForLog	7
2.2	Augmented Reality gestützte Kommissionierung	10
2.2.1	Einführung in die Augmented Reality	10
2.2.2	AR-Anwendungen in der Kommissionierung	14
3	Probandenprogramm	17
3.1	Allgemeiner Versuchsaufbau und Ablauf für das Probandenprogramm	18
3.2	Aufbau und Ablauf der Untersuchung zur VR-gestützten Simulation	23
3.3	Aufbau und Ablauf der Untersuchung zur AR-gestützten Kommissionierung	28
3.4	Aufbau und Ablauf der Untersuchung zu den Referenztechnologien	33
3.4.1	Kommissionierliste	33
3.4.2	Pick-by-Voice	38
4	Ergebnisdarstellung	40
4.1	Allgemeiner Vergleich	41
4.2	Virtual Reality Simulation im Vergleich	43
4.2.1	Vergleich der Kommissionierzeiten der Virtuellen Realität mit den Zeiten der Realität	44
4.2.2	Auswertung der Fragebögen	49



4.3	Augmented Reality Kommissionierung im Vergleich	50
4.3.1	Kommissionierfehler	50
4.3.2	Kommissionierleistung	54
4.3.3	Auswertung der Fragebögen	60
5	Fazit und Ausblick	65
5.1	Optimierungspotenziale des Probandenprogramms	65
5.2	Zusammenfassung der Ergebnisse der VR-Untersuchung	66
5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der AR-Untersuchung	68
5.4	Ausblick	71
6	Literatur	72



1 Einleitung

Die vorliegende „Studie zur menshintegrierten Simulation und Prozessunterstützung im logistischen Umfeld unter Verwendung der Virtual und Augmented Reality Technologie“ entstand im Rahmen des Bayerischen Forschungsverbundes „Supra-adaptive Logistiksysteme“ (ForLog). Ziel des Verbundes ist es, in enger Kooperation mit der Industrie Konzepte und Demonstratoren für den strategischen, taktischen und operativen Logistikbereich der Zukunft zu entwickeln. Hierzu fördert die Bayerische Forschungstiftung seit September 2004 sechs Teilprojekte an drei Universitäten, um zukünftigen Logistiknetzwerken Wege zur Adaptivität aufzuzeigen und die Frage zu beantworten, wie den hochdynamischen Veränderungen in den Kunden-Lieferantenbeziehungen mit minimalem Aufwand Herr zu werden ist.

Als Auszug des laufenden Projektes sollen hier die Arbeiten zum Einsatz von Virtual und Augmented Reality als unterstützende Elemente in der Planung und Simulation logistischer Prozesse sowie der operativen Logistik vorgestellt werden. Während die beiden Technologien in Entwicklung und Produktion nach und nach Einzug halten, gilt es, aus Sicht des Verbundes, die Potenziale dieser innovativen Technologien auch für die Logistik zu erschließen. Die Arbeit entstand in Kooperation der Teilprojekte PlanLog (Modellierung und Planung adaptiver Logistikstrukturen) und MitLog (Mitarbeiterqualifizierung und -mobilität) und wurde in den Versuchseinrichtungen des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München umgesetzt. Während sich PlanLog an der TU München zum Ziel gesetzt hat, Planungsprozesse zu modularisieren, zu beschleunigen und optimal abzusichern, ist das Ziel des an der Universität Regensburg angesiedelten Teilprojekts MitLog die Unterstützung operativer Logistikmitarbeiter durch innovative Schulungs-

konzepte und Informationsbereitstellung am Arbeitsplatz. Als Schnittstelle beider Teilprojekte kristallisierte sich die Arbeit zur Implementierung der neuen Technologien der Virtual und Augmented Reality in der Logistikplanung sowie der operativen Logistik heraus.

Für die derzeit noch kostenintensive Anschaffung der erforderlichen Hard- und Software für Virtual Reality (VR) wird von ForLog als Ansatz entsprechend ein durchgängiger Einsatz angestrebt, um die Investitionskosten auch in kleineren Betrieben rechtfertigen zu können. Neben Abbildung und Simulation geplanter Systeme bei gleichzeitiger Einbindung des Menschen als Akteur in die Simulation bietet die VR ebenso die Möglichkeit Mitarbeiter in der virtuellen Welt zu trainieren. Während PlanLog vornehmlich die Implementierung der virtuellen Systemwelt sowie der Kopplung marktüblicher Planungstools mit der VR [FOR-05] realisierte, beschäftigte sich MitLog mit der Evaluierung des entwickelten VR-Kommissionierdemonstrators.

Mit dem Einsatz der Augmented Reality (AR) fokussiert ForLog zwei wesentliche Bereiche: Zum einen die Layoutplanung logistischer Systeme durch das Einbringen virtueller Anlagen in die bestehenden Gebäude- und Infrastrukturen, um eine kostengünstige, schnelle und sichere Planung zu erlangen [GÜN-06]. Zum anderen wird der Einsatz der AR zur Unterstützung operativer Mitarbeiter in der Kommissionierung durch das Einblenden virtueller Informationen verfolgt. Ziel ist eine niedrigere Fehlerrate bei hoher Prozesssicherheit und -geschwindigkeit zu erzielen.

Der folgende Beitrag zeigt die Forschungsergebnisse eines Probandenprogramms zur Simulation von Kommissionierprozessen in der virtuellen Realität sowie der Augmented Reality gestützten Kommissionierung. Nach einer Einführung in die Grundlagen der beiden Technologien werden der Aufbau und die



Durchführung des Probandenprogramms beschrieben. Als Vergleich zu den beiden Techniken der virtuellen Kommissionierung wurden marktübliche Kommissioniertechniken (Kommissionierliste und Pick-by-Voice) herangezogen und in das Probandenprogramm integriert. Die Ergebnisse bestätigen teilweise die im Vorfeld getroffenen Annahmen und zeigen in einigen Bereichen neue Erkenntnisse auf. Die Ergebnisse der Untersuchung werden ausführlich in Kapitel 4 diskutiert und daraus abgeleitete Optimierungspotenziale beschrieben, die den Weg der Virtual und Augmented Reality in das betriebliche Leben ebnen können.

2 Grundlagen der Virtual Reality Simulation und Augmented Reality Kommissionierung

Den Unterschied zwischen zwei und drei Dimensionen kennt jeder aus der realen Umwelt. Aber wie verhält es sich mit virtuellen Objekten und wann spricht man in diesem Zusammenhang von Virtual Reality? Ein Entwickler, der in seiner CAD-Anwendung ein neues Bauteil konstruiert, weiß, dass das virtuelle Modell drei Dimensionen hat, doch kann er es nicht wirklich an seinem Monitor in seiner räumlichen Tiefe wahrnehmen. Erst mehr oder weniger aufwändige Projektionsverfahren ermöglichen einen Tiefeneindruck für das menschliche Auge und imitieren Räumlichkeit. Sobald der Mensch ein Teil der virtuellen Welt wird, indem er mit den virtuellen Objekten interagieren kann und somit Teil der Simulation wird, spricht man von Virtual Reality.

Die Augmented Reality ist demgegenüber eine etwas jüngere Technologie. Sie bezeichnet die Form der „gemischten Realität“, in der virtuelle Objekte als Bestandteil der Realität wahrgenommen werden, die sich ebenfalls durch den Anwender manipulieren lassen. Dementsprechend handelt es sich bei der im Fernsehen oftmals virtuell dargestellten Abseitslinie im Fußball nicht um AR. Alltägliche Anwendungen sind noch nicht weit verbreitet. Hier ist die Industrie derzeit noch Vorreiter,



Mitarbeitern virtuelle Arbeitsanweisungen zur Unterstützung in der täglichen Arbeit zu geben.

Wie sich die Technologien der Virtual und Augmented Reality derzeit in der Praxis darstellen und welche Systeme im Rahmen von ForLog zum Einsatz kamen, zeigen die folgenden Unterkapitel.

2.1 Menschintegrierte Virtual Reality Simulation

2.1.1 Definition und Technologie der Virtual Reality

S.K. Ong und A.Y.C. Nee beschreiben die Virtual Reality (VR) mit den drei Dimensionen des Raums und der Dimension der Zeit als eine 4D-Simulation der „realen Welt“ [ONG-04]. Der Begriff bezeichnet dabei eine den menschlichen Sinnen vorgetäuschte, künstlich erzeugte Umgebung, die es ermöglicht, dreidimensionale rechnerbasierte Modelle realitätsnah zu erleben, wobei wesentliche Charakteristiken die Interaktions- und Echtzeitfähigkeit sind. Das Ziel von VR ist die Verbesserung der Effizienz und Effektivität der Arbeit des Benutzers durch die dreidimensionale Darstellung und Manipulation der Daten. Im Gegensatz zu den bisher bekannten, meist bildschirmbasierten, zweidimensionalen Darstellungsmedien steht somit bei der Virtuellen Realität verstärkt der Mensch im Mittelpunkt. In immersiven VR-Umgebungen taucht der Benutzer selbst in die digitale Welt ein und wird zu einem Element der VR-Umgebung (siehe Abbildung 2-1). In Abhängigkeit des Visualisierungssystems nimmt der Benutzer seine reale Umgebung nicht mehr oder nur noch teilweise visuell und auditiv wahr.

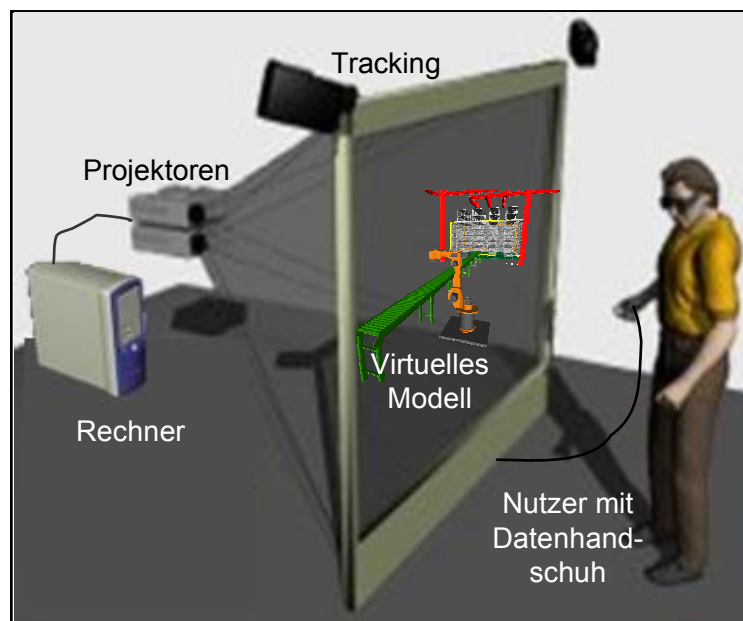


Abbildung 2-1: Virtual Reality System

Eine spezifischere Definition der immersiven VR erfolgt über die drei „I’s“, Imagination, Interaktion, Immersion (siehe Abbildung 2-2), die wie folgt zu charakterisieren sind:

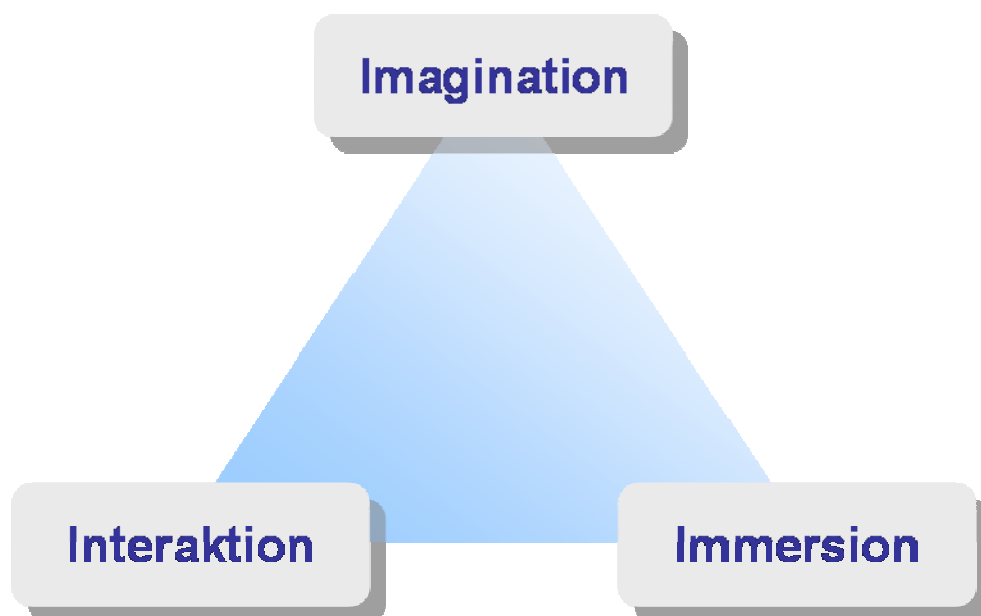


Abbildung 2-2: Die drei „I’s“ der Virtual Reality [BUR-94]

- Imagination durch die der Realität nachempfundene dynamische Darstellung von Szenen



- Interaktion mit dem virtuellen Modell direkt in der immersiven Umgebung
- Immersion des Benutzers in die virtuelle Umgebung durch Anpassen der Position, Blickrichtung und Objektinteraktion in Echtzeit (immersive Umgebung)

Maßgebliche technische Komponenten eines VR-Systems sind die Visualisierungseinheit, das Trackingsystem und die Interaktionsgeräte (siehe Abbildung 2-3). Neben den meist unhandlichen Head Mounted Displays kommen stereoskopische Projektionssysteme zum Einsatz, die sich zur Visualisierung entweder passiver oder aktiver Stereobrillen bedienen [BUR-94]. Die Bauformen reichen dabei von Einwand-Systemen (siehe Abbildung 2-1) bis hin zu CAVE-Anlagen bestehend aus mehreren Projektionswänden. Zur Anpassung der Perspektive an den Betrachterstandpunkt ist eine Positionsverfolgungseinrichtung (Head Tracking) Bestandteil eines VR-Systems. Die am häufigsten eingesetzten Verfahren sind das elektromagnetische, das Ultraschall- und insbesondere das optische Tracking, da dies die beste Qualität aufweist ([ART-07], [BUR-94]). Die Steuerung und intuitive Handhabung eines VR-Systems bzw. von virtuellen Objekten erfolgt über 3D-Interaktionsgeräte, wie z. B. Datenhandschuh, Fly-Stick etc. Besondere Bedeutung kommt neben der Hardware eines VR-Systems der Software zu. Diese ist der integrale Bestandteil, der alle Komponenten zu einem Gesamtsystem zusammenfügt, anwendungsspezifische Funktionalitäten zur Verfügung stellt und echtzeitnahes Arbeiten ermöglicht [BOR-94].

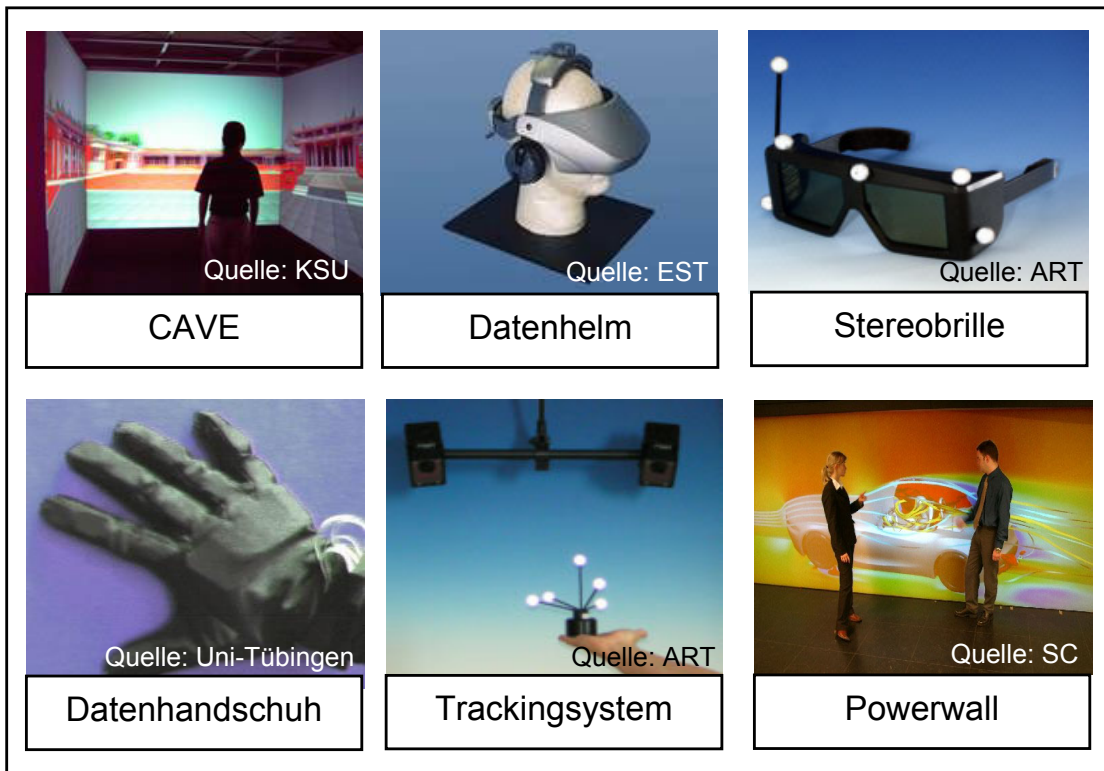


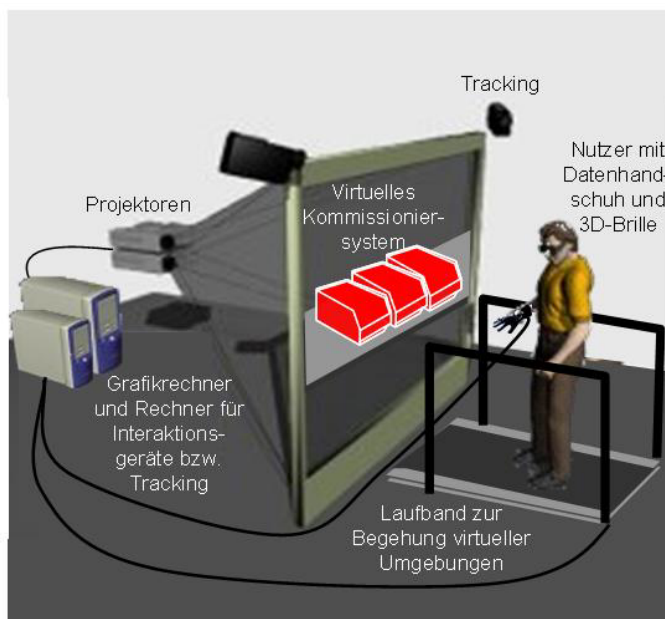
Abbildung 2-3: Elemente der VR

2.1.2 Einsatz der Virtuellen Realität in ForLog

Im Rahmen des Forschungsprojektes ForLog wurde erstmals die Nutzung der innovativen VR-Technologie zur Planung logistischer Systeme und Mitarbeiterschulung realisiert. Hierbei wird der Mensch zur jeweiligen Planungs- bzw. Schulungstätigkeit bestmöglich informatorisch in Form von 3D-Layouts, Handlungsanweisungen etc. unterstützt. Gleichzeitig wurde erstmals ein neuartiger Simulationsansatz im Rahmen der Leistungsbewertung möglich, dessen Gegenstand der Inhalt dieser Studie ist. Durch die Schaffung bzw. Implementierung innovativer Mensch-Maschine-Schnittstellen, wie einem Datenhandschuh bzw. einer omni-/unidirektionalen Bewegungsplattform (z. B. Laufband) zur Begehung virtueller Welten, können logistische Systeme realitätsnah analysiert und bewertet werden. Dies erfolgt durch die Interaktion des Benutzers mit der virtuellen Logistikumgebung in einem echtzeitfähigen VR-Simulationsmodell. Logistische Kennzahlen wie beispielsweise Wegzeiten,

Greifzeiten bzw. Fehlerquoten in der Kommissionierung etc. lassen sich noch bevor ein reales System existiert in den unterschiedlichsten Szenarien ermitteln, ohne dass der Logistikmitarbeiter in einer Simulation abgebildet werden muss. Der Mensch selbst bringt seine Eigenschaften und sein Verhalten in das VR-Simulationsmodell ein und ermöglicht eine realitätsnahe Abbildung im Rahmen einer sogenannten menschantegrierten Simulation. In der Kommissionierung können so z. B. – angefangen von der Auftragsannahme bis zum Pickvorgang – Prozesse komplett abgebildet und unter arbeitstechnischen, systemtechnischen, geometrischen und ergonomischen Gesichtspunkten evaluiert werden.

Um den Einsatz der VR-Technologie zu untersuchen, wurde im Rahmen des Forschungsverbundes ein prototypenhaftes System konzipiert (siehe Abbildung 2-4) und aufgebaut.



Auszug aus den Möglichkeiten der VR-gestützten Absicherung

- Durchführung von Zeitanalysen (REFA, MTM-Analysen)
- Ergonomische Untersuchungen (Greifanalysen etc.)
- Untersuchung und Gegenüberstellung unterschiedlicher Kommissionierkonzepte
- Gesamtsystemanalyse unter soziotechnischen Aspekten

Abbildung 2-4: Konzept des prototypischen Systems

Hierzu erfolgte eine entsprechende Erweiterung des am Lehrstuhl fml bestehenden Virtual Reality Basissystems. Dabei handelt es sich um eine 3 x 2 m große stereoskopische Visualisierungseinrichtung, die es erlaubt, Modelle in nahezu realer Größe darzustellen. Zwei hochauflösende Projektoren gespeist von



einem Grafikrechnercluster mit zwei Workstations erzeugen die zum räumlichen Sehen notwendigen, überlagerten Bilder. Zur Anpassung der Perspektive an den Betrachterstandpunkt ist zudem eine Positionsverfolgungseinrichtung, das in Form eines so genannten Head Trackings, installiert, über die zudem die Steuerung der Anwendungen mit Hilfe eines intuitiv handhabbaren 3D-Eingabegerätes erfolgt. Durch einfache Bewegung der Hand kann mit den Modellen in allen sechs Freiheitsgraden interagiert werden. Als wesentlicher Punkt der Erweiterung ist die Integration neuer Interaktionsgeräte hervorzuheben. Dies umfasst die Installation eines unidirektionalen Laufbandes zur realitätsnahen Fortbewegung im Cyberspace und den Anschluss eines Datenhandschuhes zur realistischen Interaktion mit der Umgebung. Da das Laufband kein „freies“ Gehen ermöglicht, musste ein geeignetes Verfahren entwickelt werden, welches eine realitätsnahe Navigation zulässt. Die Realisierung erfolgte über die am Kopf getragenen 3D-Brille, die vom Trackingsystem erfasst wird. Eine Drehung des Kopfes nach rechts bzw. links hat zur Folge, dass eine entsprechende Drehbewegung im Cyberspace eingeleitet wird. Damit ist ein intuitives Navigieren unter Nutzung des menschlichen Fortbewegungsmechanismus in einer dreidimensionalen Welt möglich. Um den Nutzern von VR-Anwendungen in der Logistiksystemplanung ein möglichst intuitiv verwendbares Eingabegerät zur Verfügung zu stellen, mit dem sich Objekte in der virtuellen Welt manipulieren lassen, wurde ein Datenhandschuh in das System integriert. Der Nutzer kann im Rahmen der Demonstratoranwendung auf dem Laufband durch das virtuelle Modell navigieren und mit Hilfe des Datenhandschuhs Bestandteile logistischer Prozesse (z. B. Greifen) nachvollziehen. Dazu muss jedoch zuvor noch die Abbildung der logistischen Prozesse in einem Rechnermodell erfolgen. Als Beispielszenario wurde in dieser Studie ein manuelles Kommissioniersystem nach dem Prinzip „Mann zur Ware“ zu Grunde gelegt und in Form eines experimentierfähigen



Modells umgesetzt. Dies umfasst die Erstellung eines realitätsnahen 3D-Modells des Kommissioniersystems und die Implementation einer Rechnerlogik zur realistischen Echtzeitsimulation sowie zur automatisierten Datenaufnahme. Die Datenaufnahme umfasst alle relevanten Zeiten bei der Kommissionierung sowie die Wegstrecken, um logistische Kennzahlen zu bilden. Das Ziel dieser Studie in Bezug auf die VR Simulation in der Logistik ist, die Belastbarkeit der ermittelten Simulationsergebnisse zu überprüfen, um eine Aussage über den Sinn des VR-Einsatzes in der Logistik treffen zu können.

2.2 *Augmented Reality gestützte Kommissionierung*

2.2.1 Einführung in die Augmented Reality

Augmented Reality (AR) bezeichnet eine Technologie, die sich Anfang der 1990er Jahre aus der VR entwickelte. Im Gegensatz zur VR wird bei AR nicht die gesamte Umwelt des Benutzers virtuell gestaltet, sondern die reale Umwelt wird um virtuelle Informationen ergänzt. Deswegen wird auch von der Erweiterten Realität gesprochen. Nach [AZU-97] ist die AR durch zwei weitere Merkmale gekennzeichnet. Der Benutzer kann in Echtzeit mit dem System interagieren und die virtuellen Objekte werden kontextbezogen, d.h. zur richtigen Zeit am richtigen Ort im Blickfeld des Benutzers angezeigt. Der Anwender soll diese Szene aus virtuellen und realen Informationen als eine Einheit interpretieren und die virtuellen Objekte werden in seine Sinneswahrnehmung integriert. Abbildung 2-5 zeigt diese drei „I's“ der Augmented Reality.

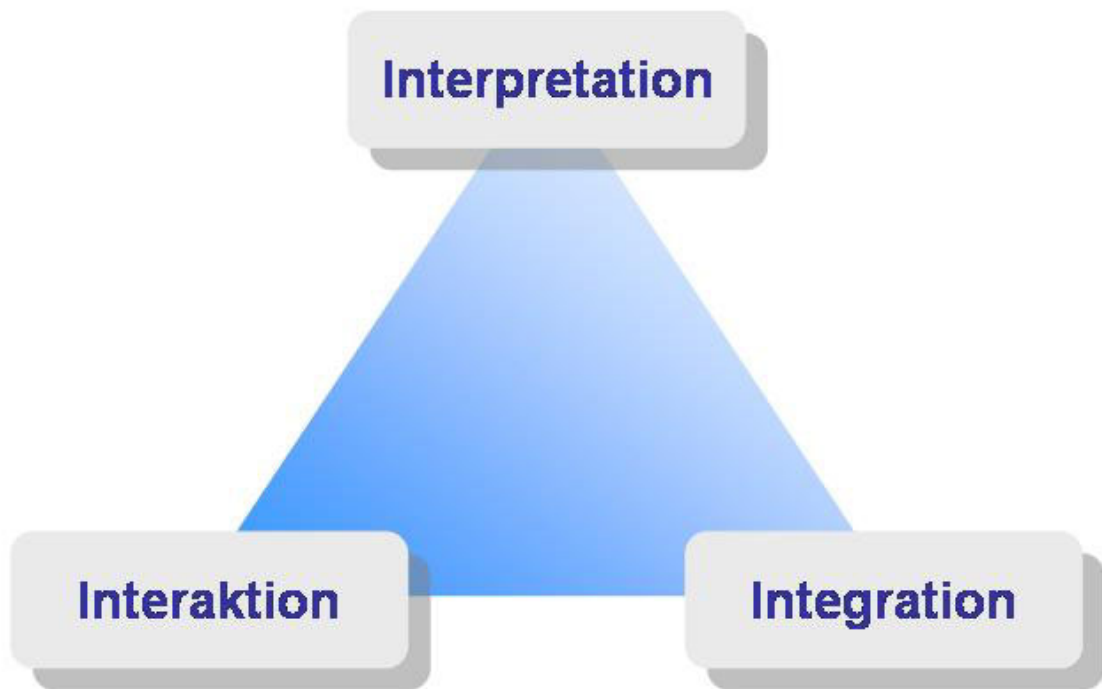


Abbildung 2-5: Die drei I's der Augmented Reality

AR-Systeme können technologisch auf verschiedene Weisen umgesetzt werden, aber sie enthalten immer die gleichen Grundkomponenten:

- Positionserfassungssystem (Trackingsystem)
- Datenhaltungssystem
- Szenengenerator (Renderer)
- Mischer (Combiner)
- Ausgabegerät

Ein klassisches AR-System mit einem optischen Trackingsystem ist in Abbildung 2-6 dargestellt. Eine Kamera nimmt die aktuelle reale Szene auf. Das Videobild dient auch zur Positionserfassung. Durch ein optisches Tracking werden die Lageinformationen bestimmter Referenzgeometrien, beispielsweise Markierungen in Form von schwarz-weißen Abbildungen, die in der Umgebung platziert sind, ausgewertet. Diesen Markern sind bestimmte virtuelle Objekte aus dem Datenhaltungssystem zugewiesen. Wenn nun ein Marker im Kamerabild ist, weißt ihm der Szenengenerator dieses Objekt zu und stellt es in

Abhängigkeit der vom Trackingsystem ermittelten Daten in der richtigen Position dar. Wenn das Ausgabegerät das Kamerabild ausgibt, kombiniert der Mischer das Videobild mit den virtuellen Objekten. Das Ausgabegerät kann ein einfacher Monitor, aber auch eine Datenbrille, ein sogenanntes Head Mounted Display (HMD), sein.

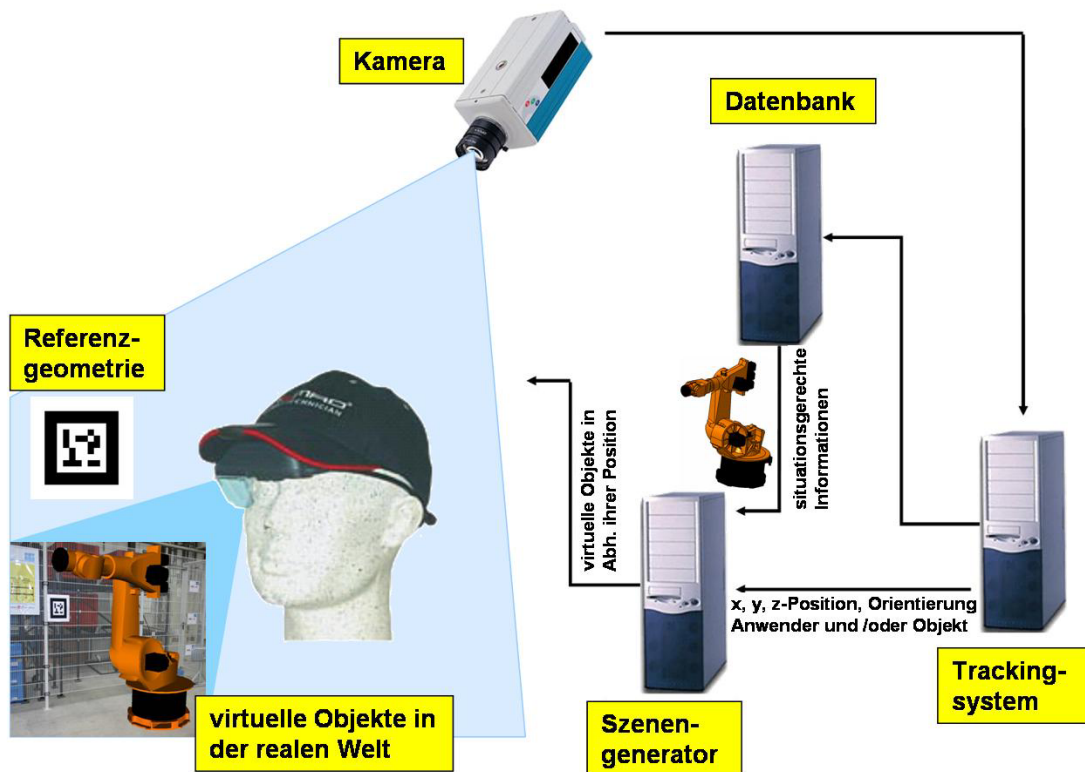


Abbildung 2-6: Aufbau eines AR-Systems mit optischem Trackingsystem

Die Ausgabegeräte sind dabei eine wichtige Komponente eines AR-Systems, weil sie die wesentliche Benutzerschnittstelle bilden und somit die Akzeptanz entscheidend beeinflussen (siehe Abbildung 2-7). Monitorbasierte Systeme sind am einfachsten umzusetzen, binden den Benutzer aber nur wenig in die Erweiterte Realität ein. HMDs bieten hierbei weitreichendere Möglichkeiten. Dabei lassen sich Look-Through- und Look-Around-Geräte als zwei Arten von HMDs unterscheiden.

monitorbasierte Systeme



Datenbrillen

Look-Through-HMD

- Video-See-Through HMD
- Optical-See-Through HMD



Look-Around-HMD

- Video-See-Through HMD
- Optical-See-Through HMD

Abbildung 2-7: Ausgabegeräte für AR

Bei Look-Through-Geräten nimmt der Benutzer die virtuelle wie auch die reale Welt nur durch das HMD wahr. Bei Look-Around-Geräten kann er am Display vorbeisehen und auf die Umwelt blicken. Beide Gerätetypen können auch noch in Video-See-Through (VST) und Optical-See-Through (OST) unterschieden werden. VST ist dabei wie ein monitorbasiertes System, nur dass die Displays vor den Augen platziert sind. Bei OST kann der Benutzer seine reale Umwelt sehen, während die virtuellen Objekte in sein Blickfeld eingeblendet werden. Diese Systeme brauchen kein Videobild, so dass das Tracking meist auf andere Weise, z.B. mit einem Infrarotsystem, bewerkstelligt wird. Für einen Einsatz im industriellen Umfeld müssen HMDs bestimmte Eigenschaften erfüllen. So sollen sie einerseits leicht und bequem zu tragen, aber andererseits robust und mit einem langanhaltenden Akku ausgerüstet sein. Dies führt zu einem Zielkonflikt, der sich nur schwer lösen lässt. Aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen ist zudem darauf zu achten, dass das Sichtfeld des Benutzers nicht eingeschränkt wird. Deshalb sind Look-Through Geräte mit OST



und Look-Around Geräte mit VST kaum für diesen Anwendungsfall geeignet. Look-Through Geräte mit VST dürfen nicht verwendet werden, da die Umwelt nur über ein Videobild wahrgenommen wird. Look-Around mit OST sind deshalb die am besten geeigneten HMDs. Dazu zählen beispielsweise sogenannte Virtual Retinal Displays (VRD), die über halbdurchlässige Spiegel das Bild direkt ins Auge projizieren.

2.2.2 AR-Anwendungen in der Kommissionierung

Die AR hat viele mögliche Einsatzbereiche im industriellen Bereich. Im Leitprojekt ARVIKA wurden in einem großen Forschungsverbund aus Industrie und Hochschulinstituten mögliche Einsatzszenarien für Entwicklung, Produktion und Service untersucht [FRI-04]. Gerade Montage, Service und Instandhaltung sowie die Produktionsplanung werden oft genannt, wenn es um mögliche AR-Anwendungen geht. Die Kommissionierung ist dabei eine, die am meisten Erfolg verspricht [KAM-06]. Im Rahmen von ARVIKA wurde bei VW ein erster Kommissionierdemonstrator im Labor aufgebaut [ALT-03]. Das AR-System sparte ca. 25% Bearbeitungszeit ein gegenüber dem herkömmlichen Verfahren (siehe Abbildung 2-8). Das größte Zeiteinsparungspotenzial liegt dabei in der Parallelisierung von Informationsaufnahme mit den Nebentätigkeiten, womit Totzeiten minimiert werden können. Die Suchzeiten werden wesentlich verringert, womit sich AR v.a. für reine Bereitstellungsaufgaben eignet.

Am Heinz-Nixdorf-Institut der Universität Paderborn wurden bereits Versuche zum Einsatz eines AR-Systems in der Kommissionierung unternommen ([DAN-05], [MUE-05]). Dabei wurde ein AR-System mit einem VST HMD mit einer Papierliste verglichen. Dem Kommissionierer wurden neben Pickinformationen als Text auch eine Übersichtskarte und eine optische Hervorhebung des Lagerfachs durch eine Umrandung angezeigt. Mit dem HMD war eine deutliche Lernkurve erkennbar und es wurden so gut wie keine Fehler gemacht, allerdings traten bei

den Benutzern Orientierungsprobleme und Gleichgewichtsstörungen auf, was am Einsatz des VST-HMDs lag.

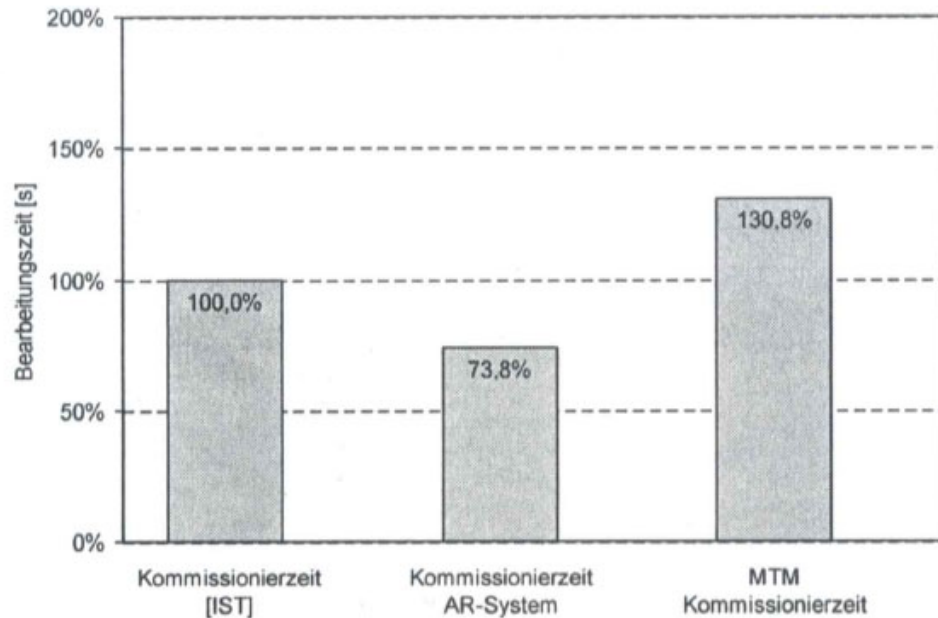


Abbildung 2-8: Vorteile AR in der Kommissionierzeit [ALT-03]

Die metaio GmbH, die auch Partner im ForLog-Verbund ist, führte zusammen mit DaimlerChrysler Nutzfahrzeuge einen Feldversuch in der montagenahen Kommissionierung durch ([BRA-05], [KAM-06]). Dabei wurde ein VRD als HMD verwendet, das zur Anzeige von Text diente. Als Interaktionsgeräte wurden ein einfacher Button zur Bestätigung und die Tasten am mobilen Rechner des VRD zur Eingabe von Fehlmengen verwendet. Auch hier war nur eine kurze Anlernphase nötig und die Mitarbeiter empfanden die Gestaltung der haptischen und visuellen Schnittstelle als gelungen und zweckmäßig. Der Button als Interaktionsgerät war einfach und mit Handschuhen zu bedienen. Dazu war er sehr robust. Bei zeitlich begrenzten Aufgaben mit hinreichend Nutzungspausen wurde der Einsatz des HMD als unbedenklich eingestuft. Allerdings war die Belastungen durch die Geräte hinsichtlich Gewicht und Wärmeentwicklung hoch. Deswegen kann ein Vollschichteinsatz nicht bedenkenlos empfohlen werden. Außerdem traten bei manchen Mitarbeitern Kopfschmerzen auf, deren Ursachen zunächst nicht ersichtlich waren. In einer zweiten Studie im Labor wurde festgestellt, dass



die Probleme durch die unvorteilhafte Gewichtsverteilung beim Tragen des HMDs verursacht werden.

Im Rahmen des Teilprojektes MitLog des Forschungsverbunds ForLog wurde eine Testreihe zur Informationsdarstellung in der Kommissionierung durchgeführt. Unter anderem wurde dabei eine AR-Variante mit dem Sony Glasstron HMD und Infrarottracking untersucht [SCW-06]. Das beschränkte Sichtfeld und die schlechte Tiefenwahrnehmung dieses Look-Through OST HMD erwiesen sich als die größten Probleme des HMD-Systems gegenüber den anderen untersuchten Varianten.

Am Lehrstuhl fml wird an einem AR- Kommissioniersystem gearbeitet, dass auch für den Praxiseinsatz geeignet sein soll. Dazu wird als Datenbrille ein VRD verwendet, das sich am besten für den Einsatz in Lagerumgebungen eignet. Als Eingabegerät für die einfachen Befehle in der Kommissionierung wird im ersten Demonstrator eine Sprachsteuerung verwendet. Mit der Anbindung an ein Warehouse Management System (WMS), in dem die Aufträge erstellt werden, wird die Einbindung in den Informationsfluss eines realen Lagers simuliert. Eine genauere Beschreibung des Systems erfolgt in Kapitel 3.3.



3 Probandenprogramm

Das Probandenprogramm dient zum Vergleich vier verschiedener Kommissioniertechniken:

- belegbasiertes Kommissionieren mit Liste
- Pick-by-Voice System
- Augmented Reality unterstütztes Pick-by-Voice System
- Simulationsumgebung zum Kommissionieren in der Virtual Reality

Während sich die AR- und VR-Kommissionierung noch in der Forschung befindet, handelt es sich bei den anderen Kommissioniertechniken um in der Praxis etablierte Systeme.

Das Probandenprogramm hat zum Ziel, Antworten auf verschiedene Fragestellungen aus dem Vergleich der unterschiedlichen Kommissioniertechniken zu erhalten.

Dies sind ...

...im Allgemeinen:

- Wie stark unterscheiden sich die Kommissionierzeiten zwischen den einzelnen Kommissioniertechniken?
- Welche Technik(en) zeichnet/zeichnen sich durch hohe Kommissionierqualität (wenig Pickfehler) aus?
- Welche Kommissioniertechnik hat die höchste Akzeptanz bei den Versuchspersonen?
- Welche Kommissioniertechnik eignet sich nach Meinung der Probanden optimal als Schulungs- bzw. Lernmedium?
- Wie hoch ist die kognitive Belastung der einzelnen Techniken aus Sicht der Nutzer?
- Welches System sticht durch seine Benutzerfreundlichkeit hervor?

...bezogen auf die Kommissionierung in der Virtual Reality:

- Wie genau lässt sich der Kommissionierprozess in der VR abbilden?
- Stimmt die integrierte Zeitaufnahme für die Einzelzeiten in der VR mit den gemessenen Werten für die VR überein?

- Wie stark fühlen sich die Probanden in die immersive Welt eingebunden?

Darüber hinaus sollten durch die Versuchsreihe erste Eindrücke der Probanden gesammelt werden, inwiefern auch konstruktive oder prozesstechnische Änderungen die Systeme verbessern könnten.

Der genaue Ablauf des Programms wird im Folgenden kurz erläutert, bevor auf die Spezifika der Versuche zu den einzelnen Kommissioniertechniken eingegangen wird.

3.1 Allgemeiner Versuchsaufbau und Ablauf für das Probandenprogramm

Der Versuchsaufbau stellte sich für alle vier Kommissioniertechniken gleichermaßen dar, wobei in der VR ein virtuelles Abbild der realen Versuchsumgebung zum Einsatz kam. Untersucht wurde die einstufige, eindimensionale Kommissionierung mit Gangwechsel nach dem Prinzip „Mann zur Ware“. Hierzu steht am Lehrstuhl fml einerseits in der Versuchshalle (Abbildung 3-1) und andererseits im Virtual Reality Labor als Versuchsumgebung ein kleines Lager in Form von vier Regalzeilen, sprich zwei Lagergassen zur Verfügung. Jede Zeile besteht aus fünf Regalebene mit jeweils 14 Lagerplätzen, sodass alles in allem 280 Sichtkästen im Lager Platz finden. Insgesamt steht ein Artikelspektrum von 59 Teilen bereit, das fest definiert für alle Versuchsszenarien gleich war. Bei den Teilen handelte es sich um einfache Geometrien (vornehmlich Kleinkartons für Schrauben, welche in der virtuellen Welt als virtuelle Würfel nachgestellt waren), sodass Sonderfälle wie das Vereinzeln von verkeilten Artikeln (z. B. Sicherungsringe) prozesstechnisch nicht abgebildet wurden.



Abbildung 3-1: Reales Versuchslager am Lehrstuhl fml

Als Versuchspersonen dienten Studenten und Industriemechaniker, die jeweils unterschiedliche Erfahrung im Umgang mit Kommissionierung sowie Augmented und Virtual Reality mit sich brachten. Zur statistischen Absicherung der Ergebnisse wurden insgesamt 17 Probanden für die Versuchsdurchführung eingesetzt.

Die Probanden hatten insgesamt viermal fünf Kommissionieraufträge zu bewältigen – für jede Kommissioniertechnik jeweils fünf Aufträge. Um Aussagen zur Auftragsgröße machen zu können, mussten kleine und große Aufträge bearbeitet werden. Es wurden deshalb drei kleine Aufträge mit je drei Positionen und zwei große Aufträge mit sieben Positionen ausgewählt. Die Aufteilung zwischen drei und sieben Positionen ist auch unter dem Aspekt zu sehen, dass ab drei Positionen pro Auftrag eine beleglose Kommissionierung in Betracht gezogen werden muss [VOG-97]. Entsprechend dieser Quelle sollte die Liste gegenüber den beleglosen Technologien v.a. bei den großen Aufträgen schlechter abschneiden. Pro Position werden maximal zwei

Artikel und pro Auftrag maximal vier (bei drei Positionen) bzw. neun Artikel (bei sieben Positionen) entnommen. Die Probanden arbeiten bei jedem Einzelversuch mit der jeweiligen Technologie die Aufträge sequentiell in der gleichen Reihenfolge ab, d.h. es wird mit Auftrag 1 gestartet und mit Auftrag 5 endet der Versuch. Die Reihenfolge der Auftragsabarbeitung (wegoptimierte Kommissionierung) wird vom WMS festgelegt und auch auf die nicht über das WMS gesteuerten Technologien Pickliste und VR übertragen.

Der Ablauf bei der Durchführung der Versuche stellte sich folgendermaßen dar:

Die vier Kommissioniertechniken wurden von allen Versuchspersonen getestet, wobei jeder, wie erwähnt, pro Technik die fünf Aufträge in gleicher Reihenfolge zu erledigen hatte. Jedoch wurde die Reihenfolge, in der die Kommissioniertechniken von den Probanden getestet wurden in vier Versuchsreihen gruppiert. Hierdurch sollte der sich bis hin zur letzten Kommissioniertechnik zwangsweise einstellende Trainingseffekt für die Auswertung vermieden werden, sodass keine Verfälschung der Ergebnisse auftritt. Demnach gab es vier Gruppen à vier Probanden, die die Versuche in folgender Reihe durchführten:

- Pickliste → Pick-by-Voice → AR-Kommissionierung → VR-Kommissionierung
- VR-Kommissionierung → Pickliste → Pick-by-Voice → AR-Kommissionierung
- VR-Kommissionierung → AR-Kommissionierung → Pick-by-Voice → Pickliste
- AR-Kommissionierung → Pickliste → Pick-by-Voice → VR-Kommissionierung

Bei den Versuchsreihen wurde die VR-Kommissionierung jeweils zu Beginn und Ende einer Reihe angesetzt, da dadurch das Durchführen des Probandenprogramms zeitlich verkürzt werden konnte.



Zu Beginn der Versuche wurden die Grunddaten der Probanden per Fragebogen erhoben (Alter, Geschlecht, Erfahrung im Umgang mit den Kommissioniertechniken, im Umgang mit Computerspielen etc.). Nach der Zuteilung zu einer der vier Versuchsreihen erhielt der Proband eine Kurzeinweisung, um auf den Ablauf und notwendige Randbedingungen aufmerksam gemacht zu werden (z.B. wurden die Probanden angewiesen, den Kommissionierwagen inkl. Sammelbehälter bei der Abarbeitung der Aufträge mitzuführen). Anschließend erledigte der Proband die Kommissionieraufträge entsprechend dem jeweiligen für die Kommissioniertechnik angepassten Prozess. Der grundlegende Ablauf lässt sich in Basis-, Weg-, Greif-, Totzeiten unterteilen. Die Basiszeit beinhaltet alle Umfänge zur Auftragsannahme und Abgabe, z. B. das Holen der Pickliste oder eines Sammelbehälters. Die Weg- und die Greifzeit umfassen die physischen Vorgänge Bewegung zum Lagerplatz und das Greifen der Artikel. Die Totzeit beschreibt unnötige Vorgänge wie das Suchen oder Kodieren von Informationen und Wartezeiten. Die Spezifika zu den einzelnen Kommissioniertechniken sind in den jeweiligen Unterkapiteln beschrieben.

Alle Kommissionierprozesse wurden per Videoaufnahme dokumentiert, sodass anschließend die Zeitanteile der Einzelprozesse innerhalb der Kommissionierung separat betrachtet und analysiert werden konnten. Nach Abschluss der Aufträge erhielt der Proband zu jeder Kommissioniertechnik einen Fragebogen, der sowohl einen über alle Techniken gemeinsamen Fragenblock zu den Themen Akzeptanz, Lerntransfer, Lernerfolg, kognitive Belastung usw. als auch ein zur Technologie gehörendes spezifisches Fragenpaket enthielt. Dies ermöglichte einerseits den Vergleich der verschiedenen Kommissioniertechniken untereinander wie auch eine Analyse von technologieabhängigen Kriterien (siehe Abbildungen 3-2, 3-3).

**Fragebogen zur Einschätzung Ihrer Tätigkeit in der virtuellen
Kommissionierumgebung**

Codenummer	VP
------------	----

Motivation & Akzeptanz

	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/zur Schulung empfehlen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

...

3D-Visualisierung

Verständlichkeit

	Stimmt über- haupt nicht	Stimmt weit- gehend nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt ein wenig	Stimmt weit- gehend	Stimmt genau
Es war einfach, mit der Datenbrille zu navigieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es war einfach, mit dem Handschuh zu greifen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es war einfach, das Laufband zu bedienen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es war einfach, mit der 3D-Visualisierung zu arbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand die virtuelle Welt verständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand es schwierig, mich in der virtuellen Welt zurecht zu finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

...

Abbildung 3-2: Technikunabhängiges Fragenpaket zu Motivation & Akzeptanz sowie auf die VR-Kommissionierung bezogene Fragen zur Verständlichkeit der 3D-Visualisierung



Kognitive Belastung

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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	anspruchsvoll
--------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------

Als wie erfolgreich schätzen Sie sich ein, diese Art zu kommissionieren bewältigt zu haben?

nicht erfolgreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr erfolgreich
----------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------

Wie gestresst fühlten Sie sich während der Tätigkeit zu kommissionieren (z. B. unsicher, entmutigt, verwirrt)?

überhaupt nicht gestresst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr gestresst
---------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------------

...

Abbildung 3-3: Auszug der Fragen zur kognitiven Belastung

Zusätzlich enthielt jeder Bogen eine offene Frage, um den Probanden die Möglichkeit zu geben, Verbesserungsvorschläge für die einzelnen Systeme einzubringen. Nach Beendigung einer Versuchsreihe wurden vom Versuchsteam die Kommissionierfehler (Mengenfehler bzw. Artikelfehler) festgestellt und dokumentiert.

3.2 Aufbau und Ablauf der Untersuchung zur VR-gestützten Simulation

Ziel dieser Untersuchung ist die Validierung virtuell ermittelter logistischer Kennzahlen an Hand eines Versuchsszenarios. Diese aus der VR gewonnenen Kennzahlen werden real gemessenen Kennzahlen gegenübergestellt, damit eine Bewertung der Simulationsergebnisse und des Simulationsansatzes erfolgen kann.

Als Beispielszenario wurde ein manuelles Kommissioniersystem nach dem Prinzip „Mann zur Ware“ zu Grunde gelegt und in Form

einer Rechnerrepräsentation umgesetzt. Das abzubildende Modell orientiert sich an dem real existierenden Kommissioniersystem, das am Lehrstuhl fml aufgebaut ist (siehe Abbildung 3-1). Dies umfasst zwei Regalzeilen, eine Basis und eine Abgabestation. Der Aufbau der virtuellen Umgebung erfolgte in 3D Studio Max und ist in Abbildung 3-4 zu sehen. Im Vergleich zur Realität befindet sich die Basis (Auftragsannahmestation) im virtuellen Modell an einer anderen Position, was entsprechend bei der Zeitstudie berücksichtigt wurde. In den Sichtlagerkästen befinden sich gefärbte Würfel, die die Pickartikel darstellen. Auf Grund der rechenintensiven Visualisierungsvorgänge wurde auf eine detailgetreue Abbildung des Sortiments verzichtet. Das Lager beinhaltet insgesamt 100 Artikel, die beliebig in Kommissionieraufträgen als zu pickende Einheit deklariert werden können. Ebenso wurden auf die Regale realistische Texturen mit den Lagerplatzbezeichnungen aufgebracht (siehe Abbildung 3-5).

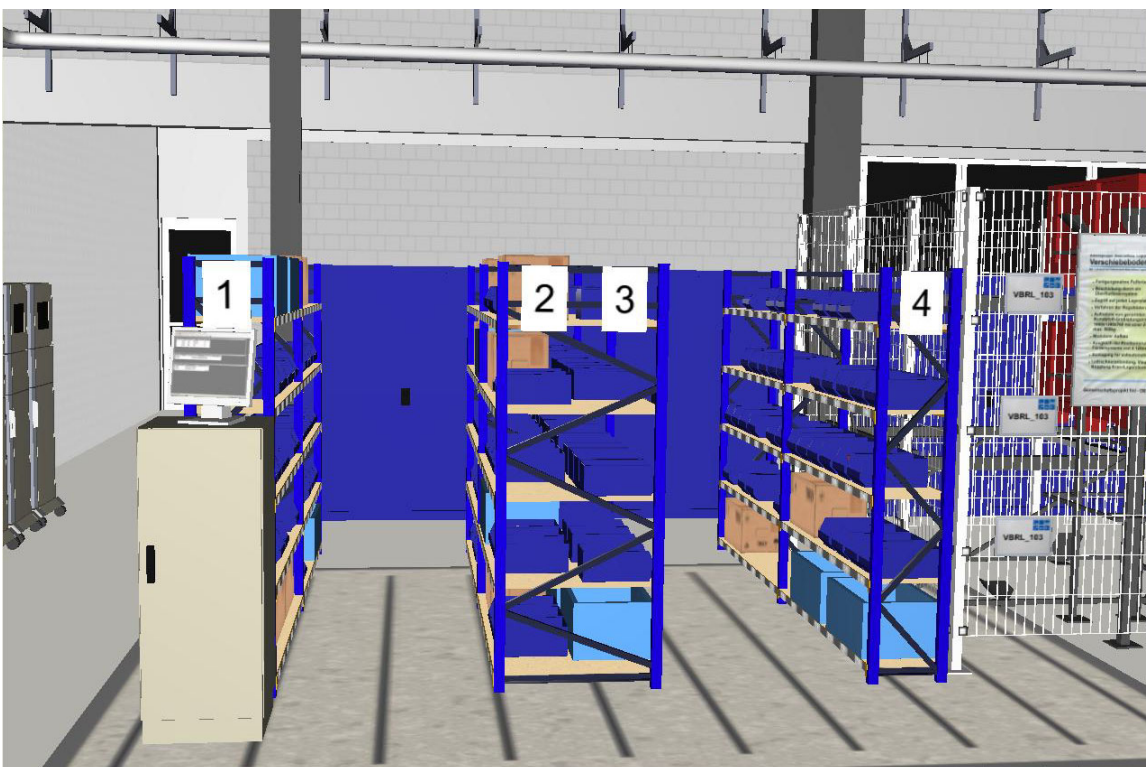


Abbildung 3-4: Virtuelles Kommissioniersystem

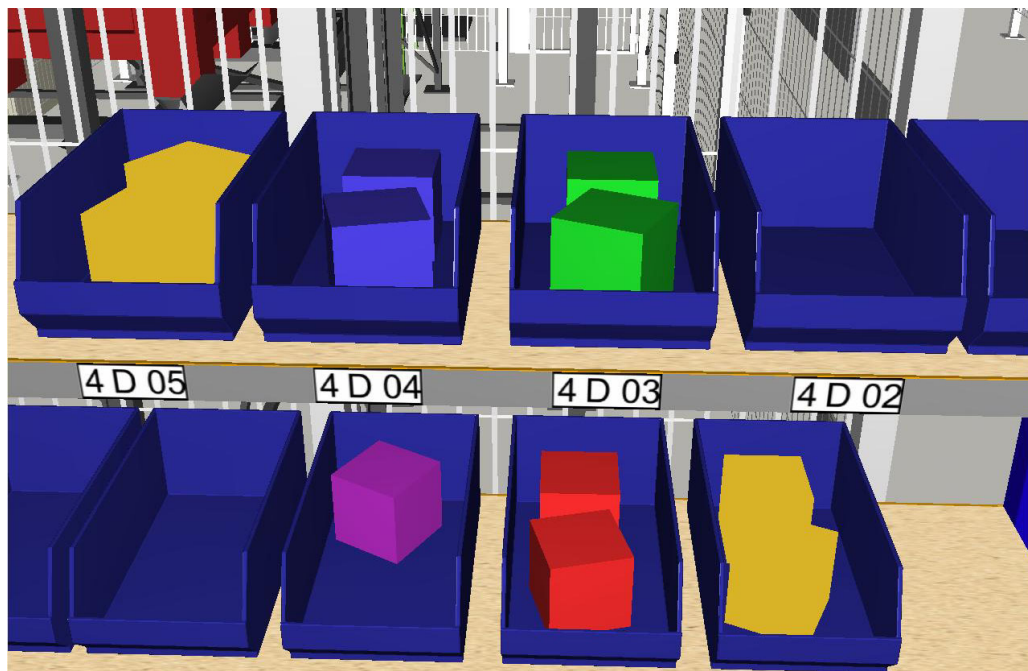


Abbildung 3-5: Lagerplatzabbildung in der VR

Auf Basis dieses Modells können Probanden im virtuellen System exakt dieselben Kommissionieraufgaben ausführen wie im realen System, womit letztendlich eine Untersuchung der erzielten Simulationsergebnisse erfolgen kann. Konkret sollen Weg-, Greif- und Totzeiten analysiert werden, um eine Aussage über die Güte der in einer VR-Umgebung zu erzielenden Simulationsergebnisse treffen zu können.

Nachfolgende Abbildung (siehe Abbildung 3-6) verdeutlicht das Versuchsszenario mit den entsprechenden Bestandteilen in der Draufsicht.

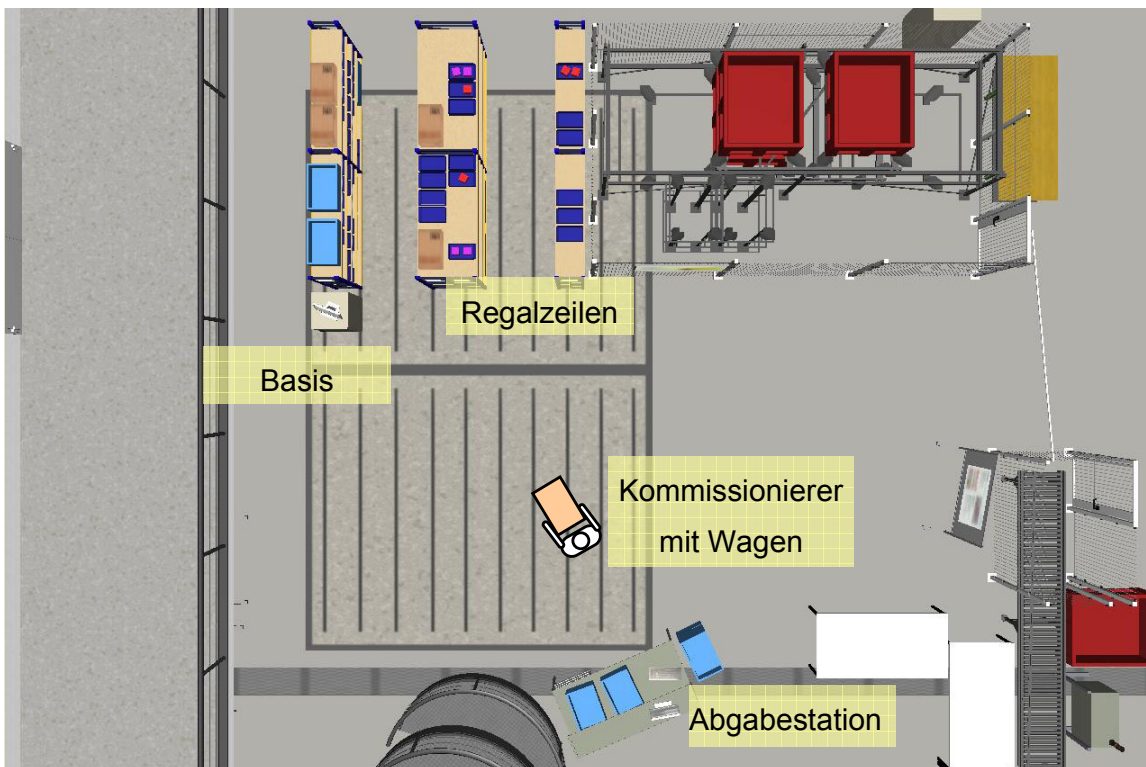


Abbildung 3-6: Versuchsszenario in der VR

Wie in Abbildung 3-7 dargestellt beginnt ein Kommissionierzyklus mit der Auftragsannahme an der Basis. Im virtuellen Modell erfolgt dies durch die gewünschte Kollision von virtueller Datenhand, die durch den Datenhandschuh gesteuert wird, mit der Basis. Nach erfolgter Quittierung des Auftrages kann der Proband mit Hilfe der Bewegungsplattform und des Datenhandschuhes durch die Regalgassen navigieren und Artikel entsprechend der Pick-Liste entnehmen. Nach Beendigung der Pickvorgänge wird der Auftrag an der Abgabestation durch Quittierung abgeschlossen und ein neuer Auftrag kann angenommen werden. Im Hintergrund der Simulationsanwendung werden vollautomatisch Weg-, Greif- und Totzeiten mitdokumentiert, die der späteren Auswertung dienen.

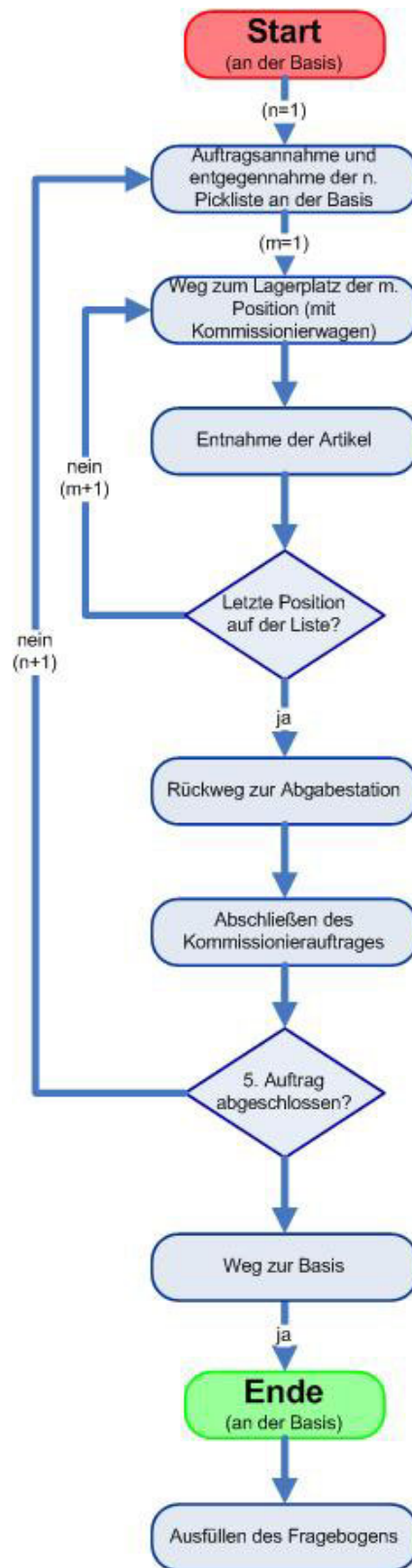


Abbildung 3-7: Ablauf der Versuchsreihe „menschintegrierte Simulation“

In Abbildung 3-8 ist der physische Versuchsaufbau mit einem Proband bei einem Pickvorgang abgebildet. Deutlich ist der graue Würfel zu erkennen, der gerade auf dem virtuellen Kommissionierwagen (hier rot eingefärbt) mit Hilfe des Datenhandschuhs abgelegt wird.

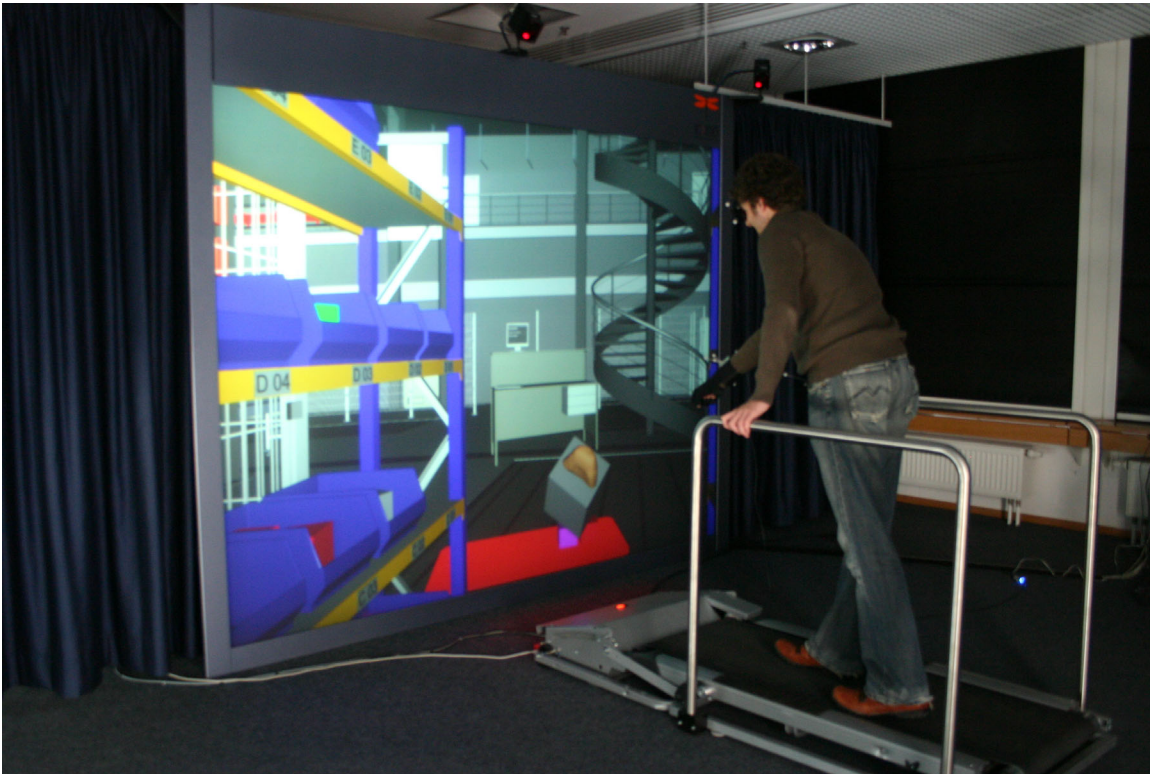


Abbildung 3-8: Proband bei einem Versuchslauf

3.3 Aufbau und Ablauf der Untersuchung zur AR-gestützten Kommissionierung

Für den Aufbau eines AR-Kommissioniersystems wurden bereits implementierte Komponenten des am Lehrstuhl fml vorhandenen Warehouse Management Systems Prolag[®] World der CIM GmbH genutzt. Zusammen mit der Firma CIM wurde ein erstes Funktionsmuster umgesetzt, das auf dem Staplerleitsystem und einer im WMS mit der Software speakING[®] von MediaInterface umgesetzten Pick-by-Voice-Lösung basiert. Das im WMS integrierte Staplerleitsystem wird nicht über ein Staplerterminal, sondern über das VRD Nomad der Firma Microvision visualisiert

(siehe Abbildung 3-9). Die Interaktion erfolgt über das prototypenhaft an das WMS angeschlossene Pick-by-Voice-System.



Abbildung 3-9: Kommissionierer mit Datenbrille

Neben den Vorteilen der schnellen Umsetzung eines in den Datenfluss eines Lagers integrierten AR-Kommissioniersystems ergeben sich auch einige Nachteile. Bei der Visualisierung ist man an die Vorgaben des Staplerleitsystems gebunden, die allerdings noch etwas angepasst werden können. Durch das Staplerleitsystem ist als Sammelbehälter eine Europalette eingestellt, die bei der manuellen Kommissionierung mit einem kleinen Kommissionierwagen wenig Sinn macht. Die Vorgaben des Pick-by-Voice-Systems erlauben es nicht, dass die Sprachausgabe abgestellt werden kann. Diese ist bei Fehleingaben nötig, denn diese werden nicht über das HMD angezeigt. Der Benutzer ist in diesem Fall auf die Sprachausgabe angewiesen.

Des Weiteren wird eine Basis benötigt, an der der Proband startet, den Sammelbehälter holt und wieder abgibt. Dazu wurde

ein Tisch verwendet, der ca. drei Meter vor dem Lagerbereich aufgebaut wurde (siehe Abbildung 3-10). Den Sammelbehälter stellt er auf einen Kommissionierwagen, den er während der gesamten Kommissionierung mitführt, d.h. der Wagen wird in die Gasse mitgenommen und nicht davor abgestellt (siehe Abbildung 3-1).



Abbildung 3-10: Basis für die Versuche

Mit diesem ersten System kann die Abarbeitung eines Kommissionierauftrags (Auslagerauftrag) durchgeführt werden. Dieser beginnt mit der Eingabe im WMS. Nach der Anmeldung wählt der Proband seinen Auftrag aus. Ihm wird angezeigt, welchen Behälter er entnehmen muss. Nach der Aufnahme des Behälters erfolgt die Darstellung der einzelnen Positionen. Am Ende des Auftrags erhält er die Information, dass er den Behälter am Kontrollplatz abgeben muss. Dabei bestätigt er jede Aktion mit einem Sprachkommando. Da das System ohne Kenntnis des Ablaufs und der Sprachbefehle nicht zu bedienen ist, bekommt der Proband vor Beginn seiner Versuchsreihe eine Einweisung. Ihm werden der Ablauf, die dazugehörigen Visualisierungen und Sprachbefehle erläutert. Dabei wird erwähnt, dass als Sammelbehälter eine Europalette und kein KLT-Behälter



angezeigt und angesagt wird. Nach der Erklärung des Ablaufs legt der Proband die Ausrüstung an. Es wird auf einen korrekten und bequemen Sitz sowie eine optimale Einstellung des Displays geachtet. Anschließend darf sich der Proband mit der Sprachsteuerung vertraut machen. Er übt das Einloggen mit anschließendem Ausloggen, um zu sehen wie seine Stimme verstanden wird. Gibt es dabei keine Probleme, wird mit der Durchführung begonnen. Bei dieser Versuchsreihe entfällt der Gang zum Bereitstellplatz der Kommissionierliste. Der Versuch und damit die Aufzeichnung der Kamera beginnt mit dem ersten erfolgreichen Anmelden am System an der Basis. Den Ablauf des Versuchs mit dem AR-Kommissionierungssystem zeigt Abbildung 3-11. Die Abmeldung wurde meist nicht mehr auf Video aufgenommen, so dass die Versuche mit dem Abstellen des letzten Sammelbehälters auf dem Tisch endeten.

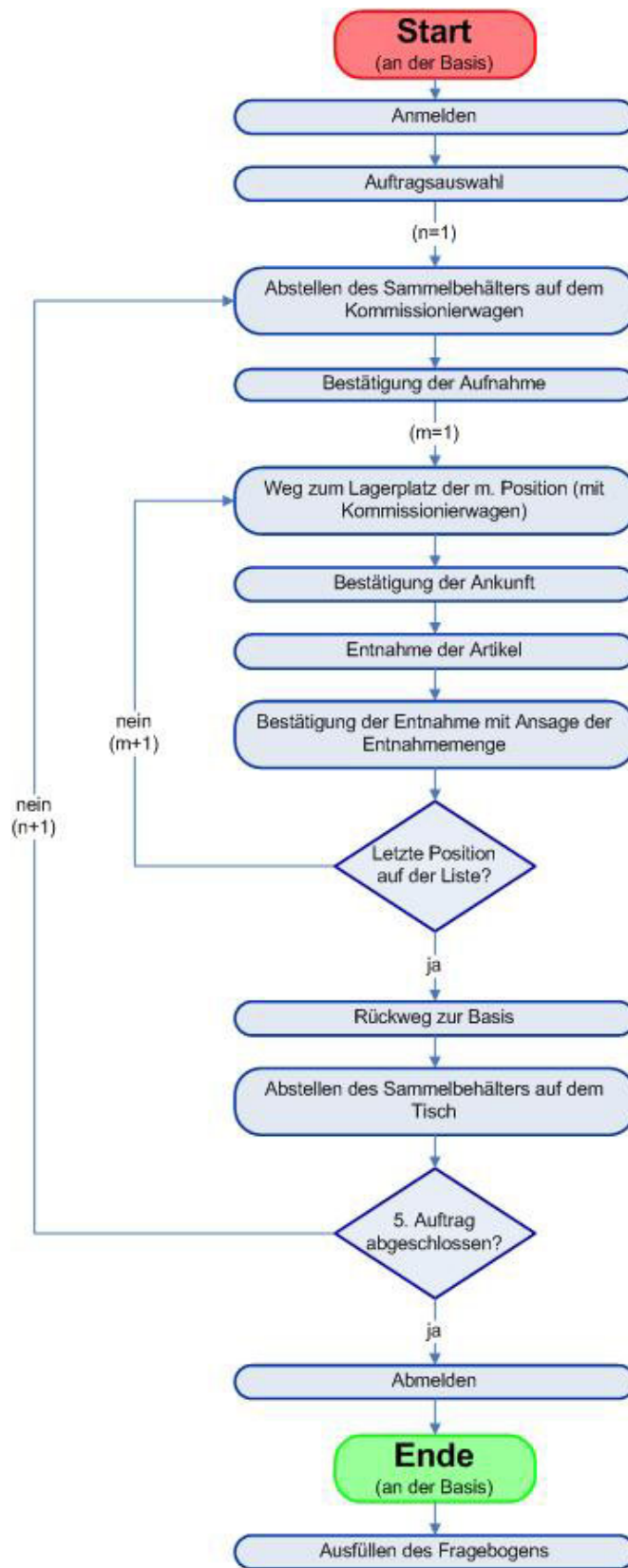


Abbildung 3-11: Ablauf der Versuchsreihe mit einem AR-Kommissioniersystem und Pick-by-Voice

3.4 Aufbau und Ablauf der Untersuchung zu den Referenztechnologien

3.4.1 Kommissionierliste

Die herkömmlichste Methode zu Kommissionieren erfolgt mit einer Auftragsliste in Papierform (siehe Abbildung 3-12). Im folgenden Absatz werden einige allgemeine Aspekte zu diesem Kommissionierverfahren erläutert.



Abbildung 3-12: Kommissioniererin mit Liste

Der Umgang mit Papierlisten ist für den Menschen zunächst vertraut und somit sind die Abläufe sehr einfach zu erlernen. Auf der Liste sind in einer übersichtlichen Form alle für den Auftrag wichtigen Daten abgebildet. Es kann sogar ein Barcode zum Abscannen abgedruckt sein. Das Abscannen bestätigt den

Abschluss des Auftrags im WMS. Ohne Scannen kann dies über eine manuelle Eingabe an einem Rechner erfolgen. Die einzelnen Positionen werden durch Abhaken mit einem Stift quittiert. Das System ist einfach zu handhaben und auch flexibel einsetzbar, aber es bringt auch einige Nachteile mit sich. Das Mitführen der Liste und das Abhaken mit einem Stift schränken den Mitarbeiter in seiner Bewegungsfreiheit ein und verlängern den Kommissionierprozess. Der Aufwand für das Ablesen der Daten ist hoch und auch fehleranfällig. Die Fehlerrate liegt bei ca. 0,35% [LOL-03] (wobei in dieser Studie die Fehlerraten bei Pick-by-Light mit 0,40%, MDE mit Scanner bei 0,36% und MDE ohne Scanner bei 0,69% lagen). 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 zu diesem Zeitpunkt eingegeben werden, so dass keine Bestandskontrolle in Echtzeit möglich ist.

Für die Versuche wurden eigene Picklisten entworfen und nicht jene verwendet, die das WMS automatisch erzeugt. Abbildung 3-13 zeigt die Liste für einen „großen“ Auftrag mit sieben Positionen. Die Nummer des jeweiligen Auftrags ist oben links, die aktuelle Seite oben rechts angegeben. Die Aufträge sind noch so klein, so dass jeweils nur eine Seite Papier benötigt wird. Somit ist der Nachteil, dass durch mehrere Seiten navigiert werden muss, nicht gegeben. Die für die Versuche wichtigen Daten umfassen den Lagerplatz, den Artikel mit Nummer und Beschreibung sowie die Entnahmemenge. Die Artikeldaten entsprechen den Angaben im WMS. Die Reihenfolge der Lagerorte ist wegoptimiert und entspricht der für die beleglosen Systeme vom WMS errechneten. Da die Artikel in VR kein Etikett mit der Artikelnummer tragen, werden diese mit unterschiedlichen Farben unterschieden. Diese ist auch auf den Kommissionierlisten festgehalten.

Kommissionierauftrag

Auftrag Nr.: 5 Seite: 1

Pos	Lagerplatz	Bezeichnung	Entnahmemenge
1	2B12	Edding 435104 <i>gelb</i>	1
2	2B11	Scheibe 10,5 DIN 9021 5290211058 <i>blau</i>	1
3	2C12	Scheibe 8,4 DIN 125 A 5201258848 <i>pink</i>	1
4	1C11	Sechskantmutter M10x1 DIN 439 520439101 <i>rot</i>	1
5	3D06	Zylinderschraube M4x10 DIN 912 520912410 <i>rot</i>	2
6	4D09	Sechskantschraube M4x30 DIN 933 520933430 <i>pink</i>	1
7	4C11	Zylinderschraube M8x80 DIN 912 520912880 <i>blau</i>	2

Kommissioniert am: Unterschrift:

Abbildung 3-13: Kommissionierliste für einen Auftrag mit sieben Positionen

Beim Aufbau einer Kommissionierliste ist darauf zu achten, dass diese übersichtlich gestaltet wird und der Mitarbeiter die nötigen Daten ohne großen kognitiven Aufwand zu dem Zeitpunkt findet, an dem er sie braucht. Die einzelnen Zeilen sowie die einzelnen Daten der Auftragszeile sollen klar voneinander unterscheidbar sein. Entsprechend wurden die drei Teile Lagerplatz, Artikel und Entnahmemenge voneinander getrennt aufgeführt. Die Leserichtung ist von links nach rechts und somit wurden die Daten in der Reihenfolge angeordnet, in der sie der

Kommissionierer braucht: zuerst der Lagerplatz, dann der Artikel und am Ende die Menge. Die Artikelbeschreibung ist eine zusätzliche Angabe, um Kommissionierfehler zu vermeiden. Der Lagerplatz als erstes Element wurde optisch hervorgehoben. Manche Kommissionierer lesen bevorzugt die Artikelnummer, andere die Bezeichnung, so dass beide Informationen angegeben werden. 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 Unterschrift und legt diese in den Kommissionierbehälter (siehe Abbildung 3-14).



Abbildung 3-14: Abgelegte Kommissionierliste im Sammelbehälter nach Abschluss des Auftrags

Beim Versuchsaufbau wurden die ausgedruckten Listen bereitgestellt. Der Bereitstellort der Listen lag einige Meter entfernt von der Basis (Sammelbehälter holen und abgeben), um den Nachteil eines beleggebundenen Systems zu einem beleglosen, das die Daten online bekommt, zu simulieren. Den Ablauf des Versuchs mit der Kommissionierliste zeigt Abbildung 3-15.

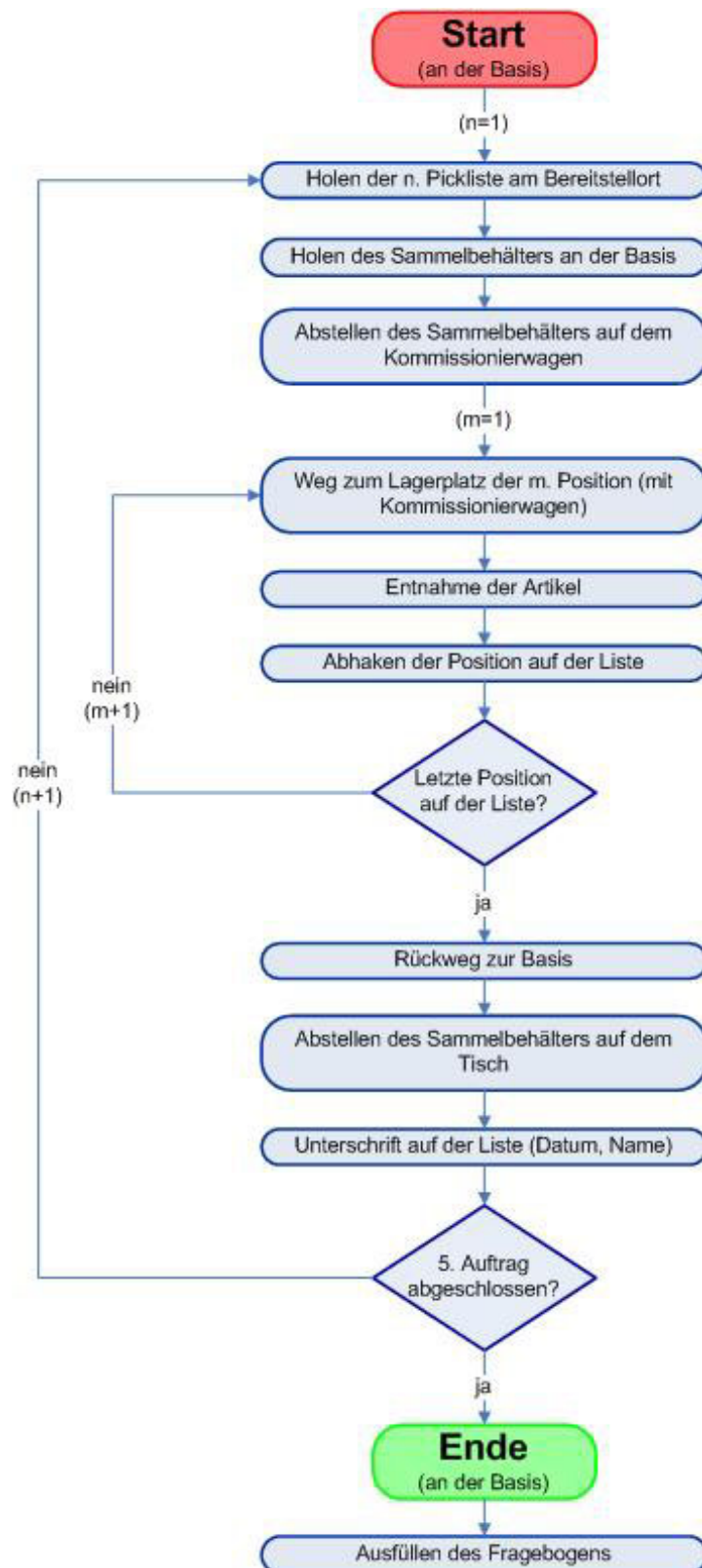


Abbildung 3-15: Ablauf der Versuchsreihe mit der Kommissionierliste

Die Kameraaufnahme wird gestartet, sobald der Proband mit dem Kommissioniervorgang beginnt und endet mit der Ablage des letzten Sammelbehälters auf dem Tisch.

3.4.2 Pick-by-Voice

Pick-by-Voice-Systeme drängen in den letzten Jahren verstärkt auf den Markt, um eine Prozessoptimierung in der Kommissionierung zu erzielen. Dies liegt zum Teil daran, dass alte, meist auf Papierlisten basierende Systeme ersetzt werden sollten. Ein Vorteil von Pick-by-Voice ist, dass der Kommissionierer jederzeit beide Hände für seine Tätigkeit frei hat. Mit den Sprachausgaben und den dazugehörigen Eingaben wird er straff durch den Prozess geführt. Durch die mehrfache Eingabe von Prüfziffern (Nummern am Lagerplatz, letzte Ziffern der Artikelnummer etc.) wird sichergestellt, dass wenige Fehler auftreten. Dies führt zu Fehlerraten kleiner 0,1% ([HOM-04], [LOL-03]). Durch die Echtzeit-Anbindung an das WMS ist dort stets der aktuelle Stand hinterlegt. Die Mitarbeiter können mit dieser Führung durch den Prozess schnell angeleitet werden. Allerdings ist das ganztägige Arbeiten mit dieser Technologie insbesondere aufgrund der monotonen Stimmausgabe für viele Mitarbeiter unangenehm und demotivierend. Das anfängliche Problem der schlechten Spracherkennung in industriellen Umgebungen ist zwar durch verschiedene Technologien (verbesserte Mikrofone, Rauschunterdrückung, Software zur Filterung von Störgeräuschen etc.) verbessert, aber noch lange nicht gelöst worden. Durch die Sprachausgabe können auch nur kurze Befehle sequentiell ausgegeben werden. So können keine weiterführenden Informationen zum Artikel ausgegeben werden. Der Mitarbeiter ist mit diesem System abgeschottet und die Kommunikation der Mitarbeiter untereinander behindert. Dies wird problematisch, wenn bei Arbeitsschritten, z.B. der Kommissionierung großer, sperriger Teile, miteinander kommuniziert werden muss. Pick-by-Voice-Systeme machen auch nicht in jedem Kommissioniersystem Sinn. Bei einem hohen

Wegzeitanteil, d.h. wenn das Verhältnis Wegzeit zu Totzeit sehr hoch ist, bringt Pick-by-Voice kaum Vorteile, da das Potenzial zur Reduzierung der Totzeiten nicht greift.



Abbildung 3-16: Kommissioniererin mit Pick-by-Voice

Am Lehrstuhl fml wird ein von der CIM GmbH mit der Software *speaKING*[®] von Mediainterface erstelltes System verwendet. Dies wurde in die Umsetzung des ersten Funktionsmusters des AR-Kommissioniersystems integriert, kann aber auch ohne die Datenbrille als reines Pick-by-Voice-System genutzt werden (siehe Abbildung 3-16). Es handelt sich dabei um ein sprecherunabhängiges Text-to-Speech-System. Dies ist für die Durchführung von Versuchsreihen sehr wichtig, weil ein

aufwendiges Sprachtraining für jeden Probanden nicht notwendig ist. Der Versuch mit dem Pick-by-Voice-System lief analog zum AR-Kommissioniersystem ab (siehe Kapitel 3.3 bzw. Abbildung 3-11).

Die Abmeldung wurde meist nicht mehr aufgenommen, so dass die Versuche mit dem Abstellen des letzten Sammelbehälters auf dem Tisch endeten. Da es keine Hilfefunktion gibt und auch Befehle nicht wiederholt werden können, mussten sich die Probanden mit Fragen an die Versuchsleitung wenden. Die Zeit lief dabei weiter und wurde für die Ergebnisdarstellung entsprechend berücksichtigt.

4 Ergebnisdarstellung

Im Folgenden seien die Ergebnisse der Versuchsreihen dargestellt. Dabei soll zunächst allgemein auf den Vergleich der Kommissioniertechniken untereinander auf Basis der sich wiederholenden Fragestellungen in den Fragebögen eingegangen werden. Anschließend erfolgt eine Auswertung zu den Spezifika der jeweiligen Technologien. Im Fokus stehen hier zum einen der Zeitvergleich VR-Simulation zu Pickliste gegenüber sowie zum anderen der Abgleich der AR-Kommissionierung zu den in der Industrie gängigen Kommissioniertechniken.

Die Auswertung erfolgte mit dem Statistikanalysetool SPSS. Basis der Auswertung bildeten die Kommissionierzeitanteile, die Fehlerquoten und die beantworteten Fragebögen der 17 Versuchspersonen. Nachdem sämtliche Probanden alle vier Versuche absolviert haben, lag die Anzahl der Versuche ,df' bei 68. Nach Bortz [Bor93] wurden die Korrelationskoeffizienten für das 5%-und 1%-Signifikanzniveau bestimmt und für die Auswertung herangezogen.

4.1 Allgemeiner Vergleich

Prinzipiell war die Motivation der Versuchspersonen bei der Abarbeitung der Kommissionieraufträge in der virtuellen Welt und mit AR-Unterstützung am Höchsten (siehe Abbildung 4-1). Dies ist darauf zurück zu führen, dass die Aufgeschlossenheit der Studenten gegenüber neuen Technologien und der Spaß im Umgang mit ihnen höher war als bei Pick-by-Voice und der belegbasierten Kommissionierung. Dabei ist anzumerken, dass die eingesetzte Spracherkennung bei Pick-by-Voice und AR-Unterstützung Probleme verursachte, die typischerweise bei in der Praxis eingesetzten Systemen nicht mehr so häufig auftreten (vgl. Kapitel 4.3.3).

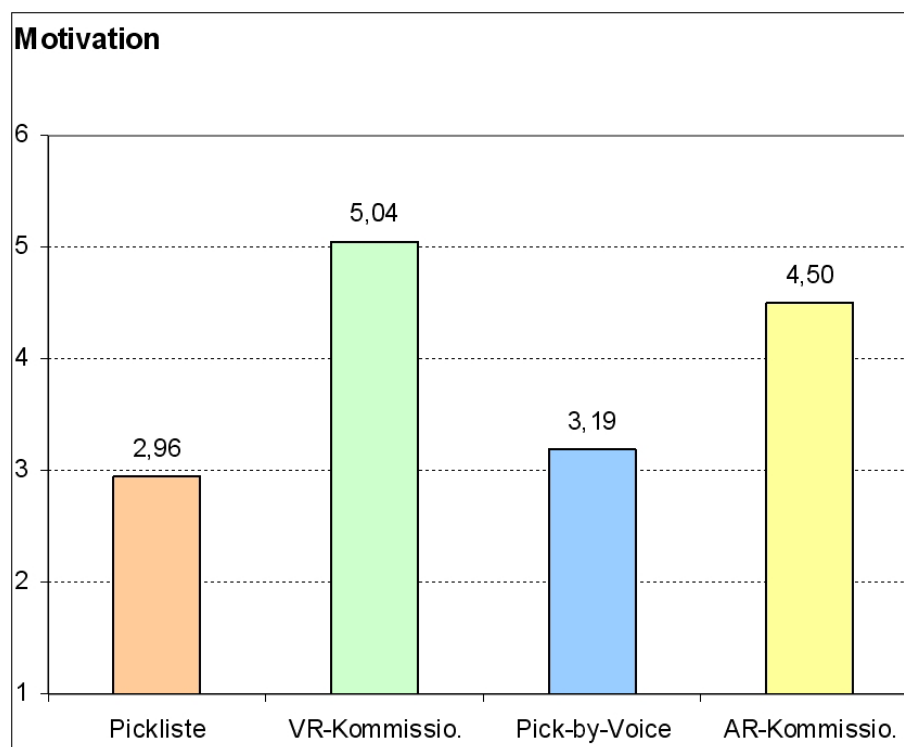


Abbildung 4-1: Motivation der Versuchspersonen bezogen auf die verschiedenen Kommissioniertechniken

Darüber hinaus wurden die Probanden gefragt, inwiefern sie das Gefühl hatten, durch die Kommissioniertechnik im Lernprozess zur Kommissionierung unterstützt worden zu sein. Die Frage wurde unabhängig davon gestellt, ob das System in der Form

anschließend im Betrieb tatsächlich eingesetzt würde. Somit bestünde zum Beispiel auch die Möglichkeit, das jeweilige System mit zusätzlichen Anweisungen für Anlaufsituationen auszustatten, das detaillierter auf eine Prozessbeschreibung eingeht. Es zeigt sich, dass hier die reale Umgebung mit Pickliste als am Besten erweist, um den Aufbau des Lagers und dessen Prozessabläufe zu verstehen (siehe Abbildung 4-2). Dennoch hält sich die Einschätzung der Probanden nahezu die Waage.

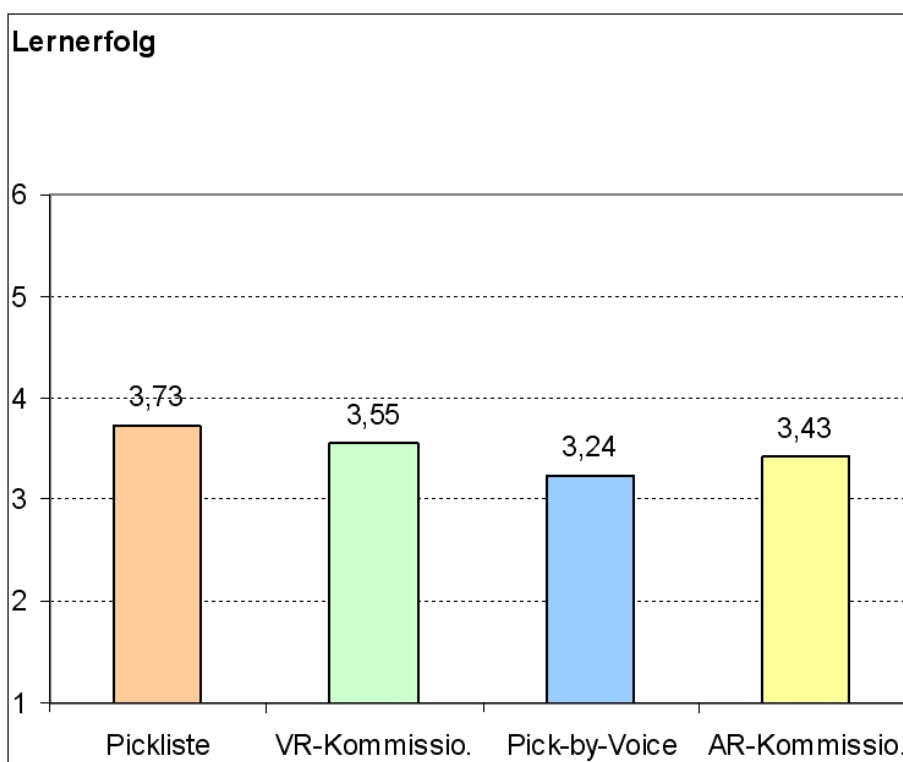


Abbildung 4-2: Einschätzung der Versuchspersonen bzgl. des Lernerfolgs der verschiedenen Kommissioniertechniken

Das wohl interessanteste Resultat der ersten Versuchsreihe zeigte sich bezüglich des Empfindens der kognitiven Belastung durch den Einsatz der verschiedenen Kommissioniertechniken. Aufgrund der bereits angesprochenen Schwierigkeiten mit der Spracherkennung fällt das Urteil für Pick-by-Voice sehr negativ aus (siehe Abbildung 4-3). Umso überraschender ist jedoch, dass die Belastung in der virtuellen Welt unwesentlich höher ist, als bei den anderen Kommissioniertechniken. Hier konnte sich die

Annahme, dass sich die koordinativen Anforderungen an die Probanden bezüglich der Navigation und Interaktion mit der virtuellen Welt als hohe Belastung äußern würden, nicht bestätigen.

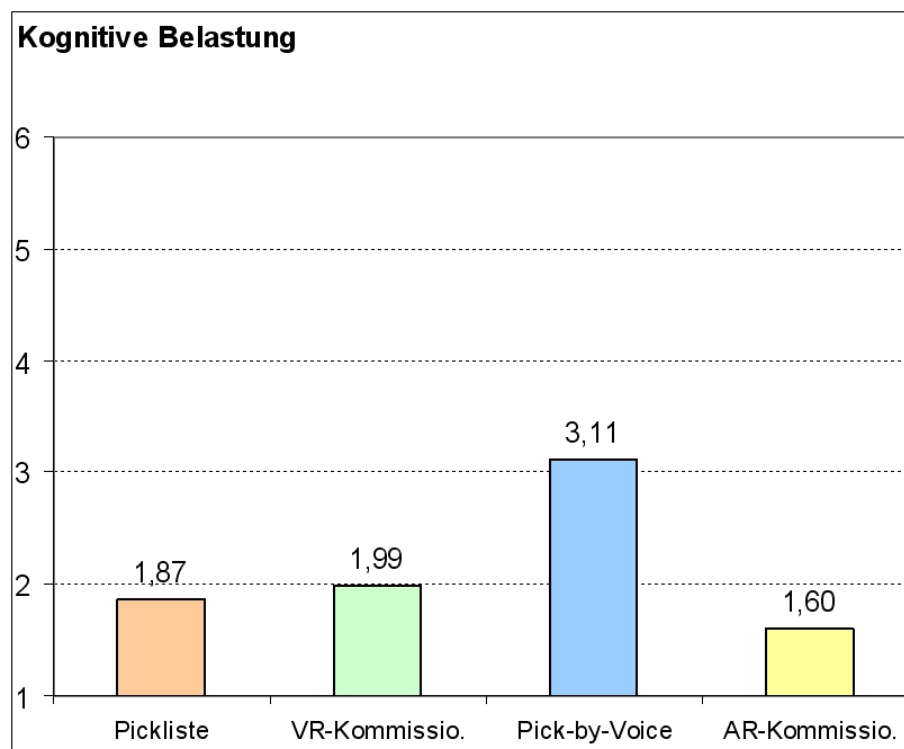


Abbildung 4-3: Kognitive Belastung auf die Versuchspersonen während der Versuchsdurchführung

4.2 Virtual Reality Simulation im Vergleich

Die Planung ist ein wesentliches Element der Logistik. In dieser Phase werden wichtige Faktoren festgelegt, die die Leistung des umzusetzenden Logistiksystems bestimmen. Aktuelle Planungsverfahren berücksichtigen den Menschen jedoch nur ungenügend, was häufig Probleme im Betrieb logistischer Systeme zur Folge hat. Aus diesem Grund wurde ein neuer VR gestützter Simulationsansatz in der Logistik analysiert, der die logistische Kennzahlenermittlung unter Einbeziehung des Faktors Mensch ermöglicht.

4.2.1 Vergleich der Kommissionierzeiten der Virtuellen Realität mit den Zeiten der Realität

Mit 17 Probanden wurden Kommissionierzeiten in der virtuellen Welt ermittelt und den in der Realität ermittelten Zeiten gegenübergestellt. Dabei musste jeder Proband sowohl in der VR-Umgebung als auch in der realen Umgebung nach den in Kapitel 3 festgelegten Versuchsrandbedingungen kommissionieren.

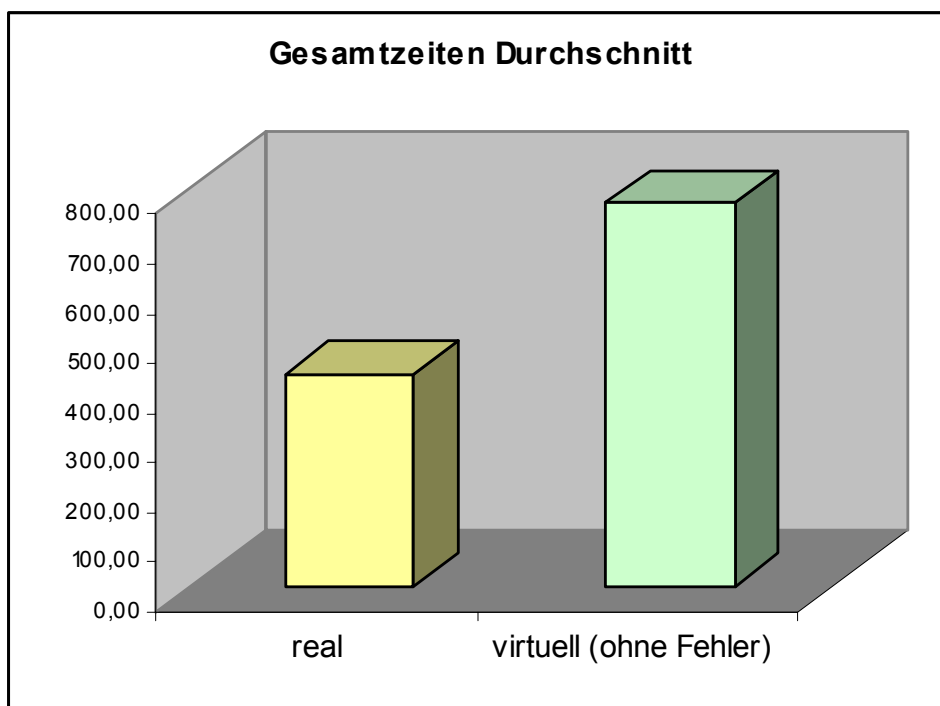


Abbildung 4-4: Gegenüberstellung durchschnittliche Gesamtzeiten von realer u. virtueller Kommissionierung in [s]

In Abbildung 4-4 ist die durchschnittliche Gesamtkommissionierzeit aller 17 Personen dargestellt. Dies ist jene Zeit, die eine Versuchsperson im Mittel zur Durchführung aller fünf Aufträge gebraucht hat. Der linke Balken bezieht sich auf die in der Realität gewonnenen Ergebnisse. Demgegenüber steht die durchschnittliche Dauer eines Kommissioniervorganges in der Virtuellen Realität. Es hat sich gezeigt, dass eine Abweichung von ca. 40% im Vergleich zur realen Kommissionierung vorliegt. Die Gründe für diese Abweichung sind in den einzelnen

Zeitkomponenten (Weg-, Greif und Totzeit) zu suchen. Diese wurden aus dem Videomaterial der Versuche mittels einer Stoppuhr und einer Zeitnahmerichtlinie bestimmt. Zudem wurde auch der vollautomatische Zeitnahmealgorithmus im Rahmen der Einzelzeitkomponentenuntersuchung durch Vergleich der gestoppten mit den automatisch ermittelten Zeiten auf Fehlerquellen untersucht.

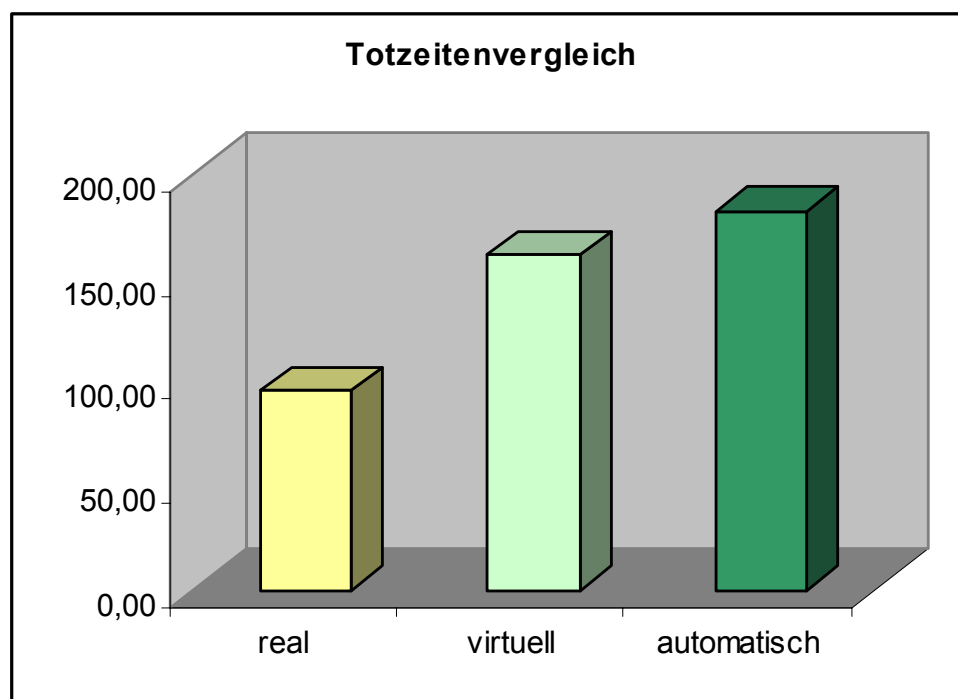


Abbildung 4-5: Gegenüberstellung durchschnittliche Totzeiten von realer u. virtueller Kommissionierung in [s]

Das Diagramm in Abbildung 4-5 zeigt die durchschnittlichen Totzeiten, die in der Analyse ermittelt wurden. Hier ist eine Abweichung von ca. 35% zu ermitteln, was darauf zurückzuführen ist, dass die Probanden teilweise etwas mehr Zeit benötigt haben, um sich in der VR zu orientieren. Zudem war dies für viele das erste Mal, dass sie mit dieser Technik in Berührung gekommen sind. Wie Abbildung 4-6 zeigt, trat gegen Ende eines jeweiligen Versuchsdurchganges in der VR-Umgebung ein deutlich erkennbarer Lerneffekt im Umgang mit dem virtuellen Modell ein. Dies weist darauf hin, dass nach längerer Benutzung

der VR-Technik die Totzeit (Stillstandzeit) in der VR sinkt und die Ergebnisse sich der Realität sehr stark auf ein realistisches Niveau annähern.

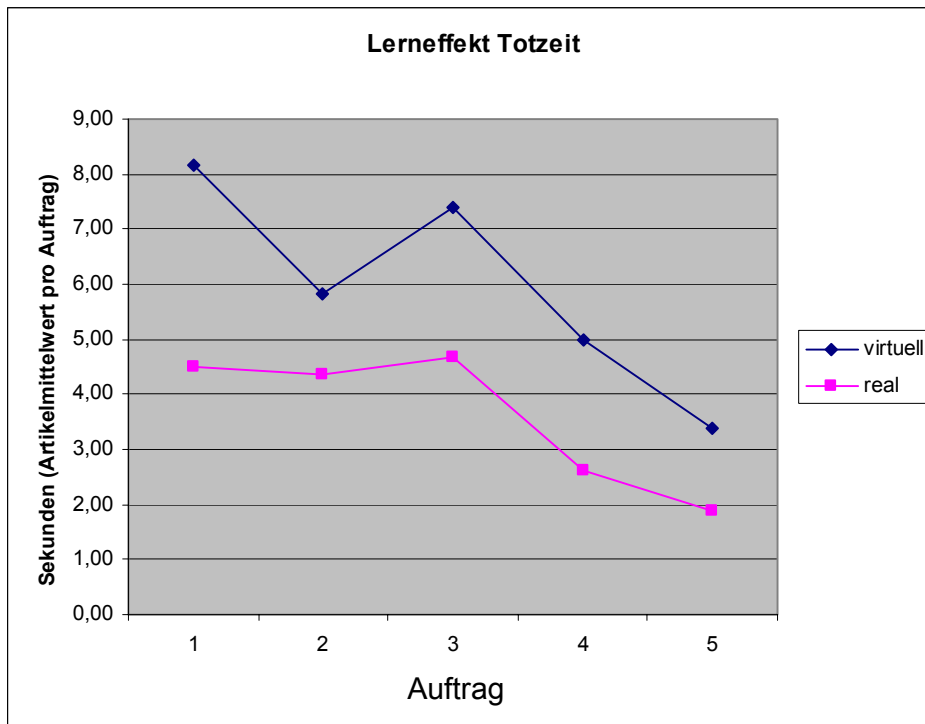


Abbildung 4-6: Lerneffekt Totzeit über die Aufträge

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass Personen, die Erfahrung im Umgang mit Computerspielen haben, wesentlich schneller und besser mit der virtuellen Umgebung zurechtkamen.

Die Abweichungen der automatischen Zeitnahme und der manuell ermittelten Zeitergebnisse (siehe Abbildung 4-5) sind dadurch zu erklären, dass die manuellen Zeitnahmeprozesse im Rahmen der Videountersuchung nicht mit der Exaktheit eines automatischen, computerbasierten Algorithmus durchgeführt werden können. Über die Summe der Zeitmessungsvorgänge scheint eine durchschnittliche Abweichung von 20 Sekunden als realistisch.

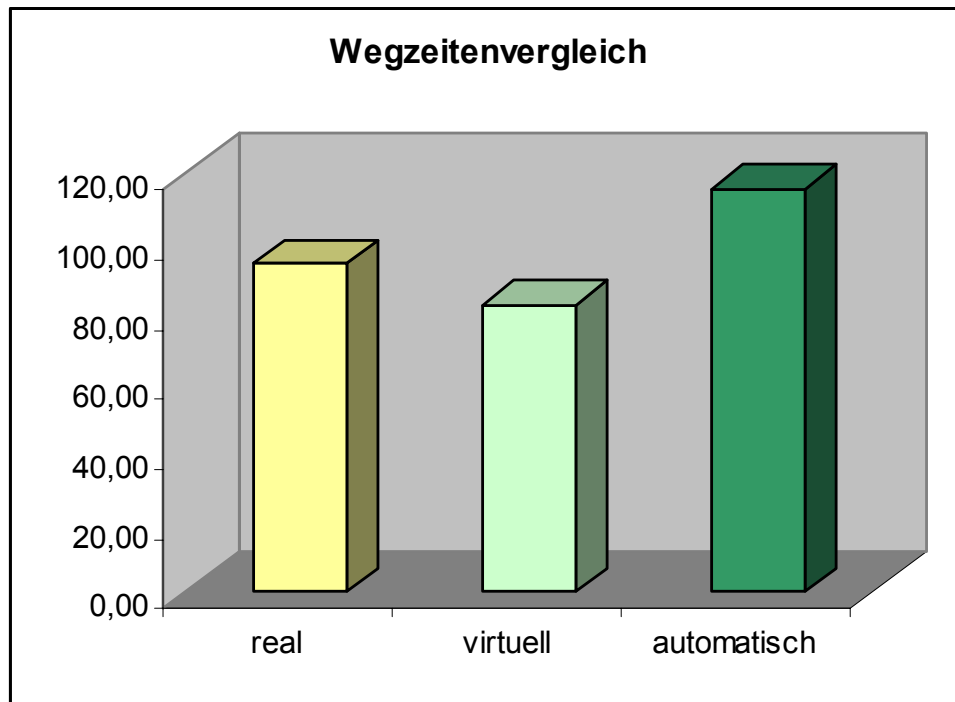


Abbildung 4-7: Gegenüberstellung durchschnittliche Wegzeiten von realer u. virtueller Kommissionierung in [s]

Werden die Wegzeiten (siehe Abbildung 4-7) miteinander verglichen, so ist zu erkennen, dass die Ergebnisse hier sehr nahe beieinander liegen. Es handelt sich hierbei lediglich um eine Abweichung von ca. 10%. Dies lässt darauf schließen, dass das Interaktionsgerät zur Fortbewegung in der VR-Umgebung sehr intuitiv zu bedienen ist und eine realistische Interaktion zulässt.

Die Diskrepanz von automatischer Zeiterfassung im Vergleich zur im Video erfassten Zeit lässt sich mit Problemen während des Versuches begründen. Durch vereinzelte Ausfälle des Trackingsystems (bis zu 30 Sekunden) während des „Gehens“ wurden manche Probanden „gezwungen“ auf dem Band weiterzulaufen, wobei der Zeitnahmealgorithmus weiterhin Wegzeiten aufgenommen hat. Diese Trackingfehler konnten bei der manuellen Zeitnahme mittels des Videos eliminiert und die tatsächliche Wegzeit ermittelt werden. Dies hat gezeigt, dass insbesondere die Zuverlässigkeit des verwendeten Trackingsystems von großer Bedeutung ist.

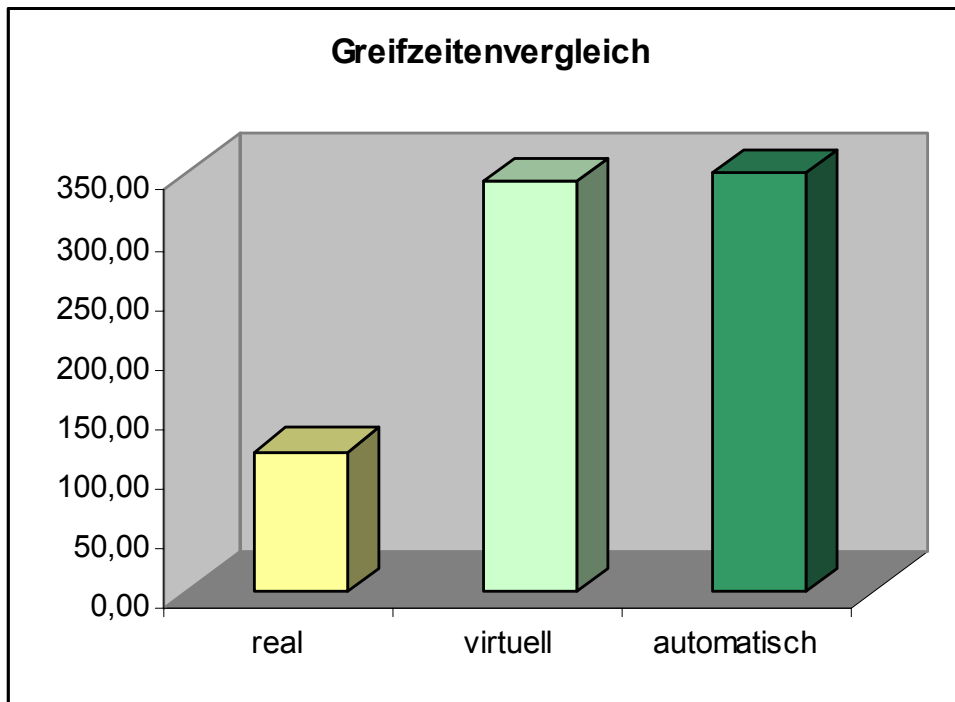


Abbildung 4-8: Gegenüberstellung durchschnittliche Greifzeiten von realer u. virtueller Kommissionierung in [s]

Die größte Differenz zwischen dem realen und dem virtuellen Kommissioniervorgang konnte in den Greifzeiten ermittelt werden (siehe Abbildung 4-8). Dies ist damit zu begründen, dass in der Virtuellen Realität nur eine Hand zum Kommissionieren verwendet werden konnte, während in der realen Umgebung meist zwei Hände verwendet wurden. Zudem wurden die Artikel in der Realität in die Kommissionierkiste „geworfen“, was in der virtuellen Kommissionierumgebung nicht möglich war. Die Objekte mussten vollständig auf dem Wagen abgelegt werden, was zusätzlich Zeit kostete. Über die Summe der Greifvorgänge ist die relativ hohe Abweichung in den Greifzeiten so plausibel zu erklären. Hier können aber entsprechende Simulatoränderungen Abhilfe schaffen, z.B. durch eine Interaktionsmetapher, die zukünftig das „Werfen“ von Objekten erlaubt.

Bezüglich der automatisch ermittelten Zeitwerte ergab der Vergleich, dass die manuell ermittelten Werte bis auf ca. 6 Sekunden genau mit diesen übereinstimmen.

4.2.2 Auswertung der Fragebögen

Neben den im vorangegangenen Abschnitt untersuchten quantitativen Ergebnissen in Form von Zeitstudien, konnten auch qualitative Aussagen durch einen Fragebogen gewonnen werden. Jeder Proband musste einen von Psychologen entworfenen Fragebogen am Ende des Versuches ausfüllen. Nachfolgend werden zwei wesentliche Ergebnisse der Fragebogenuntersuchung dargestellt. Die zugehörigen Diagramme (siehe Abbildung 4-1 und Abbildung 4-3) können im Eingang dieses Kapitels unter dem Punkt 4.1 nachgeschlagen werden.

Das erste Diagramm (siehe Abbildung 4-1) widmet sich der Frage nach der Motivation bzw. Akzeptanz, eine derartige Simulationstechnik in der Logistikplanung einzusetzen. Dabei zeigt sich, dass im Vergleich zur realen Tätigkeit die Testpersonen in der virtuellen Realität mehr Interesse einbrachten und diese Form der Simulation/Schulung empfehlen würden. Diese Aussage spiegelt sich auch in der Untersuchung der kognitiven Belastung wider. Denn nur wenn eine Technik den Menschen nicht überfordert, kann eine Technologie effizient und mit Unterstützung des Einzelnen eingesetzt werden.

Die kognitive Belastung (siehe Abbildung 4-3) der Versuchspersonen war im virtuellen wie im realen in etwa gleich bezüglich physischer und geistiger Anstrengung. Dies zeigt, dass die angebundenen Interaktionsgeräte ein sehr intuitives Arbeiten ermöglichen und damit eine entsprechende Grundlage für eine realitätsnahe Simulation bilden. Dies stellt eine wesentliche Grundvoraussetzung dar, um die VR-Technologie sinnvoll als Simulationstechnik in der Logistik einsetzen zu können. Erst dadurch wird sichergestellt, dass logistische Prozesse unter besonderer Berücksichtigung des Faktors Mensch detailgetreu in einer VR-Simulation abgebildet und nachvollzogen werden können. Ebenso bestätigte die Tatsache, dass in der virtuellen Welt kein einziger Proband eine Fehlkommissionierung zu verzeichnen hat die Annahme, dass keine kognitive Überbelastung der Versuchspersonen vorlag.

Weiter ergab die Probandenbefragung, dass derartige Systeme in informatorischer Hinsicht und insbesondere mit Blick auf die Verbesserung der Kommunikation in interdisziplinären Planungsteams besondere herausragende Eigenschaften besitzen. So werden Probleme durch die eingängige VR-Darstellung zeitlich schneller erfasst, wodurch auch die interdisziplinäre Zusammenarbeit verbessert und beschleunigt wird. Besonders fachfremde Personen können sich besser in die vorliegende Problemstellung einarbeiten und diese einfacher in einen übergeordneten Kontext einordnen, wodurch eine gemeinschaftliche, gesamtheitliche Betrachtung der zu lösenden Aufgabe möglich wird.

Die Erkenntnisse bezüglich des Kommissionierzeitenvergleichs von realer Kommissionierung zu virtueller Kommissionierung haben ergeben, dass die Ergebnisse beider Systeme teilweise sehr nahe beieinander liegen und eine Ermittlung aussagekräftiger Simulationsergebnisse möglich ist. Dies gilt es, in weiteren Studien zu vertiefen und durch eine konsequente Weiterentwicklung der Simulationsumgebung so die Ergebnisqualität deutlich zu verbessern. Dazu muss der Demonstrator mit den gewonnenen Erkenntnissen (insb. bezüglich der Greifzeit) sukzessive verbessert werden.

4.3 *Augmented Reality Kommissionierung im Vergleich*

4.3.1 Kommissionierfehler

Einer der wichtigsten Faktoren bei der Kommissionierung ist die Vermeidung von Fehlern. Die Kommissionierung hat direkte Auswirkung auf das Kunden-Lieferanten-Verhältnis und kann das Vertrauen in dieser Beziehung entscheidend beeinflussen. Tabelle 4-1 zeigt typische Fehlerraten für herkömmlichen Kommissioniertechniken. Im Durchschnitt liegt die Fehlerrate bei ca. 0,4%. Erstrebenswert ist die Null-Fehlerkommissionierung, die aber grundsätzlich nicht erreichbar ist [GUD-04].

Informations- bereitstellung	Anzahl Systeme	Durchschnittliche Fehlerwahrscheinlichkeit	Standard- fehler
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%
mDE mit Scanner	13	0,36%	0,10%
mDE ohne Scanner	6	0,69%	0,19%
mdE und Etiketten	5	0,94%	0,60%

Tabelle 4-1: Typische Fehlerraten in herkömmlichen Kommissioniersystemen [LOL-03]

Es gibt dabei verschiedene Arten von Fehlern, die nach ([LOL-01], [LOL-03]) folgendermaßen eingeteilt werden (siehe Abbildung 4-9) und mit unterschiedlicher Häufigkeit auftreten:

- Typfehler (42%): falscher Artikel, hinzufügen eines Artikels
- Mengenfehler (44%): die Entnahmemenge einer Position ist zu groß oder zu klein
- Auslassungsfehler (10%): ein Artikel wurde vergessen
- Zustandsfehler (4%): Beschädigung, falsche Tätigkeit wurde am Artikel verrichtet (z.B. falsche Verpackung)

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 Prüfziffern oder Wiegen, zu vermeiden. In den Versuchen soll vor allem die Informationsbereitstellung untersucht werden, so dass keine Prüfmechanismen eingesetzt wurden.

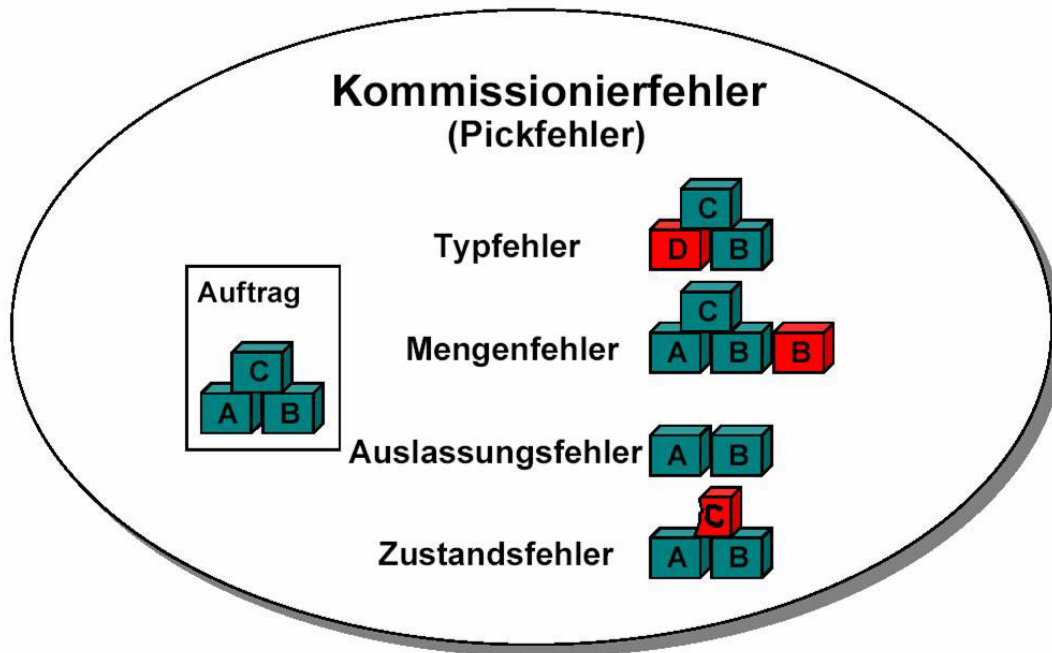


Abbildung 4-9: Typische Kommissionierfehler [LOL-01]

In der Versuchsreihe mit der AR-Kommissionierung, Pick-by-Voice und der Kommissionierliste wurden Mengenfehler und Artikelfehler (Typfehler) mitdokumentiert. Zustandsfehler waren von vorn herein nicht möglich. Auslassungsfehler wurden den Mengenfehlern zugerechnet. Die Kommissionierfehler wurden mit Formel 4-1 berechnet:

$$FW = n_F / (VP * n_{Pos}) \quad \text{Formel 4-1}$$

Dabei gilt:

- FW Fehlerwahrscheinlichkeit in Prozent
- n_F Anzahl der Fehler pro Auftrag
- VP Anzahl der Versuchspersonen (17 Personen)
- n_{Pos} Anzahl der Positionen pro Auftrag

Dabei schnitt die Kommissionierliste mit 0,56% besser als die AR-Kommissionierung mit 2,01% ab. Die beiden visuell unterstützten Verfahren waren aber deutlich besser als Pick-by-



Voice mit einer Fehlerrate von 6,79% (siehe *Abbildung 4-10*). Aber auch die Werte der Liste und von Pick-by-Voice sind immer noch zu hoch für den Gebrauch in der Praxis, was aber daran liegt, dass sich die Probanden in der Einarbeitungsphase befanden (bei den Werten aus [LOL-03] lag die Berufsausübungszeit im Kommissionierbereich bei sieben Jahren und es waren nur 9% unerfahrene Leiharbeiter eingebunden). Dies ist auch daran zu erkennen, dass die Fehlerraten bei Auftrag 1 am höchsten waren (außer bei der AR-Kommissionierung, dort war es Auftrag 3). Die vielen Fehler bei Pick-by-Voice entstanden dadurch, dass die Ansage des Lagerplatzes falsch verstanden wurde und diese nicht wiederholt werden konnte sowie am Lagerplatz keine Prüfziffer angesagt wurde. Auch phonetisch ähnliche Wortlaute wie z.B. „zwei“ und „drei“ führten zu einer erhöhten Fehlerwahrscheinlichkeit. Die Fehlerrate bei Pick-by-Voice-Systemen (inklusive Prüfziffern) liegt normalerweise bei ca. 0,1% (siehe *Tabelle 4-1*). Bei der AR-Kommissionierung lässt sich keine eindeutige Ursache für die Fehler finden, denn es wurde trotz der visuellen Unterstützung in das falsche Lagerfach gegriffen oder Artikel wurden einfach vergessen. Somit lässt sich aber sagen, dass die Probanden auf der einen Seite von Beginn an mit dem System gut zu Recht kamen und die Fehlerrate auf einem relativ konstanten Niveau lag. Auf der andern Seite war die Fehlerrate noch etwas zu hoch und ging während den Versuchen nicht entscheidend zurück. Das gute Abschneiden der Kommissionierliste lässt sich auf die Einfachheit des Versuchsaufbaus und die intuitive Handhabung zurückführen.

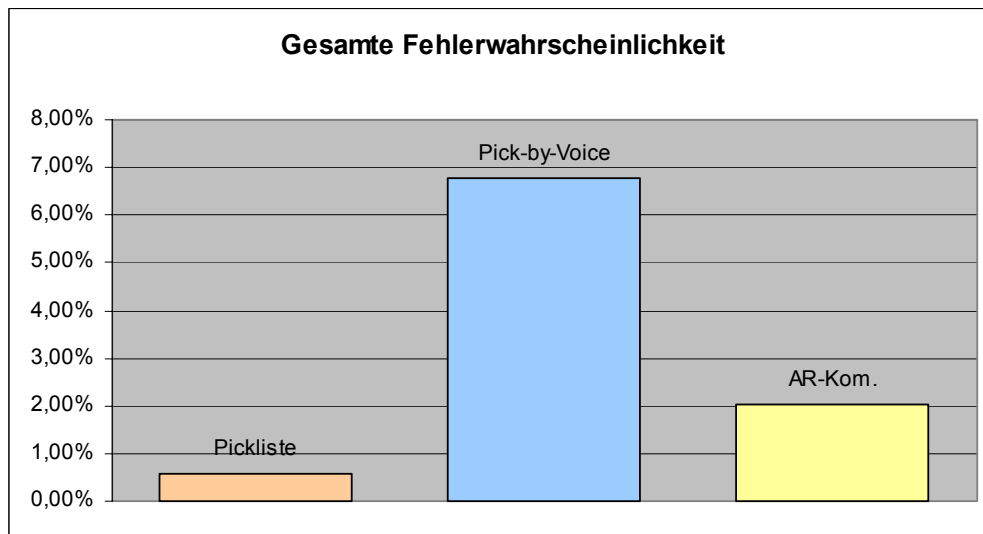


Abbildung 4-10: Fehlerrate der drei getesteten Systeme

Es lässt sich auch kein Unterschied bei der Anzahl der Fehler zwischen den kleinen (3 Positionen) und großen (7 Positionen) Aufträgen aufzeigen. Nach [VOG-97] sollte ab mehr als drei Positionen pro Auftrag ein belegloses System benutzt werden. Dies heißt, dass die Kommissionierliste bei den großen Aufträgen schlechter abschneiden sollte als bei den kleinen. Dies ist allerdings nicht der Fall. Bei den beleglosen Systemen ist ebenfalls kein Unterschied bei der Anzahl der Fehler zwischen den kleinen und großen Aufträgen sichtbar.

Es sind auch keine Unterschiede bezüglich der Probanden ersichtlich. Hinsichtlich des Alters lässt sich keine Aussage treffen, da die Altersstruktur zu homogen war, aber es lassen sich auch keine bedeutenden Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden bzw. zwischen Akademikern und Nicht-Akademikern erkennen.

4.3.2 Kommissionierleistung

Die Kommissionierleistung kann mit unterschiedlichen Bezugsgrößen berechnet werden [GUD-04] und sich auf die Anzahl der Positionen (unabhängig von der Entnahmemenge pro Position) aber auch auf die Anzahl der Picks (also der physischen Greifvorgänge) beziehen (siehe Formel 4-2). Die Anzahl der Positionen ist für einen Auftrag fest und lässt sich leicht aus den



Daten des WMS ermitteln. Die Leistung wird immer auf eine Zeiteinheit, die in diesem Fall immer eine Stunde beträgt, bezogen. Die Kommissionierzeit setzt sich aus den bereits beschriebenen Komponenten Basis-, Weg-, Greif-, Totzeiten zusammen.

$$\mu_{\text{KPOS}} = \frac{\text{Anzahl Positionen, die Kommissionierer bearbeitet}}{\text{Stunde}}$$

Formel 4-2: Kommissionierleistung [Picks/h]

Weitere Größen, die die Leistung beeinflussen, sind die Verfügbarkeit und die Auslastung der Kommissionierer, die aber beide in diesem Laborversuch nicht betrachtet werden.

Nach [GUD-04] ist bei Leistungsvergleichen zu beachten, dass die Kommissionierleistung empfindlich von Auftragsstruktur, Kommissioniersystem, Kapazität der Bereitstelleneinheiten und Versandeinheiten sowie von der Sortimentsbreite abhängen. Diese Werte sind aber für alle Versuche und für alle eingesetzten Technologien gleich, so dass dies keinen Einfluss hat.

Ein weiterer Faktor für die Kommissionierleistung sind die Probanden und deren Motivation. Nach [KWI-93] kann die Leistung eines Kommissioniersystems zu +/-20% von der Motivation der Mitarbeiter geprägt werden. Die Motivation der Probanden wurde in den Fragebögen abgefragt und war bei allen sehr hoch, so dass dieser Einflussfaktor nicht beachtet werden muss.

Als erstes wird die Gesamtzeit für die Durchführung der Versuche mit den einzelnen Technologien untersucht. Zuerst werden die besten und die schlechtesten Probanden ermittelt. Bei der Kommissionierliste pendeln die Werte zwischen 6 und 9 Minuten. Bei Pick-by-Voice und der AR-Kommissionierung ist die Spannweite viel größer und liegt zwischen ca. 7 und 15 Minuten. Über alle Probanden ergaben sich folgende Durchschnittszeiten: Liste mit 7:23 Minuten, Pick-by-Voice mit 10:01 Minuten und bei der AR-Kommissionierung mit 9:25 Minuten (siehe Tabelle 4-2).

	Pickliste	Pick-by-Voice	AR-Komm.
beste Zeit	6:01 min	7:23 min	6:40 min
schlechteste Zeit	9:03 min	14:08 min	16:10 min
Durchschnitt	7:23 min	10:01 min	9:25 min

Tabelle 4-2: Kommissionierzeiten über alle 5 Aufträge

Nach der Auswertung der Gesamtzeit wurden die einzelnen Aufträge betrachtet. Die Unterteilung der Gesamtzeit in die einzelnen Auftragszeiten erfolgte dabei anhand der Videoaufzeichnung. Die schnellste Zeit mit 56 Sekunden, aber auch die langsamste Zeit mit 3:32 Minuten bei Auftrag 1 wurde mit der AR-Kommissionierung erreicht. Interessant ist, dass der schnellste Proband bei der AR-Kommissionierung mit der Liste am langsamsten war. Beim zweiten Auftrag waren Pick-by-Voice und die AR-Kommissionierung mit 55 Sekunden am schnellsten. Die Durchschnittszeiten haben sich angenähert (13 Sekunden zwischen Liste und Pick-by-Voice). Interessant ist auch, dass nahezu alle Probanden mit allen Technologien im zweiten Versuch schneller waren. Vor allem bei Pick-by-Voice wurde eine Steigerung von fast 33% erreicht, was an der Gewöhnung an die Sprachsteuerung lag. Dies ist auch ein Grund für die Steigerung bei der AR-Kommissionierung. Bei Auftrag 3 zeigt sich das gleiche Bild wie bei Auftrag 2. Die Durchschnittszeiten nähern sich noch weiter an (innerhalb 7 Sekunden). Eine weitere signifikante Steigerung der Kommissionierzeit ist aber nicht mehr zu erkennen. Als Fazit über die ersten drei kurzen Aufträge bleibt festzuhalten, dass der erste Auftrag mit Pick-by-Voice und der AR-Kommissionierung zum Einüben gebraucht wurde und sich die Technologien von der Kommissionierzeit anschließend annäherten (siehe Tabelle 4-3). Bei Pick-by-Voice und der AR-Kommissionierung gibt es aber immer einige Ausreißer nach



oben, so dass das Gesamtergebnis verschlechtert wird. Die besten sind bereits schneller als mit der Liste.

	Pickliste	Pick-by-Voice	AR-Komm.
Auftrag 1			
beste Zeit	1:06 min	1:08 min	0:56 min
schlechteste Zeit	1:53 min	3:21 min	3:32 min
Durchschnitt	1:21 min	2:02 min	1:43 min
Auftrag 2			
beste Zeit	0:56 min	0:55 min	0:55 min
schlechteste Zeit	1:23 min	1:59 min	2:15 min
Durchschnitt	1:09 min	1:22 min	1:19 min
Differenz zu A1	15,76%	32,77%	23,14%
Auftrag 3			
beste Zeit	0:57 min	0:59 min	0:49 min
schlechteste Zeit	1:46 min	1:35 min	2:58 min
Durchschnitt	1:18 min	1:21 min	1:25 min
Differenz zu A2	-13,95%	1,52%	-6,88%
Auftrag 1-3			
Durchschnitt	1:16 min	1:35 min	1:29 min

Tabelle 4-3: Kommissionierzeiten der kleinen Aufträge

Anschließend werden die beiden großen Aufträge mit sieben Positionen betrachtet (siehe Tabelle 4-4).

	Pickliste	Pick-by-Voice	AR-Komm.
Auftrag 4			
beste Zeit	1:22 min	1:52 min	1:37 min
schlechteste Zeit	2:21 min	3:54 min	4:03 min
Durchschnitt	1:45 min	2:28 min	2:17 min
Differenz zu A1-3	-37,88%	-55,70%	-54,41%
Auftrag 5			
beste Zeit	1:11 min	1:49 min	1:35 min
schlechteste Zeit	2:02 min	2:58 min	3:16 min
Durchschnitt	1:29 min	2:15 min	2: 12min
Differenz zu A4	15,41%	8,71%	4,22%
Auftrag 4 und 5			
Durchschnitt	1:37 min	2:22 min	2:15 min

Tabelle 4-4: Kommissionierzeiten der großen Aufträge

Obwohl mehr als doppelt so viele Positionen zu bearbeiten waren, steigt die Gesamtzeit bei der Liste nur um 37% sowie bei Pick-by-Voice und der AR-Kommissionierung nur um 55%. Der geringere Anstieg bei der Liste ist damit zu begründen, dass bei steigendem Anteil der Positionen pro Auftrag der Basiszeitanteil sinkt. Dass der Basiszeitanteil bei einem beleggebunden Verfahren generell höher ist, ist eine bekannte Tatsache und wird später in dieser Auswertung noch aufgezeigt. Deswegen wurde

diesmal die schnellste Zeit mit der Liste erreicht und auch die Durchschnittswerte ändern sich wieder zugunsten der Liste. Bei Auftrag 5 ist das Bild ähnlich. Die Liste bleibt durchschnittlich und auch beim absoluten Wert am schnellsten. Die Gesamtzeit konnte bei allen Techniken etwas weiter verbessert werden, wobei die Verbesserung bei der Liste am größten war, so dass sich der Unterschied bei der Gesamtzeit noch weiter zu Gunsten der Liste änderte. Die AR-Kommissionierung ist bei beiden großen Aufträgen schneller als Pick-by-Voice.

Werden nun die Basiszeiten betrachtet, wird klar, warum die Liste mit einer steigenden Anzahl an Positionen und somit sinkendem Basiszeitanteil wieder besser abschneidet. Die Basiszeit, die bei der Liste das Holen der Papierliste sowie bei allen Versuchsreihen das Abstellen des Sammelbehälters auf dem Kommissionierwagen beinhaltet, war bei der Liste um einiges höher, da einige Meter zur Basis zurückzulegen waren. Die Ersparnis durch die beleglosen Systeme lag konstant um die 40%.

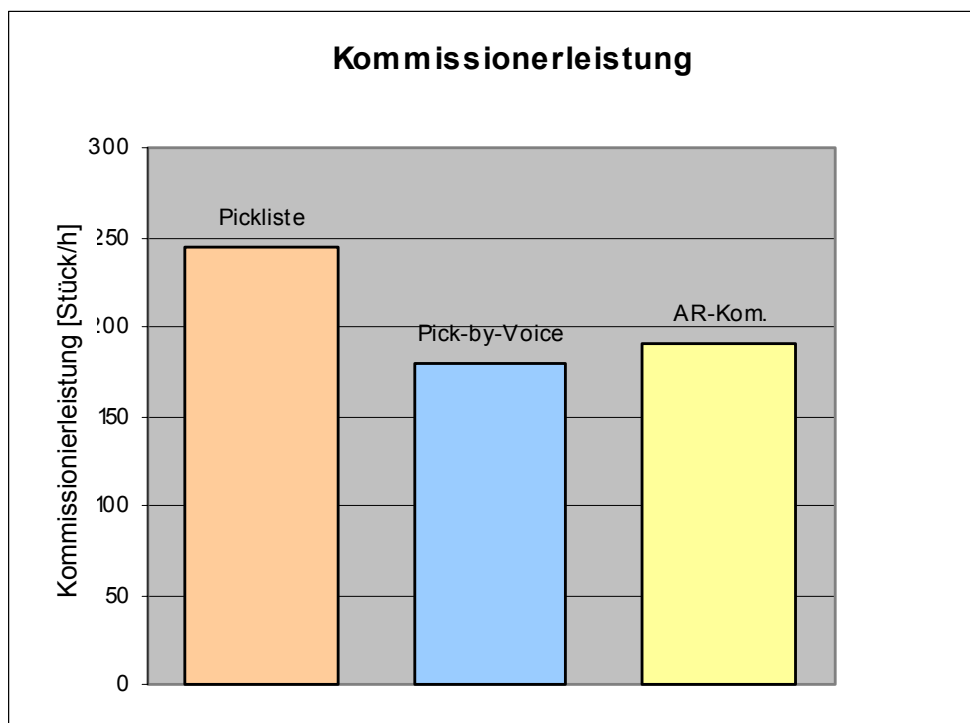


Abbildung 4-11: Vergleich der Kommissionierleistung

Mit den Kommissionierzeiten lassen sich nun die Kommissionierleistungen berechnen. Während der Versuche wurden 30 Artikel physisch gepickt (3 mal 4 Artikel und 2 mal 9 Artikel). Dabei wurde keine Vorgabe gemacht, ob die Artikel einer Position (es gab Positionen mit der Entnahmemenge 1 und 2) nacheinander oder gleichzeitig entnommen werden dürfen. Da die gleichzeitige Entnahme bei einem hands-free System bevorzugt genutzt wurde, konnte nicht erkannt werden, da die Liste meist auf dem Kommissionierwagen abgelegt wurde und somit auch zwei Hände zur Verfügung standen. Die Leistung wurde berechnet, indem die gesamte Kommissionierzeit durch die Anzahl der Picks geteilt (Picks/Sekunde) und dies auf Picks pro Stunde hochgerechnet wurde. Da die Anzahl der Picks über alle Technologien gleich war, bleibt das Verhältnis genauso wie bei den Kommissionierzeiten (siehe Abbildung 4-11). Deswegen wird hier nicht weiter in Aufträge untergliedert oder einzelne Probanden betrachtet. Klar ist, dass die Kommissionierleistung bei den großen Aufträgen entsprechend höher ist als bei den kleinen, da sich der Effekt mit der Basiszeit widerspiegelt.

4.3.3 Auswertung der Fragebögen

Mit den Fragebögen wird die subjektive Meinung der Probanden erfasst. Die Kommissionierleistung und -fehler sind wichtige Daten für die Einsatztauglichkeit einer Kommissioniertechnologie. Eine neue Technologie lässt sich nicht erfolgreich einsetzen, wenn die Bediener damit unzufrieden sind. Deshalb ist ein wichtiger Punkt bei der Entwicklung eines Kommissioniersystems, bei dem eine Datenbrille eingesetzt wird, die Akzeptanz bei den Benutzern. Bei der Benutzerfreundlichkeit und der Wirkung des Systems auf den Benutzer konnte die AR-Kommissionierung das Pick-by-Voice-System jeweils distanzieren (siehe Abbildung 4-12 und Abbildung 4-13). Dies lag v.a. an der optischen Unterstützung, die viele Probanden als sehr nützlich empfanden. Die Daten waren nicht nur hilfreich (\bar{x} 5,6), sondern behinderten auch die Sicht nicht (\bar{x} 5,1).

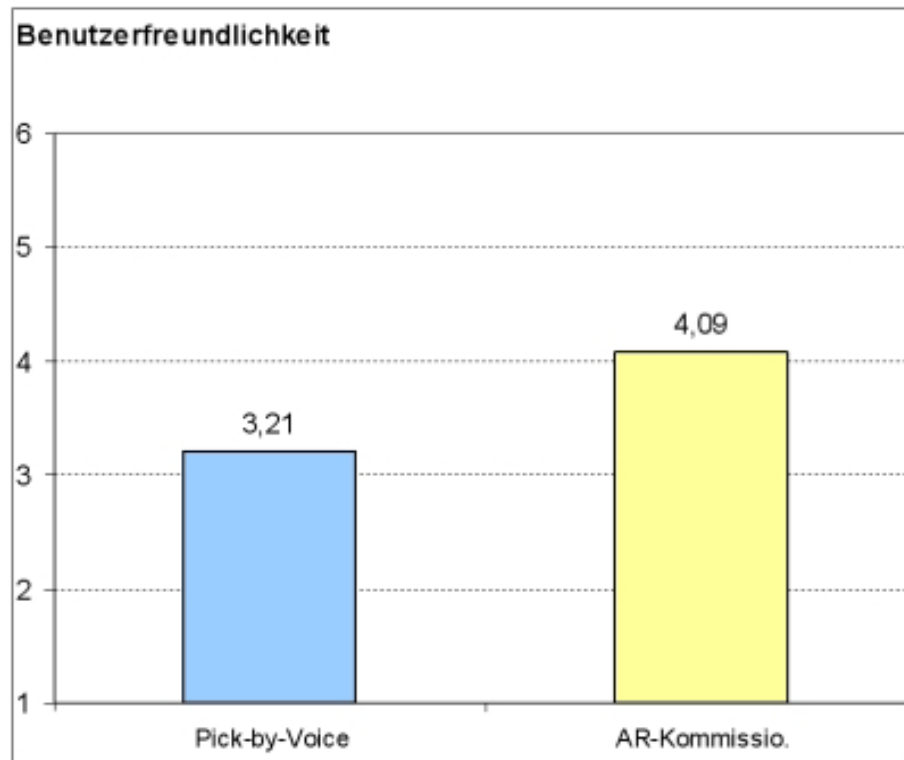


Abbildung 4-12: Benutzerfreundlichkeit

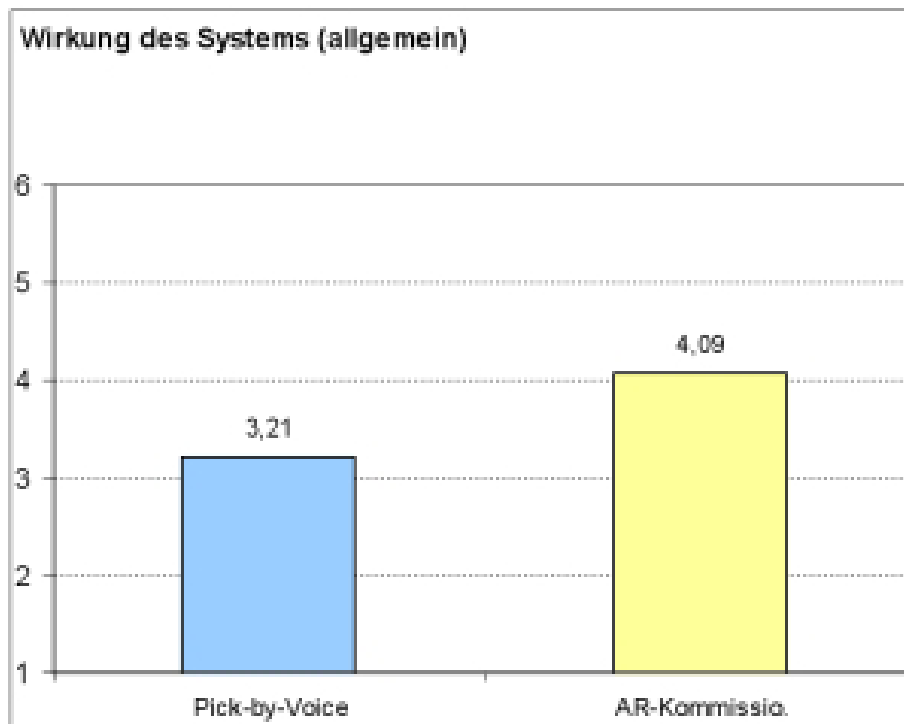


Abbildung 4-13: Wirkung des Systems allgemein

Bei der Motivation konnte die AR-Kommissionierung die beiden anderen realen Technologien distanzieren. Hier schnitt aber die

VR-Lösung am besten ab, was daran liegen dürfte, dass dies eine neue, spannende Herausforderung für die Probanden darstellt (siehe Abbildung 4-1).

Sowohl die AR- als auch VR-Lösung werden als gute Lösungen für die Einarbeitung neuer Mitarbeiter betrachtet. VR soll dies leisten, bevor es das reale System überhaupt gibt. AR soll durch seine graphische Unterstützung sehr gut geeignet sein, neue Mitarbeiter im Lager anzulernen. Die Probanden räumen aber sowohl beim Lernerfolg (siehe Abbildung 4-2) als auch beim Lerntransfer der herkömmlichen Liste die besten Chancen ein, wenn die Unterschiede auch nur sehr gering sind. Das Pick-by-Voice-System schneidet aufgrund der Probleme der Spracherkennung jeweils am schlechtesten ab.

Beim Pick-by-Voice-System mussten oft Befehle wiederholt werden bzw. sie wurden nicht gut verstanden, so dass dies im Vergleich zu den anderen Technologien zu einer hohen kognitiven Belastung der Probanden führte. Dieses ständige Wiederholen der Befehle nervte die Probanden und führte auch zu Stress. Die AR-Kommissionierung wurde dabei als am wenigsten belastend betrachtet (siehe Abbildung 4-3).

Anschließend wurde untersucht, wie sich die einzelnen Merkmale gegenseitig beeinflussen. Die so genannten Korrelationen zeigen stochastische Zusammenhänge zwischen zwei Merkmalen auf. Dabei kann jeweils eines das andere beeinflussen, ein drittes Merkmal kann beide beeinflussen oder beide beeinflussen sich gegenseitig. Die dazugehörigen Korrelationskoeffizienten geben aber keine Aussage darüber, welcher Fall zutrifft. Die Korrelationskoeffizienten geben den linearen Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen wieder und liegen zwischen -1 (linear gegenläufiger Zusammenhang) und 1 (linear gleichsinniger Zusammenhang). Ist der Wert 0 besteht kein stochastischer Zusammenhang zwischen den Merkmalen. Mit einem Signifikanztest können kritische Zusammenhänge ermittelt werden.



Bei der Auswertung der Fragebögen wurde neben den jeweiligen Punkten für die einzelnen Techniken noch der Punkt der Kommissioniererfahrung aus dem persönlichen Fragebogen mit aufgenommen. Tabelle 4-5 zeigt die Korrelationen untereinander. Dabei traten nur positive Korrelationen auf, d.h. die Merkmale hängen gleichsinnig voneinander ab; je besser das eine Merkmal bewertet wurde, desto besser war auch das andere. Deshalb lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Je benutzerfreundlicher das System gestaltet wird, desto höher ist der Lerntransfer.
- Je höher der Lernerfolg, desto besser ist der Lerntransfer.
- Je benutzerfreundlicher das System gestaltet wird, desto höher ist der Lernerfolg.
- Je mehr der Proband motiviert ist, desto höher ist der Lerntransfer.
- Je benutzerfreundlicher das System gestaltet wird, desto höher ist die Motivation des Probanden.

Die beiden größten Korrelationen sind auf dem 1%-Niveau signifikant, so dass der Zusammenhang mit großer Wahrscheinlichkeit besteht.

AR-Kommissionierung			Kommissioniererfahrung	Benutzerfreundlichkeit	Wirkung allg.	Wirkung AR-Kommissionierung	Motivation	Lernerfolg	Lerntransfer	kognitive Belastung
			Kommissioniererfahrung	Benutzerfreundlichkeit	Wirkung allg.	Wirkung AR-Kommissionierung	Motivation	Lernerfolg	Lerntransfer	kognitive Belastung
Spearman-Rho	Kommissioniererfahrung	Korrel.-koef.	1,000	-,238	,164	,083	-,041	,125	-,116	-,118
		Sig. (2-seitig)		,358	,530	,750	,875	,631	,658	,651
		N		17	17	17	17	17	17	17
	Benutzerfreundlichkeit	Korrel.-koef		1,000	,438	,143	,533*	,569*	,701**	-,202
		Sig. (2-seitig)			,079	,583	,028	,017	,002	,437
		N			17	17	17	17	17	17

	N			17	17	17	17	17	17	17
Wirkung allg.	Korrel.-koef				1,000	,257	,045	,605*	,423	-,047
	Sig. (2-seitig)					,319	,863	,010	,091	,857
	N			17	17	17	17	17	17	17
Wirkung AR-Kommis- sionierung	Korrel.-koef					1,000	,434	,240	,367	-,452
	Sig. (2-seitig)						,082	,354	,148	,068
	N				17	17	17	17	17	17
Motivation	Korrel.-koef						1,000	,393	,534*	-,101
	Sig. (2-seitig)							,119	,027	,699
	N					17	17	17	17	17
Lernerfolg	Korrel.-koef							1,000	,663**	-,048
	Sig. (2-seitig)								,004	,855
	N							17	17	17
Lerntransfer	Korrel.-koef								1,000	-,301
	Sig. (2-seitig)									,241
	N								17	17
kognitive Belastung	Korrel.-koef									1,000
	Sig. (2-seitig)									
	N									17

Tabelle 4-5: Korrelationen zwischen den Einflussfaktoren bei den Versuchen zu AR-Kommissionierung

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Bei Pick-by-Voice sind die Ergebnisse ähnlich. Die Benutzerfreundlichkeit ist der entscheidende Faktor für den Erfolg eines Systems. Bei einem Punkt unterscheidet sich Pick-by-Voice entscheidend von der AR-Kommissionierung. Die kognitive Belastung ist sehr groß und hat somit eine negative Auswirkung auf den Lernerfolg und die Motivation.



Bei der Kommissionierliste gibt es nur einen signifikanten Zusammenhang. Die Motivation korreliert positiv mit dem Lernerfolg. Dies war zu erwarten, denn je höher die Motivation, desto mehr ist man bei der Sache und desto mehr lernt man dabei.

5 Fazit und Ausblick

Im Folgenden werden die Optimierungspotenziale und Ergebnisse der Studie nochmals kurz dargestellt.

5.1 Optimierungspotenziale des Probandenprogramms

Die in dieser Studie dargestellte Versuchsreihe birgt durchaus Optimierungspotenziale bzgl. Aufbau und Ablauf sowie in Bezug auf die Technologien der Virtual und Augmented Reality Kommissionierung in sich. Diese beruhen zum Teil in der Vergleichbarkeit der verschiedenen Technologien. Während in der Virtual Reality der Fokus zunächst in der Erreichung einer realitätsnahen, virtuellen Welt und daraus ableitbarer gesicherter Kennzahlen für die Planung logistischer Prozesse liegt, fokussiert die AR-Kommissionierung die Optimierung operativer Prozesse hinsichtlich Kommissionierleistung und -qualität. Abgesehen davon können die Prozesse durch den Einsatz der verschiedenen Kommissioniertechniken nicht identisch sein und zu einer Verfälschung der Ergebnisse beitragen.

So beschränkt sich der derzeitige Aufbau auf ein relativ homogenes Artikelspektrum ohne Vereinzlungen oder unförmige Geometrien, um die Abbildbarkeit in der Virtual Reality zu gewährleisten. Zudem stellt die Größe des Versuchslagers ein großes Manko dar. Hierdurch fallen die Wegezeiten geringer ins Gewicht, was Vorteile einer Navigationsunterstützung durch die Augmented Reality nicht in die Analyse einbeziehbar macht. Die Möglichkeit einer laufenden Inventur – wie bei beleglosen Systemen üblich durch die Anbindung an WMS-Systeme – bringt weitere Zeitvorteile, die nicht berücksichtigt worden sind.

Prinzipiell ist auch ein anderes Ergebnis bezüglich der Akzeptanz der neuen Technologien zu erwarten, wenn die Probanden ausgebildete Kommissionierer sind. Langzeittests oder der direkte Einsatz in der Praxis würde hier gesicherte Ergebnisse zutage fördern, insbesondere wenn der Lerneffekt bei den Kommissioniertechniken nicht mehr als Faktor einbezogen werden muss.

5.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der VR-Untersuchung

Diese Arbeit verfolgte das Ziel, einen vollkommen neuen Simulationsansatz in der Logistik zu untersuchen. Erstmals wurde nachgeprüft, wie mit Hilfe der Virtual Reality Technologie der Mensch als Betrachtungsgegenstand selbst mit einem neuartigen Planungsverfahren adäquat in den Gestaltungsprozess integriert werden kann. Als konkreter Betrachtungsgegenstand dieser Studie lag dabei die manuelle Kommissionierung zu Grunde, da der Mensch ein wichtiger Bestandteil dieser Systeme ist.

Konkret wurden im Rahmen dieser Studie Leistungsparameter (Kommissionierzeiten) in einem virtuellen sowie einem realen Kommissioniersystem ermittelt und einander gegenübergestellt. Hervorzuheben ist, dass das virtuelle Modell mittels eines dreidimensionalen Abbildes identisch dem realen System nachempfunden wurde, damit vergleichbare Ergebnisse erzielt werden konnten. Ebenso erfolgten die Versuche unter gleichen Ablauf- und Rahmenbedingungen.

Folgende wesentliche Punkte können bezüglich einer menschantegrierten Simulation am Ende dieser Studie festgehalten werden:

- Die Akzeptanz für den Einsatz einer derartigen Simulationstechnik in der Logistik ist sehr hoch.
- Der Einsatz der VR-Technologie wirkt sich positiv auf die Motivation im Rahmen der Schulung bzw. Planung aus.



- Die kognitive Belastung der Benutzer ist als sehr gering anzusehen, was darauf schließen lässt, dass eine realitätsnahe Simulation unter Einbeziehung des Menschen möglich ist.
- Eine realistische Ermittlung logistischer Leistungsparameter wie beispielsweise Wegzeiten und ähnliches ist prinzipiell möglich.
- Alle Versuchspersonen erwarten sich durch den Einsatz der VR-Technik eine wesentliche Leistungssteigerung in der Logistiksystemplanung und letztlich im Betrieb logistischer Systeme.

Trotz der guten Untersuchungsergebnisse wurden auch Schwachstellen im umgesetzten Demonstrator festgestellt. So steht die grundlegende Überarbeitung des Interaktionsmechanismus für das Greifen von virtuellen Objekten an erster Stelle. Erst wenn dieser eine realistischere Interaktion zulässt werden die Simulationsergebnisse weiter verbessert. Dennoch konnten auch schon im Rahmen dieser Versuchsreihe teilweise sehr realitätsnahe Logistikkennzahlen ermittelt werden. Im Rahmen des Probandenprogramms gab es bei einigen Versuchspersonen Abweichungen von ca. 25% zwischen realer und virtueller ermittelter Gesamtkommissionierzeit. Durch eine zusätzliche Optimierung des gesamten Demonstrators wird es künftig möglich sein, realistische Planungserkenntnisse im Rahmen einer menshintegrierten Simulation in der Logistik durch den Einsatz der Virtuellen Realität zu erhalten. Diesbezüglich könnten beispielsweise CAVE-Systeme mit noch in der Entwicklung befindlichen zweidimensionalen Bewegungsplattformen zum Einsatz kommen.

Es wurde im Rahmen dieser Forschungsstudie der Grundstein gelegt, ein praxistaugliches innovatives Planungs- bzw. Schulungsverfahren für logistische Systeme insbesondere für die Gestaltung manueller Kommissioniersysteme zu schaffen. Die dabei erarbeiteten Ergebnisse können Anstöße für

Verfahrensverbesserungen bezüglich der Planungs- und Schulungsprozesse mit sich bringen.

Zudem erhält der Nutzer die Möglichkeit, seine kreativen Ideen in der Virtuellen Realität ohne großen Aufwand zu erproben, wodurch neue Ansätze in der Logistik entstehen können, die zu einer Verbesserung der Prozesse und somit zu mehr Flexibilität in der Logistik führen. Mit der Umsetzung des beschriebenen Szenarios wurden die Voraussetzungen geschaffen, auch andere logistische Prozesse in der virtuellen Umgebung abzubilden und so nachhaltig zu optimieren. Der Technologie Virtual Reality wird somit ein großes Zukunftspotenzial zur Planung und Evaluierung logistischer Systeme eingeräumt.

5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der AR-Untersuchung

Die Ergebnisse des Vergleichs des AR-Kommissioniersystems mit einem Pick-by-Voice-System und einer Pickliste zeigen Potenziale aber auch Optimierungsmöglichkeiten des eingesetzten Systems auf. Die Probanden bescheinigen dem AR-System im Gegensatz zum reinen Pick-by-Voice-System eine sehr niedrige kognitive Belastung. Die graphische Unterstützung bei der AR-Kommissionierung wirkt sich gegenüber Pick-by-Voice sehr positiv aus (mehr Motivation, benutzerfreundlicher, keine Einschränkung bei der Sicht, besserer Eindruck). Die Kommissionierfehlerrate beim AR-System aufgrund der visuellen Unterstützung deutlich geringer als bei Pick-by-Voice. Die Fehlerrate war von Anfang an niedrig und bewegte sich konstant auf diesem Niveau. Bei den Kommissionierfehlern spielen die persönlichen Eigenschaften des Probanden (Geschlecht, beruflicher Hintergrund, VR/AR- oder Kommissioniererfahrung) keine Rolle. Bei den Kommissionierzeiten und somit der Leistung spiegelt sich das Ergebnis wieder. Der erste Auftrag diente bei den meisten Probanden als Training, so dass eine große Verbesserung bei Pick-by-Voice und der AR-Kommissionierung vom ersten zum zweiten Auftrag zu erkennen ist. Bei den kurzen



Aufträgen nähern sich Pick-by-Voice und die AR-Kommissionierung der Liste von den Kommissionierzeiten an (Durchschnittszeit) bzw. sind sogar schneller (die besten Zeiten). Bei den großen Aufträgen sinkt bei der Liste der Basiszeitanteil und sie schneidet deutlich besser ab als die anderen beiden anderen Technologien. Es ist auch festzuhalten, dass es bei Pick-by-Voice und der AR-Kommissionierung doch große Unterschiede in der Leistung der einzelnen Probanden gibt. Die Probanden, die nicht so gut mit den Systemen zu Recht kamen, verschlechtern das Ergebnis erheblich. Bei der Liste ist der Unterschied nicht so hoch.

Aufgrund der Durchführung dieser Versuchsreihe und den daraus resultierenden Ergebnissen lassen sich Optimierungspotenziale für das AR-Kommissioniersystem ableiten. Diese liegen vor allem in Gestaltung der Benutzerschnittstelle und der Hardware. Die Sprachsteuerung wurde von der CIM GmbH prototypenhaft mit der Software *speaKING*[®] der MediaInterface GmbH, die erfolgreich in der Praxis bei Pick-by-Voice-Lösungen eingesetzt wird, umgesetzt und dies hatte großen Einfluss auf die Ergebnisse. Das reine Pick-by-Voice-System war ohne die übliche Qualitätssicherung ausgestattet, in dem der Lagerort mit einer Prüfziffer und auch die Entnahme mit einer Prüfziffer quittiert werden, womit die Fehlerrate sinkt. Da auch keine Ansagen wiederholt werden konnten, führte dies zu vielen Fehlern. Die Probanden bewerteten das System auch deswegen relativ schlecht. Vielen der Testpersonen erschien das System zu langsam, d.h. es verging zuviel Zeit zwischen den Ansagen und dies führte zu Wartezeiten. Die Sprachausgabe gab die einzelnen Positionen immer komplett wider, d.h. wenn während der Ansage bereits eine richtige Eingabe kam, wurde zuerst der Befehl zu Ende gesprochen bevor die Eingabe bestätigt wurde. Die Sprachausgabe führte zu Verwechslungen, was vor allem bei der Bezeichnung der Regalebene mit den Buchstaben A bis E zu erkennen war. Die Buchstaben B, C, D, E hören sich alle ähnlich an und wurden oft verwechselt. Manche Probanden beschwerten

sich über die zu leise Ausgabe und konnten Befehle nur schwer verstehen, während sie den Kommissionierwagen schoben. Die Spracherkennung war einigen Probanden zu unsicher, so wurde z.B. „Zwei“ oft nicht verstanden und die Ansagen störten. Die Spracherkennung kann mit einer Überarbeitung des Wortschatzes verbessert werden. Dazu ist eine Vermeidung von Wörtern, die aufgrund ihrer Phonetik generell schlecht erkannt werden, nötig. Bei den Sprachbefehlen ist darauf zu achten, dass am besten nur zwei Wörter mit zwei Silben verwendet werden. Erst wenn das System beide Wörter erkennt, akzeptiert es den Befehl. Bisher wurden Befehle mit zwei Wörtern als ein Ausdruck, der komplett erkannt werden musste, benutzt. Die alleinige Eingabe von Ziffern, die für die Bestätigung der Entnahmemenge diente, sollte auch vermieden werden. Vor der Eingabe von Ziffern sollte immer ein Wort kommen. So zum Beispiel könnte bei der Quittierung der Entnahme der Befehl „OK 2“ heißen.

Da das AR-Kommissioniersystem auf derselben Sprachsteuerung basiert, gibt es die gleichen Optimierungspotenziale wie beim Pick-by-Voice. Der Grund für das bessere Abschneiden war, dass sich die Probanden auf die visuellen Informationen verließen. Eine der wichtigsten Optimierungen ist das Abschalten der Sprachausgabe, da diese nicht gebraucht wird. Einige Probanden würden auf das Sprachsystem komplett verzichten und lieber andere Interaktionsgeräte wie Taster verwenden. Deswegen wird auch ein Dreh-/Drückknopf getestet. Aber nicht nur die Interaktionstechnik kann optimiert werden, auch die Darstellung der Informationen. Neben einem verbesserten Graphical User Interface (GUI) bietet der Einsatz eines Trackingsystems Potenzial, da damit die Möglichkeit besteht, positionsbezogenen Daten, z. B. Pfeile auf Lagerfächer oder zur Wegfindung, einzublenden. Die Datenbrille wurde nur von sehr wenigen Probanden als unkomfortabel bezeichnet. Ein Grund dafür liegt darin, dass sie die Brille nicht länger als 15 Minuten aufhatten. Die wenigen Beschwerden zeigen aber auch das Potenzial von VRDs für Anwendungen in der Industrie. Eine Weiterentwicklung



der Datenbrille liegt nicht im Aufgabenbereich des Lehrstuhls fml. Hier muss auf eine weitere Verbesserung der Datenbrillen durch die Hersteller oder entsprechende Forschungsstellen gedrängt werden. Diese brauchen als Ansporn für die kostenintensive Weiterentwicklung ein Anwendungsgebiet für Datenbrillen und die Kommissionierung bietet hierfür Potenzial.

5.4 Ausblick

Aus wirtschaftlicher Sicht lohnt der Einsatz der Virtual Reality derzeit nur unter dem Aspekt der Durchgängigkeit und in spezifischen Anwendungen. Angefangen bei der Entwicklung und Konstruktion über die Planung und Simulation bis hin zu Schulung und Präsentation können eine Vielzahl von Potenzialen ausgeschöpft werden und zu Kosteneinsparungen führen, die sich teilweise schwer quantifizieren lassen. Sobald Hard- und Software günstiger in der Anschaffung und weniger Implementierungsaufwand für die unternehmensspezifischen Anwendungen möglich sind, sowie die ergonomische Handhabbarkeit der Interaktionsgeräte verbessert ist, wird die Virtual Reality ihren Einzug in das tägliche Arbeitsleben finden. Gleiches gilt für die Technologie der Augmented Reality und hier insbesondere die ergonomische Gestaltung von Head Mounted Displays, was zu einer erhöhten Akzeptanz zukünftiger Systeme führen wird. Wie so oft im Bereich der digitalen Werkzeuge muss hier noch einiges an Forschung und Entwicklung investiert werden. Vielleicht treten diese Technologien eines Tages sogar ihren Siegeszug über den Spielmarkt in das betriebliche Umfeld an.

Für den Lehrstuhl fml werden Virtual und Augmented Reality weiterhin als Zukunftstechnologien großer Bestandteil der Forschung bleiben. Hierzu gilt es in einem nächsten Schritt die vorhandenen Optimierungspotenziale zu erschließen und Feldversuche in der Praxis bzw. im Fall der Virtual Reality mit Praxisunterstützung durchzuführen.

6 Literatur

[ALT-03]:

Alt, T.: Augmented Reality in der Produktion. Herbert Ztz Verlag, München, 2003.

[ART-07]:

A.R.T.-Trackingsysteme: Internetauftritt der A.R.T. GmbH., <http://www.ar-tracking.de/>, zuletzt abgerufen am 13.07.2007.

[AZU-97]:

Azuma, R. T.: A survey of Augmented Reality. In: Presence: Teleoperators and Virtuel Environments, 8/1997, S. 355-385.

[BOR-93]:

Bortz, J.: Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1993.

[BOR-94]:

Bormann, S.: Virtuelle Realität – Genese und Evaluation. Addison-Wesley, Bonn, 1994.

[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. VDI-Verlag, Düsseldorf, 2005.

[BUR-94]:

Burdea, G.; Coiffet, P.: Virtual Reality Technology. John Wiley & Sons, New York, 1994.

[DAN-05]:

Dangelmeier, W.; Mueck, B.; Franke, W.: Mixed Reality in Lagerprozessen. In Gausemeier, J.; Grafe M.: Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 2005.



[FOR-05]:

ForLog: Zwischenbericht Forschungsverbund Supra-Adaptive Logistiksysteme 2005. München, 2005.

[FRI-04]:

Friedrich, Wolfgang (Hrsg.): ARVIKA - Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis Corporate Publishing, Erlangen, 2004.

[GUD-05]:

Gudehus, T.: Logistik. Springer, 3. Auflage, Berlin, 2005.

[GÜN-06]:

Günthner, W. A.; Reske, M.; Wulz, J. R.: Virtuelle Kollision spart Werkumbau. In: Automobil Produktion. Verlag moderne Industrie, 2006.

[HOM-04]:

ten Hompel, M.; Schmidt, T.: Warehouse Management - Automatisierung und Organisation von Lager- und Kommissioniersystemen. Springer, 2. Auflage, Berlin, 2004.

[KAM-06]:

Kampmeier J.; Cucera A.; Fritzsche L.; Brau H.; Duthweiler M.; Lang G. K.: Eignung monokularer Augmented Reality – Technologien in der Automobilproduktion. In: 104. Tagung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft "Augenheilkunde in der alternden Gesellschaft - Herausforderung und Chance". 21.-24.09.2006, Berlin.

[KWI-93]:

Kwijjas, R.: Kommissionieren heute - Stand der Technik und Verfahren. VDI Berichte Nr. 1051 – Kommissionieren. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.

[LOL-01]:

Lolling, A.: Klassifizierung und Analyse von Pickfehlern in manuellen Kommissioniersystemen. 49. Forum der BVL 2001.

[LOL-03]:

Lolling, A.: Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten. Shaker Verlag GmbH, Aachen, 2003.

[MUE-05]:

Mueck, B.; Höwer, M.; Franke, W.; Dangelmeier, W.: Augmented Reality applications for Warehouse Logistics. In Abraham, A. et al. (Hrsg.): Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology, 2005.

[ONG-04]:

Ong, S. K.; Nee, A. Y. C.: Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing. Springer Verlag, 2004.

[SCW-06]:

Schwerdtfeger, B.; Frimor, T.; Pustka, D.; Klinker, G.: Mobile Information Presentation Schemes for Supra-Adaptive Logistics Applications. In: Proceedings of the 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Hangzhou, 2006.

[VOG-97]:

Vogt, G.: Das neue Kommissionierhandbuch. Eine Sonderpublikation der Zeitschrift Materialfluss. Verlag moderne Industrie, Landsberg, 1997.