

Forschungsbericht

KomPlanVR

Kommissioniersystem-Planung mit VR

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

Dipl.-Ing. Andreas Steghafner



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das AIF-Forschungsvorhaben 15769 N/1 wurde im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik e. V. (BVL) durchgeführt und aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) auf Beschluss des deutschen Bundestages gefördert.

Herausgegeben von:

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

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Boltzmannstr. 15

85748 Garching

Telefon: + 49.89.289.15927

Telefax: + 49.89.289.15922

www.fml.mw.tum.de

Zusammenfassung

Der Mensch als zentrale Figur eines manuellen Kommissioniersystems spiegelt eine durch Simulationen nur schwer abbildbare Größe wider. Mittels der Technologie Virtual Reality kann dieser jedoch direkt in die Simulation integriert werden, wodurch realitätsnahe Planungen möglich sind. Das Ziel des Forschungsvorhabens KomPlanVR war die Entwicklung einer neuartigen Methodik zur Planung, Bewertung und Optimierung manueller Kommissioniersysteme mit Hilfe der Technologie Virtual Reality. Neben dem eigentlichen Planungsaspekt erlaubt es dieser Ansatz zudem bereits existierende Kommissioniersysteme in ihren Abläufen zu optimieren. Darüber hinaus können neue Mitarbeiter ohne direkten Eingriff in das Prozessgeschehen mit den zu absolvierenden Tätigkeiten der Kommissionieraufgabe vertraut gemacht werden.

Zu Beginn des Projekts wurden mit Hilfe einer Analyse manueller Kommissioniersysteme die primären Einsatzfelder und deren zugehörigen Anforderungen für ein solches Planungsinstrument definiert. Auf Basis der Recherche konnten repräsentative Kommissioniersystemvarianten als Szenarien der virtuellen Kommissionierung festgelegt werden. Hierzu zählt die Kommissionierung in einem Fachbodenregallager und mit Fahrzeugunterstützung. Damit die aus den Simulationsläufen gewonnenen Daten den Planer optimal unterstützen können, bedarf es eines übersichtlichen Bewertungsschemas. Hierzu wurden Leistungskennzahlen eines manuellen Kommissioniersystems ermittelt und darauf basierend ein Programm zur Auswertung generiert. Die Umsetzung der Mensch-Maschine-Schnittstelle zum VR-System erfolgte mit Hilfe eigens entwickelter Gerätschaften. Ein modifiziertes Laufband dient zur Fortbewegung im virtuellen Lager, während ein Datenhandschuh den Greifvorgang von Kommissionierobjekten abbildet. Eine im Hintergrund ablaufende Zeitaufnahme registriert den aktuellen Simulationsfortschritt und liefert Informationen für die Auswertung. Die durchgeführten Evaluierungen bestätigten die generelle Funktionsfähigkeit des neuartigen Werkzeugs. Darüber hinaus konnte die grundsätzliche Übertragbarkeit der ermittelten Daten auf reale Systeme nachgewiesen werden.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Wissenschaftlich-technische Problemstellung	1
1.2	Forschungsziel	2
1.2.1	Angestrebte Forschungsergebnisse	3
1.2.2	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	3
1.2.3	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	4
2	Stand von Wissenschaft und Technik	7
2.1	Technologie Virtual Reality	7
2.2	Virtual Reality in Industrie und Forschung	8
2.3	Methoden und Werkzeuge zur Kommissioniersystem-Planung	11
3	Analyse manueller Kommissioniersysteme	13
3.1	Aufbau eines Kommissioniersystems	13
3.1.1	Organisationssystem	13
3.1.2	Materialflusssystem	15
3.1.3	Informationssystem	16
3.2	Planungskriterien zur Systemfindung	18
3.2.1	Qualitative Kriterien	18
3.2.2	Quantitative Kriterien	19
4	Einsatzszenarien für KomPlanVR	23
4.1	Spezifizierung von Einsatzszenarien	23
4.2	Bewertungskriterien	25
4.3	KomPlanVR-Einsatzszenarien	27
4.4	Anforderungen und Lastenheft	30
5	Entwicklung einer Planungsmethodik	31
5.1	Allgemeiner VR-unterstützter Planungsprozess	31
5.2	Aufgabenspezifischer VR-unterstützter Planungsprozess	35

6	Effiziente 3D-Simulationsmodellerstellung	39
6.1	Erstellung von 3D-Modellen	39
6.2	3D-Modell – Basiskonfiguration	40
6.3	Erweiterung zum 3D-Kommissioniersystem	46
6.3.1	Statische Elemente	46
6.3.2	Dynamische Objekte	50
7	Entwicklung eines Bewertungsschemas	51
7.1	Kennzahlen zur Leistungsbewertung	51
7.1.1	Kommissionierzeit	51
7.1.2	Kommissionierleistung	53
7.1.3	Kommissionierfehler	54
7.2	Programm zur Simulationsauswertung	55
8	Recherche geeigneter Systemkomponenten	59
8.1	Virtual Reality-Basissoftware	59
8.1.1	Anforderungen an die VR-Basissoftware	59
8.1.2	Softwareauswahl	60
8.2	Interaktionsgeräte	61
8.2.1	Anforderungen an die Interaktionsgeräte	61
8.2.2	Recherche verfügbarer Interaktionsgeräte	62
8.2.3	Bewertung und Auswahl der Interaktionsgeräte	71
9	Entwicklung eines Funktionsmusters	75
9.1	Konzeption und Design des Funktionsmusters	75
9.1.1	Hardwarekomponenten	75
9.1.2	Softwarekonzept	81
9.2	Hardwareumsetzung	91
9.2.1	Datenhandschuh	91
9.2.2	Laufplattform	92
9.3	Softwareumsetzung	96
10	Evaluierung des Funktionsmusters	99
10.1	Aufbau des Labortests	99
10.2	Durchführung des Labortests	101
10.3	Ergebnisse der Evaluierung	102

10.3.1 Auswertung des Versuchslaufs	103
10.3.2 Auswertung des Fragebogens	109
10.3.3 Erkenntnisse	116
11 Überarbeitung des Funktionsmusters	117
11.1 Handlungsfelder für Optimierungsmaßnahmen	117
11.2 Modifikation des Funktionsmusters	119
11.2.1 Datenhandschuh	119
11.2.2 Virtueller Seitwärtsschritt	120
11.2.3 Barcode-Scanner	121
11.3 Evaluierung des überarbeiteten Funktionsmusters	125
12 Zusammenfassung und Fazit	133
Veröffentlichungen	137
Literaturverzeichnis	139
Abkürzungsverzeichnis	145
Abbildungsverzeichnis	147
Tabellenverzeichnis	151
Formelverzeichnis	153
Anhang A: Lastenheft	155
Anhang B: Fragebogen Evaluierung 1	159
Anhang C: Fragebogen Evaluierung 2	169

1 Einleitung

KomPlanVR beschreibt die Kommissioniersystem-Planung mit Virtual Reality. Mit Hilfe der Technologie Virtual Reality wird ein neuartiger Ansatz zur Auslegung manueller Kommissioniersysteme geschaffen. Neben Zeit- und Kostenersparnissen erlaubt es das geschaffene System, die Planungsqualität merklich zu steigern. Mittels geeigneter Interaktionsschnittstellen wird der Mensch als integraler Baustein in die Simulation eingebunden, wodurch realitätsnahe Ergebnisse möglich sind.

1.1 Wissenschaftlich-technische Problemstellung

Das Kommissionieren ist eine der anspruchsvollsten Aufgaben der innerbetrieblichen Logistik. Die Schwierigkeit des Kommissionierens resultiert aus der Vielzahl der Verfahren, Techniken und Kombinationsmöglichkeiten, aus den unterschiedlichen Strategien, nach denen sich Kommissioniersysteme aufbauen und organisieren lassen, sowie aus den vielen Einflussfaktoren, von denen Systemauswahl, Dimensionierung, Investition und Kosten abhängen [Gud-05]. Ebenso wie andere soziotechnische Systeme unterliegen Kommissioniersysteme einem Wandel der Bedingungen, unter denen diese Systeme eingesetzt werden. Entwicklungstrends zeigen, dass der Kunde auf Grund seiner individuellen Bedürfnisse eine immer größere Sortimentsbreite erwartet. Anbieter müssen in Zukunft mehr unterschiedliche Artikel kommissionieren, was zu einer Zunahme der Pickpositionen und damit des Kommissionieraufwandes führt. Gleichzeitig ist es wegen unterschiedlicher Strukturen innerhalb des Sortiments erforderlich, Kommissioniersysteme verstärkt in einzelne Kommissionierbereiche zu differenzieren. Dadurch wird die Komplexität der zu planenden Systeme deutlich zunehmen. Auftragsabwicklungsprozesse sind immer diffiziler zu planen, zugleich wird der Wunsch der Kunden nach kurzen Lieferzeiten, hohem Lieferservice sowie der raschen Erledigung kurzfristiger Kundenwünsche zusehends ein entscheidender Wettbewerbsfaktor, den es besonders zu berücksichtigen gilt. Reflektiert man diese Trends und die damit verbundenen Anforde-

rungen an Kommissioniersysteme, so erkennt man, dass daraus große Anforderungen an die Gestaltung bzw. Planung von Kommissioniersystemen erwachsen.

Zur Bewältigung der komplexen Planungs- und Auslegungstätigkeiten muss ein entsprechendes Hilfsmittel mit zugehöriger Planungsmethodik geschaffen werden, das Rationalisierungs-, Optimierungs- und Qualitätspotenziale in der Planung sowie letztlich im Betrieb erschließt. Die Technologie der Virtuellen Realität spielt hierbei eine Schlüsselrolle, da diese wie keine andere in der Lage ist, den Nutzer durch visuelle Informationsdarbietung und intuitive Interaktionsmechanismen bestmöglich bei seinen Aktivitäten zu unterstützen [Kle-88], [Dav-01]. Insbesondere von Bedeutung ist jedoch, dass der Faktor Mensch in bisher ungekannter Weise in den Mittelpunkt der Planungsbetrachtungen gestellt wird.

1.2 Forschungsziel

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer neuen, VR-gestützten Methodik für die Planung, Bewertung und Optimierung manueller Kommissioniersysteme, welche die Vorteile der Virtual Reality Technologie und realitätsnaher Bewegungsabläufe miteinander kombiniert. Hierdurch können unter realistischen Randbedingungen Kennzahlen zur Leistungsbewertung geplanter Systeme erstmals bereits im Labor ermittelt werden.

Aus diesem Ziel ergeben sich unterschiedliche Anforderungen, welche zur optimalen Umsetzung von KomPlanVR berücksichtigt werden sollten:

- Durchgängiger Einsatz in der Kommissioniersystemplanung
- Zeit- und Kostenersparnisse sowie erhöhte Qualität bei Planungstätigkeiten
- Verstärkung der Parallelisierung von Arbeitsschritten in der Planung
- Realitätsnahe Analyse und Optimierung logistischer Prozesse bzw. Materialflussprinzipien im Rahmen der Kommissioniersystemplanung
- Mensch durch ein VR-System verstärkt in die Planung integrieren
- Kombinationsmöglichkeit mit anderen Werkzeugen (z.B. 3D-CAD, Ablaufsimulation etc.)
- Basisbildung zur interdisziplinären Kommunikation auch über verschiedene Hierarchieebenen und Organisationseinheiten

- Einfache Interaktionsschnittstellen (z.B. Datenhandschuh) für intuitives Arbeiten
- Ergonomisch optimal auf den Benutzer angepasst
- Benutzerfreundliche Handhabung
- Erweiterbarer Funktionsumfang
- Wirtschaftlicher und kostengünstiger Einsatz

1.2.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Die Entwicklung eines neuartigen Konzeptes zur Planung auf dem Gebiet der Kommissionierung sowie dessen Realisierung in Form eines VR-gestützten Funktionsmusters stand im Vordergrund des Forschungsvorhabens. Dabei sollte die durchgängige Nutzung der Methodik zur Planung manueller Kommissioniersysteme aufgezeigt werden. Die Auswahl geeigneter Einsatzszenarien verdeutlichte, dass sowohl ein großes Potenzial als auch gewisse Restriktionen beim Einsatz einer derartigen Vorgehensweise vorherrschen. Darüber hinaus veranschaulichen ein allgemeiner sowie aufgabenspezifischer Planungsprozess, wie ein Planungsvorgehen mit VR-Unterstützung gestaltet sein kann. Welche Vorteile - vor allem in Bezug auf die Layoutplanung – der neue Ansatz in sich birgt, wurde mit Hilfe der durchgeführten Versuchsreihen ebenso herausgearbeitet, wie der Beweis, dass mittels geeigneter Konzepte und Techniken, eine frühzeitige und realistische Leistungsbewertung von manuellen Kommissioniersystemen möglich ist. Dadurch eröffnen sich völlig neue Wege in der Planung und Absicherung von Kommissioniersystemen.

1.2.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Das KomPlanVR realisiert erstmals die Nutzung der innovativen VR-Technologie zur Planung von Kommissioniersystemen. Hierzu soll der Mensch zur jeweiligen Planungstätigkeit bestmöglich informatorisch (3D-Layout etc.) unterstützt, aber nicht überfordert werden. Gleichzeitig wird erstmals ein neuartiger Simulationsansatz im Rahmen der Leistungsbewertung untersucht und methodisch aufbereitet. Durch die Schaffung bzw. Implementierung innovativer Mensch-Maschine-Schnittstellen, wie einem Datenhandschuh oder einer omni-/unidirektionalen Bewegungsplattform zur

Begehung virtueller Welten, können Systeme realitätsnah analysiert und bewertet werden. Dies erfolgt durch die Interaktion des Benutzers mit der virtuellen Kommissionierumgebung 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 unterschiedlichen 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. In der Kommissionierung können so z.B. – angefangen von der Auftragsentgegennahme bis zum Pickvorgang – Prozesse komplett abgebildet und unter arbeitstechnischen, systemtechnischen, geometrischen und ergonomischen Gesichtspunkten evaluiert werden.

Aufgrund der durch die Systemtechnik garantierten durchgängigen Einsetzbarkeit des KomPlanVR-Systems ergeben sich Vorteile in der Kommunikation in interdisziplinären Teams über unterschiedlichste Hierarchieebenen als auch in der Kooperation zwischen einzelnen KMU an verschiedenen Standorten. Das gemeinsame Arbeiten in einer virtuellen Umgebung, das durch eine intuitive Systembedienung und eine visuelle Informationsdarstellung möglich wird, sensibilisiert Personen unterschiedlicher Disziplinen für die Aufgaben des anderen bzw. fördert das Problemverständnis. Im Rahmen dieser Forschung wurden die Grundlagen für die Entwicklung eines neuen Planungsverfahrens für die Gestaltung manueller Kommissioniersysteme gelegt. Die dabei erarbeiteten Ergebnisse können Anstoß für Verfahrensverbesserungen bezüglich der Planungsprozesse mit sich bringen. Zudem erhält der Nutzer die Möglichkeit, seine kreativen Ideen in der Virtuellen Realität ohne großen Aufwand zu erproben, wodurch wiederum neue Ansätze entstehen können.

1.2.3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Die in den vorangegangenen Punkten erläuterten Forschungsziele wurden im Rahmen eines stufenweisen Vorgehens in Form von elf aufeinander abgestimmten und aufbauenden Arbeitspaketen (AP) erarbeitet.

AP 1: Analyse manueller Kommissioniersysteme (1MM)

Ergebnis: Ausgangsbasis für die schwerpunktmäßige Festlegung von Einsatzszenarien in Arbeitspaket 2.

AP 2: Definition von Einsatzszenarien (2MM)

Ergebnis: Einsatzszenarien für die VR-gestützte Planung manueller Kommissioniersysteme und Lastenheft der an das System gestellten Anforderungen.

AP 3: Entwicklung einer Planungsmethodik (1MM)

Ergebnis: Definition eines optimalen VR-unterstützten Planungsprozesses, welcher alle notwendigen Prozessschritte enthält.

AP 4: Erstellung einer Vorgehensmethodik zur effizienten Simulationsmodell-erstellung (2MM)

Ergebnis: Vorgehensweise zur Modellerstellung bzw. einer Modellierungstechnik für das Virtual Reality Simulationsmodell.

AP 5: Erarbeitung eines Bewertungsschemas (2MM)

Ergebnis: Einfaches und verständliches Bewertungsschema mit dessen Hilfe die Simulationsläufe bzw. unterschiedlichen Systemvarianten untereinander verglichen werden können.

AP 6: Auswahl geeigneter Systemkomponenten (2MM)

Ergebnis: Ausgewählte VR-Basissoftware zur Umsetzung des Funktionsmusters und ausgewählte Interaktionsgeräte zur Kommunikation mit dem System.

AP 7: Konzeption und Design des VR-Kommissionierplanungssystems (3MM)

Ergebnis: Hardware-Konzept, insbesondere die Gestaltung der Interaktionsgeräte (Greifen, Gehen, etc.). Software-Konzept, welches alle benötigten Funktionalitäten umfasst.

AP 8: Umsetzung des Funktionsmusters KomPlanVR (4MM)

Ergebnis: Erstes Funktionsmuster KomPlanVR.

AP 9: Evaluierung des KomPlanVR in Labortests (2MM)

Ergebnis: Funktionalitätsüberprüfung des umgesetzten Systems in der Laborumgebung des Lehrstuhls fml.

AP 10: Überarbeitung des Funktionsmusters und Evaluierung (4MM)

Ergebnis: Auswertung von Versuchsreihen mit dem überarbeiteten Funktionsmusters.

AP 11: Dokumentation (1MM)

Ergebnis: Erstellen eines ausführlichen Forschungsberichts und eines Leitfadens zur Modellerstellung und Vorgehensweise bei der virtuellen Simulation.

Die Gliederung des Forschungsberichts baut auf den im Forschungsantrag definierten Arbeitspaketen auf. In einem einleitenden Kapitel erfolgt eine Einführung in den aktuellen Stand der Technik. Anschließend wird aufgezeigt, wie ein Kommissioniersystem aufgebaut ist und welche Kriterien zur Planung eines solchen zu beachten sind. Mit den gewonnenen Erkenntnissen werden in Abschnitt 4 die Einsatzszenarien der virtuellen Kommissioniersystem-Planung definiert. Damit der Planungsprozess zeit- und kostenoptimiert umgesetzt werden kann, bedarf es eines Leitfadens zum Ablauf der VR-unterstützten Planung. Dieser Thematik widmet sich Kapitel 5, bevor im Anschluss daran auf die effiziente 3D-Simulationsmodellerstellung näher eingegangen wird. Ein virtueller Simulationslauf generiert eine Fülle von Rohdaten, welche dem Benutzer in eine für ihn verständliche Darstellung gebracht werden muss. Hierfür werden in Kapitel 7 zunächst wichtige Leistungsgrößen eines Kommissioniersystems ermittelt und erläutert, bevor diese anschließend als Basis eines Bewertungsprogramms genutzt werden. Die Recherche geeigneter Systemkomponenten des KomPlanVR bildet den Schwerpunkt von Abschnitt 8. Neben der Auswahl einer passenden VR-Basissoftware werden geeignete Interaktionsgerätschaften ermittelt und auf deren Einsatzfähigkeit für die virtuelle Kommissionierung untersucht. Innerhalb des Kapitels „Entwicklung eines Funktionsmusters“ werden zu Beginn mögliche Konzepte hinsichtlich Hard- und Softwarekomponenten erarbeitet, bevor das Funktionsmuster realisiert wird. In Kapitel 10 erfolgt die Untersuchung des entwickelten Systems auf dessen Funktionsfähigkeit. Die Resultate aus der Versuchsreihe bilden eine Basis für mögliche Optimierungsmaßnahmen, welche durch geeignete, hard- als auch softwarebasierte Vorkehrungen umgesetzt werden. In einer abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse den Zielen des Forschungsvorhabens nochmals gegenübergestellt.

2 Stand von Wissenschaft und Technik

Mit der Technologie der Virtual Reality und deren Einsatz als Planungsmedium zur Kommissioniersystemgestaltung werden die Kernelemente dieses Forschungsvorhabens in den nachfolgenden Abschnitten hinsichtlich des aktuellen Stands der Forschung vorgestellt. Dieser wird durch die Beschreibung wichtiger Entwicklungen auf dem Gebiet der Kommissionierplanungswerkzeuge vervollständigt.

2.1 Technologie Virtual Reality

S.K. Ong und A.Y.C. Nee beschreiben die Virtual Reality 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. Im Gegensatz zu den bisher bekannten, meist bildschirmbasierten, zweidimensionalen Darstellungsmedien steht somit bei der Virtualen Realität verstärkt der Mensch im Mittelpunkt. Maßgebliche Hardware-Bestandteile eines VR-Systems sind die Visualisierungseinheit, das Trackingsystem und die Interaktionsgeräte. Neben den meist unhandlichen Head Mounted Displays (HMD) kommen stereoskopische Projektionssysteme zum Einsatz, die sich zur Visualisierung entweder passiver oder aktiver Stereobrillen bedienen [Bur-94]. Die Bauformen reichen dabei von Einwand-Systemen bis hin zu CAVE-Anlagen (s. Abbildung 2-1), 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 das optische Tracking [Art-09], [Bur-94]. Letzteres wird aufgrund seiner hohen Genauigkeit bevorzugt in VR-Anlagen eingesetzt. Die Steuerung und intuitive Handhabung eines VR-Systems bzw. von virtuellen Objekten erfolgt über 3D-Interaktionsgeräte, wie z.B. Datenhandschuh, Flystick etc.

Die Forschung fokussiert vor allem die Miniaturisierung und Verbesserung bereits bestehender VR-Systemkomponenten, die zudem kostengünstig sein sollen, um den Einsatz in der Praxis weiter voranzutreiben.

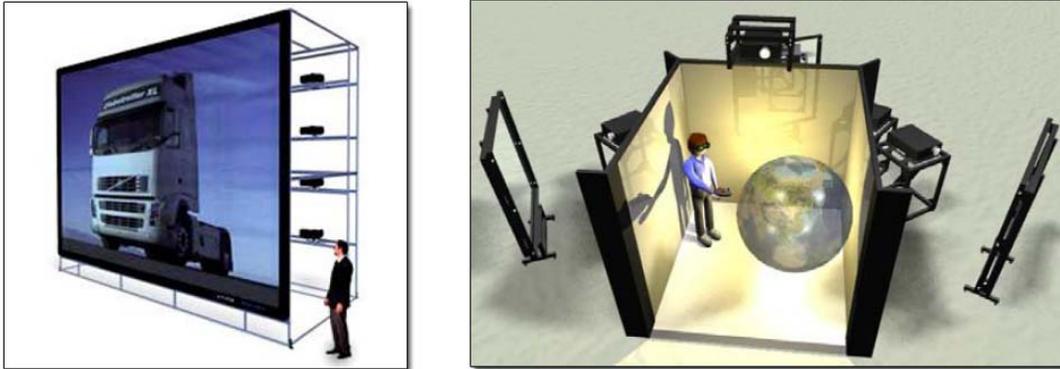


Abbildung 2-1: Einwand-Projektionssystem und CAVE-Aufbau ([Dim-10], [Arr-10])

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]. Insbesondere zur Visualisierung großer Datenmodelle auf dem Gebiet der Fabrikplanung werden neue Softwarekonzepte entwickelt, die beispielsweise die Darstellung eines virtuellen Modells mit bis zu 10 Mio. Polygonen ermöglichen [Iff-05], [Man-00].

2.2 Virtual Reality in Industrie und Forschung

Die heute wohl bekannteste VR-Anwendung ist der Flugsimulator zum Training von Piloten. Während die VR lange Zeit auf diese oder ähnliche Anwendungen vor allem im militärischen Bereich beschränkt war, so haben sich heute doch zahlreiche Anwendungsfälle auch im industriellen Umfeld ergeben. In den 90er Jahren standen die VR-Basistechnologien im Vordergrund, die mit der rasanten Entwicklung der Rechnertechnologie einhergingen. Mitte der 90er wurde mit der Entwicklung von Anwendungen für die Produktentwicklung bzw. Produktion begonnen, wobei der Fokus der

Betrachtungen auf dem Produktdesign, der Produktergonomie, der Montage und der Anwendung in der Robotik lag [Bor-94], [Bur-94]. Gegen Ende der 90er Jahre waren bereits erste kommerzielle Systeme erhältlich. Vor allem im Automobilbau sowie in der Luft- und Raumfahrtindustrie hat sich die Virtuelle Realität in den letzten Jahren als mittlerweile anerkanntes und geschätztes Hilfsmittel etabliert. Die Palette der Anwendungen erweiterte sich dabei um erste Ansätze in der Fabrik- bzw. Anlagenplanung. Trotzdem befindet sich hier der Einsatz der VR-Technologie in vielen Bereichen noch in den Anfängen und gilt vorrangig als Forschungsfeld wissenschaftlicher Institute.

Eines der ersten groß angelegten Projekte zum Themenkomplex Virtuelle Realität im industriellen Umfeld finanzierte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) von 1998-2002 im Rahmen des Leitprojektes „integrierte Virtuelle Produktentstehung“ (iViP). Ziel war die durchgängige Digitalisierung des Produktentstehungsprozesses unter Verwendung innovativer Technologien wie des Digitalen Mock Up bzw. der VR-Technologie. iViP erarbeitete Ansätze zur Modellierung kompletter Fabrikstrukturen in der virtuellen Welt. Der Fokus lag dabei auf der gemeinsamen Simulation unterschiedlicher Systeme (NC, Roboter und Mensch), der Simulation SPS-gesteuerter Anlagen und der Simulation manueller Montagearbeitsplätze, wobei für letzteres eigens ein Kraft-Rückkopplungssystem entwickelt wurde [Vip-02]. Von 2001 – 2003 förderte das BMBF auf einem thematisch offenen Gebiet 15 Forschungsprojekte zum Thema Virtual- und Augmented Reality. Dabei wurden sowohl VR-AR-Basistechnologien wie auch Produktinnovationen, Anwendungseinrichtungen und neuartige Dienstleistungen entwickelt. Der Einsatz bezog sich dabei hauptsächlich auf medizinische, archäologische und designtechnische Themen. Seit Oktober 2004 besteht das von BMBF geförderte „Virtuelle Kompetenznetzwerk zur Virtuellen und Erweiterten Realität“ ViVERA. Die Forschung und Entwicklung konzentriert sich dabei auf die Anwendungsgebiete Automobil- und Anlagenbau, Maschinen- und Schiffsbau sowie Medizin und Medizintechnik. Dabei wurden Basistechnologien aus dem Bereich Virtuelle Realität erarbeitet, wie z.B. eine fotorealistische Darstellung komplexer Automobilmodelle in Echtzeit [Viv-06], [Kom-06]. Als anwendungsbezogenes Ergebnis wurde in ViVERA beispielsweise die Kopplung einer CNC-Maschinensteuerung mit dem virtuellen Modell einer Werkzeugmaschine in

einer interaktiven 3D-Umgebung entwickelt, welche einen Vorabtest des Maschinenverhaltens ermöglicht.

Die Thematik der VR-Unterstützung in der Logistiksystemplanung wurde größtenteils nur exemplarisch aufgegriffen, beispielsweise um Einsparpotenziale, die durch VR-Technologie auf diesem Einsatzgebiet erreicht werden können, an Hand anwendungsnaher Versuche nachzuweisen. Im Rahmen der Materialflussplanung wurden beispielhaft geometrisch-funktionale Modelle der Fördertechnik virtuell in Betrieb genommen, um das Zusammenspiel von Materialflusskomponenten und Arbeitsplätzen zu untersuchen. Weitere Beispielanwendungen hatten die Analyse logistischer Systeme zum Inhalt, indem räumliche an einem Fabriklayout referenzierte Artikelbewegungen und -häufungen visualisiert wurden [Wes-06]. Als Ergebnis dieser umgesetzten Anwendungen konnte allgemein ein Potenzial zur Zeit- und Kosteneinsparung bzw. zur Qualitätssteigerung identifiziert werden. Einer Studie des Fraunhofer IPA zufolge sind Kosten- und Zeiteinsparungen von mehr als 20% bzw. eine Fehlerreduktion im Bereich von 10-20% durchaus realisierbar [Ipa-06]. Grund für diese Potenziale sind hauptsächlich eine eingängige Informationsbereitstellung und die Möglichkeit eines intuitiven Arbeitens in der virtuellen Welt.

Erste praktische Ansätze können seit 2007 vermeldet werden. Innerhalb des Forschungsverbundes ForLog (Supra-adaptive Logistiksysteme) wurden unter Zuhilfenahme ausgestalteter Interaktionsplattformen bereits erste Ergebnisse hinsichtlich der Logistikplanung unter Einsatz der Virtual Reality Technologie gewonnen [For-07]. Nicht direkt im Zusammenhang von Virtual Reality, dennoch unter Einsatz computergenerierter Objekte, führte der Lehrstuhl fml der Technischen Universität München 2008 erste Untersuchungen im Hinblick auf ein neuartiges System der Informationsbereitstellung während des Kommissioniervorgangs durch. Unter der Bezeichnung „Pick-by-Vision“ wurde ein auf Augmented Reality (AR) basierendes System entwickelt und umgesetzt, welches den Kommissionierer kontextbezogen mit den zur Kommissionieraufgabe benötigten Informationen versorgt [Gün-08],[Rei-09].

2.3 Methoden und Werkzeuge zur Kommissioniersystem-Planung

Die Aufgabe der Planung von Kommissioniersystemen besteht darin, aus einer Vielzahl von Möglichkeiten geeignete Anlagen und Betriebsmittel so auszuwählen, in Leistungsstellung anzuordnen, zu Leistungsketten und Systemen zu verknüpfen, zu organisieren und zu dimensionieren, dass die vorgegebenen Leistungsanforderungen unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen optimal erfüllt werden. Dabei ist bei der Planung von manuellen Kommissioniersystemen insbesondere der Faktor Mensch zu berücksichtigen, da dieser die Leistungsmerkmale wesentlich prägt. Der Planer kann sich diesbezüglich schon heute aus einem recht umfangreichen und vielseitigen Arsenal von Methoden und Planungstechniken bedienen, wobei die meisten Hilfsmittel den Benutzer nicht als zentrales Element berücksichtigen. So besteht beispielsweise beim Einsatz von Rechner-Tools, die sich spezieller Berechnungsformeln und Algorithmen bedienen, die Gefahr, falsche Ergebnisse zu erhalten, die daraus resultieren, dass die Programme u.a. zu stark vereinfacht, zu komplex, undurchschaubar, unverständlich oder zu starr sind [Gud-05]. Aus blindem Vertrauen in die Ergebnisse, die meist sehr abstrakt in Form von Tabellen, 2D-Grafiken und Layouts bzw. schematischen Bildern dargestellt sind [Arn-05], werden dann falsche Konsequenzen gezogen.

Aktuell wird das Thema der Digitalen Fabrik (DF) in universitären Forschungstätigkeiten bearbeitet. Bezüglich der Kommissioniersystemplanung liegt der Schwerpunkt hierbei in der Ablaufsimulation, einer Methode zur Verhaltensanalyse logistischer Systeme. Während automatisierte Systeme gut abgebildet werden können, sind manuelle Systeme mit dem wichtigen Faktor Mensch noch nicht hinreichend modellierbar. Diese Lücke soll die VR-Technologie als Werkzeug der DF schließen, indem in der virtuellen Welt ermittelte, logistische Kennzahlen in die Ablaufsimulation einfließen und so die Qualität der Modelle verbessern.

3 Analyse manueller Kommissioniersysteme

Den Inhalt des ersten Arbeitspaketes bildete die Analyse von manuellen Kommissioniersystemen. Das Ergebnis wird anschließend als Basis für eine schwerpunktmäßige Festlegung von Einsatzszenarien für die mit der Virtuellen Realität unterstützte Kommissioniersystemplanung genutzt.

3.1 Aufbau eines Kommissioniersystems

Die zentrale Aufgabe eines Kommissioniersystems liegt im Kommissionieren von Teilmengen aus einer vorhandenen Gesamtmenge (Sortiment). Kernprozess ist das Greifen zur Vereinzelung, die Entnahme und Abgabe der Entnahmemenge. Die VDI-Richtlinie 3590 beschreibt ein Kommissioniersystem als Kombination der drei Teilsysteme Organisations-, Materialfluss- und Informationssystem [VDI3590].

3.1.1 Organisationssystem

Das Organisationssystem beschreibt den räumlichen Aufbau, den Ablauf der Kommissionierung und den optimalen Einsatz von Arbeitsmitteln und Personal im Betrieb. Es lässt sich in die Bereiche Aufbau-, Ablauf und Betriebsorganisation unterteilen [VDI3590].

3.1.1.1 Aufbauorganisation

Die Aufbauorganisation definiert eine mögliche Strukturierung des Kommissioniersystems in funktionale oder logische Bereiche – weiterführend wird hierunter eine Zusammenfassung von Artikeln entsprechend bestimmter Charakteristika verstanden [Kom-09]. Eine mehrzonige Aufteilung (s. Abbildung 3-1) findet entweder aufgrund technischer Anforderungen der Guteigenschaften (physikalische Eigenschaften, z.B. Artikelabmessungen, Artikelvolumen, Artikelgewicht etc.) oder aus organisatorischen Gründen mit der Absicht, die Systemleistung zu optimieren, statt. Gründe für eine Zonung aus organisatorischer Sicht sind z.B. hohe Variation der Absatzmenge oder Zugriffshäufigkeit pro Artikel ([Kom-09], [VDI3590]). Erfolgt hingegen

keine Aufteilung in unterschiedliche Bereiche spricht man von einer einzonigen Aufbauorganisation.

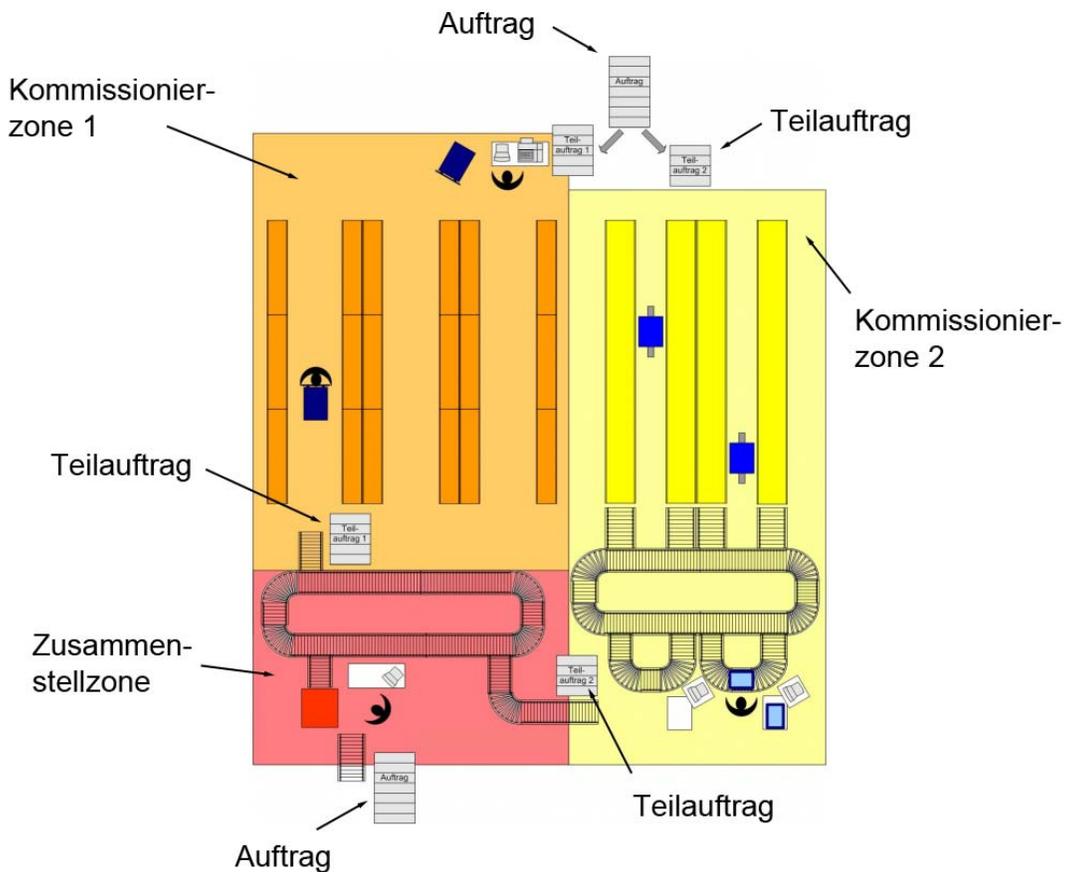


Abbildung 3-1: Prinzipdarstellung eines mehrzonigen Kommissioniersystems [Gün-09]

3.1.1.2 Ablauforganisation

Die Ablauforganisation bestimmt, wie die jeweiligen Aufträge zusammengestellt werden. Sie wird üblicherweise durch die Struktur der Aufträge bestimmt ([VDI3590], [Kom-09]). Wesentliche Punkte sind Sammeln, Entnahme und Abgabe. Bezüglich des Sammelns kann dieser Vorgang entweder nacheinander (seriell) oder gleichzeitig (parallel) durchgeführt werden. Für die Entnahme bzw. Abgabe der zu kommissionierenden Artikel wird in auftragsorientiert und artikelorientiert unterschieden. Bei der auftragsorientierten Kommissionierung wird ein Auftrag direkt in einen Kommis-

sionierauftrag umgewandelt. Die Kommissionierliste entspricht ganz oder in einem Teil dem um die lagerspezifischen Daten ergänzten Auftrag. Bei der artikelorientierten Kommissionierung werden hingegen mehrere Aufträge mit dem Ziel der Bewegungsoptimierung zu einem Kommissionierauftrag verdichtet [Kom-09].

3.1.1.3 Betriebsorganisation

Die Betriebsorganisation behandelt die zeitliche Reihenfolge, in der ein oder mehrere Kommissionieraufträge in ein Kommissioniersystem eingesteuert und verfolgt werden [VDI3590]. Sie dient der Optimierung des Gesamtsystems nach den vorhandenen Zielgrößen, z.B. nach:

- Personaleinsatz
- Auftragsgröße
- Kunde
- Versandart
- Auftragsdurchlaufzeit durch Kommissionier- oder Nachschubzonen
- Beschäftigungsgrad bei Serien
- Terminierung (Eilaufträge)

3.1.2 Materialflusssystem

Das Materialflusssystem beschreibt im Wesentlichen die direkt am Entnahmeprozess beteiligten sowie die zu den vor- und nachgelagerten Prozessen gehörenden Systemelemente. Für die Auslegung des Materialflusssystems werden die bei der Kommissionieraufgabe relevanten Vorgänge betrachtet. Diese sind v.a. die Bereitstellung, Entnahme und Abgabe der Güter sowie die Bewegung des Kommissionierers innerhalb des Kommissioniersystems [VDI3590]. Tabelle 3-1 listet neben den eben genannten Aspekten des Weiteren noch den Vorgang Transport der Güter zur Bereitstellung.

Tabelle 3-1: Ausprägungsmerkmale des Materialflusssystems [VDI3590]

Vorgang	Beschreibung	Umsetzungsmöglichkeit
Transport der Güter zur Bereitstellung	Der Transport der Güter zur Bereitstellung umfasst alle Transporte, welche durchgeführt werden müssen, um die Güter für den Kommissionierer zugriffsbereit zu machen.	<ul style="list-style-type: none"> • findet nicht statt • findet statt: <ul style="list-style-type: none"> - ein-/ , zwei-/ , dreidimensional - manuell/mech./automatisch
Bereitstellung	Die Bereitstellung beschreibt die Art, wie der Kommissionierer die Güter zur Durchführung der Entnahmeprozesse vorfindet.	<ul style="list-style-type: none"> • statisch/dynamisch • zentral/dezentral • geordnet/ungeordnet
Bewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung	Die Bewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung betrachtet die Art der Bewegung des Kommissionierers zum Bereitstellort der zu entnehmenden Güter. Diese kann entweder eindimensional oder zweidimensional jeweils mit oder ohne Gassenwechsel ausgeprägt sein.	<ul style="list-style-type: none"> • findet nicht statt • findet statt: <ul style="list-style-type: none"> - ein-/ bzw. zweidimensional - mit bzw. ohne Gangwechsel - manuell/mech./automatisch
Entnahme der Güter durch den Kommissionierer	Die Entnahme der Güter durch den Kommissionierer betrachtet die Durchführung der Entnahmeprozesse, diesbezüglich den Zugriff des Kommissionierers auf die bereitgestellten Güter.	<ul style="list-style-type: none"> • manuell/mechanisch/automatisch • eine EE pro Zugriff • mehrere EE pro Zugriff
Abgabe	Beim Transport der Güter zur Abgabe werden die Bewegungsmöglichkeiten der entnommenen Güter zum Abgabeort im Kommissioniersystem beschrieben. Die Abgabe bezieht sich für die kommissionierten Güter auf den Abgabeort und die Art und Weise der Abgabe.	<ul style="list-style-type: none"> • statisch/dynamisch • zentral/dezentral • geordnet/ungeordnet

3.1.3 Informationssystem

Zusätzlich zu den beiden bereits erläuterten Teilsystemen beinhaltet ein Kommissioniersystem zudem das Informationssystem. Dieses setzt sich aus mehreren Elementen zusammen, die zur Umsetzung der Kommissionieraufgabe notwendig sind. Unter diesen so genannten Informationselementen eines Kommissioniersystems wird im weiteren Sinn eine Information verstanden, welche zur Auslösung und/oder Durchführung der zum Kommissionieren essentiellen Materialfluss-Vorgänge erforderlich ist [VDI3590].

Als Informationselemente zu verstehen sind:

- Auftrag
- Kommissionierliste bzw. -datei
- Position
- Packstelle, Kommissionierzeitpunkt, Verpackungsvorgabe

Tabelle 3-2: Informationselemente des Informationssystems [VDI3590]

Informationselement	Beschreibung
Auftrag	Der Auftrag enthält Grundinformationen, welche zur Durchführung des Kommissioniervorgangs benötigt werden. Mindestens enthalten sein muss die Information zur Artikelidentifikation und zur Bestellmenge.
Kommissionierliste bzw. -datei	Die Kommissionierliste bzw. Kommissionierdatei wird durch die informationstechnische Verknüpfung der Auftragsdaten mit den spezifischen Daten des Kommissioniersystems erzeugt (z.B. Entnahmeorte, Bewegungsstrategien etc.). Aus einem Auftrag können mehrere bzw. aus mehreren Aufträgen kann eine Kommissionierliste bzw. -datei erzeugt werden.
Position	Die Position ist eine Zeile der Kommissionierliste bzw. -datei, die alle für den Kommissioniervorgang eines Artikels relevanten Informationen (z.B. Entnahmeort, Entnahmemenge etc.) enthält.

3.2 Planungskriterien zur Systemfindung

Kriterien, die zur Entscheidungsfindung bei der Auswahl eines anforderungsgerechten Kommissioniersystems herangezogen werden, können in qualitative und quantitative Größen unterschieden werden.

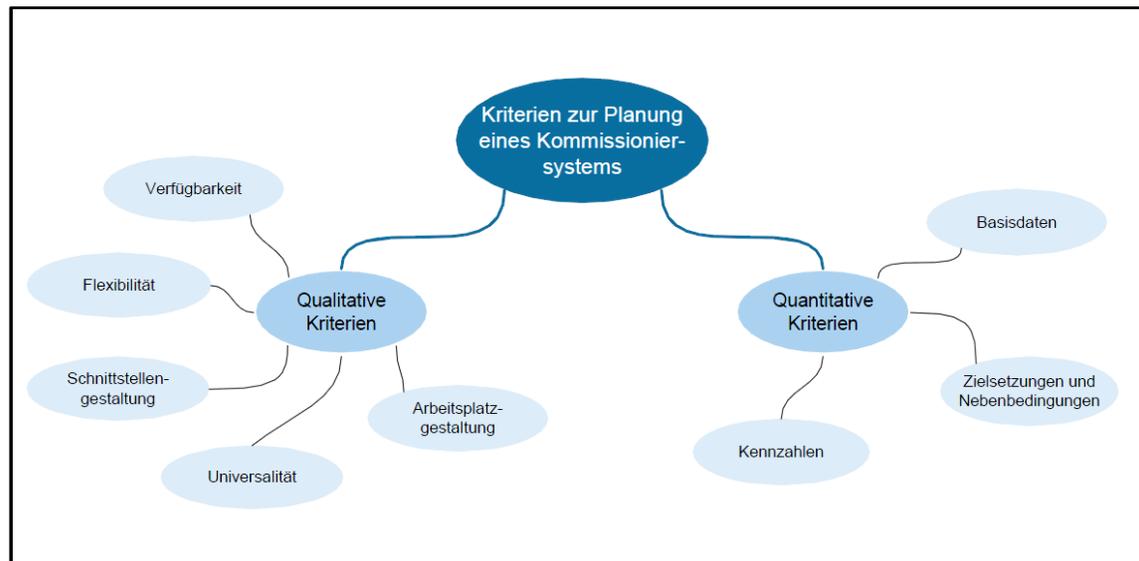


Abbildung 3-2: Planungskriterien zur Systemfindung

3.2.1 Qualitative Kriterien

Qualitative Kriterien betreffen alle Grundfunktionen und damit die Auswahl und Auslegung eines Kommissioniersystems [VDI3590]. Tabelle 3-3 sind entscheidende Aspekte zu entnehmen.

Tabelle 3-3: Qualitative Kriterien zur Planung eines Kommissioniersystems [VDI3590]

Kriterium	Beschreibung
Flexibilität	Die Flexibilität entspricht der kurzfristigen Anpassungsmöglichkeit an Schwankungen in der geforderten Kommissionierleistung.
Universalität	Die Universalität beschreibt die Vielseitigkeit in der Anwendung eines Kommissioniersystems. Diese Vielseitigkeit kann sich entweder auf die Vielgestaltigkeit des Sortiments oder auf zukünftige Verwendungsmöglichkeiten des Kommissioniersystems beziehen.
Verfügbarkeit	Der Verfügbarkeit kommt vor allem bei automatisierten oder mechanisierten Systemen eine besondere Bedeutung zu. Der Grad der Verfügbarkeit kann u.a. durch redundante Auslegung von Systemelementen erhöht werden.
Arbeitsplatzgestaltung	Die Arbeitsplatzgestaltung betrachtet die ergonomische Gestaltung aller Arbeitsplätze im Kommissioniersystem.
Schnittstellengestaltung	Unter der Schnittstellengestaltung versteht man die organisatorische und informatorische Verknüpfung zwischen angrenzenden Systemen.

3.2.2 Quantitative Kriterien

Für die Auslegung und Auswahl der geeigneten Aufbau- und Ablauforganisation, aber auch zur Konzeption und Bewertung der EDV-Systeme für die Kommissionierung werden Basisdaten, Kennzahlen sowie Nebenbedingungen und Zielvorgaben herangezogen [VDI3590].

3.2.2.1 Basisdaten

Mittels der Basisdaten werden Aufbau, Größe, Technik und Abläufe eines Kommissioniersystems wesentlich bestimmt [VDI3590]. Zu beachten gilt es dabei, dass nicht nur Durchschnitts- sondern auch Maximaldaten in die Datenermittlung eingehen. Die Erhebung der Daten geschieht während der Planung als auch in der folgenden Betriebszeit als iterativer Prozess, um auf mögliche Veränderungen jederzeit reagieren zu können. Grundsätzlich werden Basisdaten in folgende Bereiche untergliedert:

3 Analyse manueller Kommissioniersysteme

- Artikelstrukturdaten
- Sortimentsdaten
- Absatzstrukturdaten
- Auftragsdaten

Tabelle 3-4: Basisdaten zur Auslegung eines Kommissioniersystems [VDI3590]

Basisdaten	Beschreibung
Artikelstrukturdaten	<p><i>physische Daten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Abmessungen • Gewicht • Formkennzeichen • Gefahrgutkennzeichen • Merkmale zur Stapelfähigkeit • Oberflächenmerkmale <p><i>Zuordnungsdaten des Artikels:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Zuordnung zu Artikelgruppen • Zuordnung zu Ladehilfsmitteln (Palette, Schachtel etc.) • Festlegung möglicher Entnahmeeinheiten
Sortimentsdaten	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der Artikel • ABC-Struktur nach Absatz, Volumen etc. • Anzahl und Umfang von Artikelgruppen, Produktgruppen
Absatzstrukturdaten	<p><i>statische Daten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Stück/Ladehilfsmittel • Stück/Beschickungseinheit • Stück/Bereitstelleinheit <p><i>dynamische Daten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtbestand • Mindestbestand • Absatz/Zeiteinheit • Absatz nach Vertriebswegen oder Versandarten • Zugriffshäufigkeit/Zeiteinheit
Auftragsdaten	<ul style="list-style-type: none"> • Auftragsarten (z.B. Groß-, Mittel-, Klein-, Sonder-, Eilaufträge) • Auftragsgröße • Anzahl Aufträge/Zeiteinheit • Anzahl Aufträge/Auftragsart • Zugriffe/Position • Wiederholhäufigkeit gleicher Artikel/Zeiteinheit • zeitliche Verteilung des Auftragseingangs (Auftragsspitzen) • Auftragsdurchlaufzeit

3.2.2.2 Kennzahlen

Für einen Systemvergleich und zur Beurteilung eines in Betrieb befindlichen Kommissioniersystems können folgende Kosten- und Leistungskennzahlen zu Rate gezogen werden [VDI3590].

Tabelle 3-5: Kosten- und Leistungskennzahlen eines Kommissioniersystems [VDI3590]

Kennzahl	Beschreibung
Kostenkennzahlen	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten/bereitgestelltem Artikel • Kosten/Kommissionierplatz • Kosten/Kommissionierauftrag • Kosten/Zugriff • Kosten/m²
Leistungskennzahlen	<ul style="list-style-type: none"> • Kommissionierweg/Position • Positionen/Mitarbeiter • Transportzeit/Position • Flächenbedarf/bereitgestelltem Artikel • Reichweite/Artikel im Bereitstellsystem (Umschlaghäufigkeit) • ABC-Struktur (Schnelldreher, Langsamdreher)

3.2.2.3 Nebenbedingungen und Zielvorgaben

Zusätzlich zu den primären Merkmalen der Artikel und Aufträge wird die Realisierung eines Kommissioniersystems des Weiteren durch Nebenbedingungen und Zielvorgaben geprägt [VDI3590]. Nachfolgender Auflistung kann eine Auswahl entnommen werden:

- Verfügbare Fläche und Räume
- Personalverfügbarkeit und Einsatzmöglichkeiten
- Erweiterungsfähigkeit der Anlagen
- notwendiger bzw. geforderter Technikeinsatz (Verfügbarkeit, Automatisierungsgrad, Flexibilität, Systemsicherheit)
- Mindestleistungen oder Auftragsdurchlaufzeiten
- Qualitätsanforderungen (Fehlerquoten, Beschädigung, Verpackung, Dokumentation)

4 Einsatzszenarien für KomPlanVR

Als Simulationsumgebung sind für KomPlanVR zahlreiche Einsatzszenarien denkbar. Wie die Recherche im vorherigen Abschnitt bereits eingehend verdeutlichte, hängt die Ausprägung eines Kommissioniersystems von vielen Faktoren ab, hinsichtlich der konstruktiven Ausgestaltung in erster Linie vom eingesetzten Materialflusssystem.

4.1 Spezifizierung von Einsatzszenarien

Eine grobe Vorauswahl erfolgte vorwiegend durch Gespräche mit den Projektpartnern, darüber hinaus nach Beispielen aus der Fachliteratur. Vor dem Hintergrund, geeignete Einsatzszenarien für KomPlanVR zu definieren, wurden folgende acht Systemvarianten näher in Betracht gezogen.

Szenario A – Fachbodenregallager (ein-/ mehrgeschossig)

Das Fachbodenregallager ist eine einfache Regalanlage für Kartons und Behälter. Die Höhe des Regals wird bestimmt durch die Greifhöhe (d.h. max. 1,80m). Der Kommissionierer arbeitet seinen Auftrag durch einen Rundgang ab, wobei die kommissionierten Artikel auf einen Wagen abgelegt werden. Die Abgabe erfolgt meist an einer zentralen Abgabestelle. Liegt ein mehrgeschossiges Lager vor, werden die einzelnen Ebenen entweder über Treppen oder eine Lifteinrichtung erreicht.

Szenario B – Durchlaufregallager

Im Lager sind Durchlaufregale für Kartons oder Behälter platziert. Die Dimensionierung der Regale wird im Wesentlichen durch die Artikel-/Auftragsstruktur (z.B. optimale Kanallänge) und die Ergonomie (z.B. Greifhöhe) bestimmt.

Szenario C1 – Palettenlager

Das Lager besteht aus Standard-Palettenregalen als Eingang-Aufbau, bei dem Nachschub- und Kommissioniergang kombiniert sind. Die untere Lagerebene dient

zur Artikelbereitstellung, die darüber angeordneten Ebenen zur Nachschubbevorratung.

Szenario C2 – Palettenlager mit Hochhub-Kommissioniergerät

Das Lager besteht aus Standard-Palettenregalen, auf welchen die Ware auf Paletten oder in Gitterboxenpaletten bereitliegt. Der Kommissionierer hat seinen Arbeitsplatz in der Kabine eines Vertikalkommissionierers oder Hochregalstaplers. Die Artikel werden von der Kabine des Fahrzeugs aus auf die mitgeführte Palette kommissioniert.

Szenario D - Stollenlager

Das Stollenlager besteht aus einem zweigeschossigen Regal als Zweigang-Aufbau, bei dem Nachschub- und Kommissioniergang getrennt angeordnet sind. Die Regale sind modular, so dass die Artikel sowohl in Fachböden, Behältern oder auf Palette liegen. Die Aufträge werden zonenweise, parallel abgearbeitet und im Versand zusammengeführt.

Szenario E – Durchlaufregal mit Fördertechnik

Das System besteht aus einem Durchlaufregal für Kartons oder Behälter. Die Höhe des Regals ist auf die mögliche Entnahmehöhe des Kommissionierers beschränkt. Die Kommissionierung erfolgt mit Picklisten oder beleglos mittels EDV-gesteuerter Anzeige der Entnahmemenge am Kanal. Die Ware wird dezentral vom Kommissionierplatz per Fördertechnik in geeigneten Ladehilfsmitteln abgefördert.

Szenario F – Automatisches Kleinteilelager

Das System besteht aus einem Regal für Behälter und dem automatischen Regalbediengerät. Vor der Regalanlage befindet sich ein stationärer Kommissionierplatz, der optimal hinsichtlich Ergonomie und Informationstechnik eingerichtet werden kann. Das Lager wird durch einen dezentralen Lagerrechner verwaltet. Der Kommissioniervorgang findet mehr oder weniger vollautomatisch statt, lediglich die Entnahme der Ware erfolgt manuell.

Szenario G – Karusselllager / Paternosterregal

Das System besteht aus einem oder mehreren horizontalen (Paternoster) bzw. vertikalen (Karussell) Umlaufregalen. Jeweils eine Ebene des Regals befindet sich im Zugriff für den Kommissionierer. Vor dem Regal ist ein Ablagetisch oder eine Behälterförderanlage angeordnet. Jede Einheit ist mit einer Steuerung ausgestattet, die per Taster bedient wird oder an eine zentrale Lagerverwaltung angebunden ist.

4.2 Bewertungskriterien

Bevor eine Auswahl getroffen werden kann, gilt es vorerst zu überprüfen, für welche der genannten Varianten die Abbildung als Umgebung einer VR-gestützten Kommissionierung als zielführend erachtet werden kann. Hierfür müssen zunächst geeignete Bewertungskriterien für eine Entscheidung gefunden werden. Durch Expertengespräche im Projektbegleitenden Ausschuss konnten folgende Punkte herausgearbeitet werden.

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. Evaluierungsmöglichkeit | Stehen für das gewählte Szenario hinsichtlich einer Funktionsüberprüfung des Demonstrators vergleichbare, reale Systeme zur Verfügung? |
| 2. Modellerstellung | Wie groß ist der Aufwand, geeignete 3D-Simulationsmodelle für das Szenario zu erstellen? |
| 3. Komplexität (Simulationsablauf) | Wie hoch sind die Anforderungen an den Benutzer während des virtuellen Kommissioniervorgangs? |
| 4. Modelldynamik | Dient das 3D-Modell der Umgebung ausschließlich der Visualisierung oder muss es von der Simulation aktiv beeinflusst werden? |

5. Komplexität (Umsetzung) Wie umfangreich gestaltet sich die softwareseitige Implementierung des Szenarios?
6. Ergonomie Erlaubt das Szenario während der Kommissionierung Untersuchungen hinsichtlich ergonomischer Aspekte?

Die Gewichtung der unterschiedlichen Kriterien erfolgte mit Hilfe eines paarweisen Vergleiches (s. Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien

Entscheidungskriterien	1	2	3	4	5	6	Summe	Gewichtungsfaktor
1. Evaluierungsmöglichkeit	-	1	1	1	1	1	5	0.167 => 0.15
2. Modellerstellung	1	-	0	0	0	1	2	0.067 => 0.10
3. Komplexität (Simulation)	1	2	-	0	0	1	4	0.133 => 0.15
4. Modelldynamik	1	2	2	-	1	2	8	0.267 => 0.25
5. Komplexität (Umsetzung)	1	2	2	1	-	2	8	0.267 => 0.25
6. Ergonomie	1	1	1	0	0	-	3	0.10
Summe							30	

Im Hinblick auf die Zielerfüllungsgrade konnten in Absprache mit den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses folgende Klassifizierungen herausgearbeitet werden.

Tabelle 4-2: Zielerfüllungsgrad der Bewertungskriterien

Zielerfüllungsgrad	0-2	3-5	6-8
	schlecht	mittel	gut
Entscheidungskriterien			
1. Evaluierungsmöglichkeit	nicht vorhanden	bedingt vorhanden	vorhanden
2. Modellerstellung	hoher Aufwand	mittlerer Aufwand	geringer Aufwand
3. Komplexität (Simulation)	zu hoch	mittel	gering
4. Modelldynamik	starker Einfluss	geringer Einfluss	kein Einfluss
5. Komplexität (Umsetzung)	zu hoch	mittel	gering
6. Ergonomie	nicht möglich	bedingt möglich	möglich

4.3 KomPlanVR-Einsatzszenarien

Als Bewertungsverfahren wurde eine Nutzwertanalyse mit den sechs ermittelten Bewertungskriterien durchgeführt. Tabelle 4-3 kann die Bewertung der Szenarien und das Ergebnis der Analyse entnommen werden.

Tabelle 4-3: Nutzwerte der Einsatzszenarien

	Kriterien	1	2	3	4	5	6	
Szenario		0.15	0.10	0.15	0.25	0.25	0.10	Summe
A	Zielerfüllung	8	7	7	8	5	6	6.80
	Nutzwert	1.20	0.70	1.05	2.00	1.25	0.60	
B	Zielerfüllung	7	6	7	8	5	7	6.65
	Nutzwert	1.05	0.60	1.05	2.00	1.25	0.70	
C1	Zielerfüllung	5	7	7	8	5	5	6.25
	Nutzwert	0.75	0.70	1.05	2.00	1.25	0.50	
C2	Zielerfüllung	2	7	6	8	4	6	5.50
	Nutzwert	0.30	0.70	0.90	2.00	1.00	0.60	
D	Zielerfüllung	1	2	4	7	3	4	3.85
	Nutzwert	0.15	0.20	0.60	1.75	0.75	0.40	
E	Zielerfüllung	1	4	4	2	3	7	3.10
	Nutzwert	0.15	0.40	0.60	0.50	0.75	0.70	
F	Zielerfüllung	3	2	4	0	1	4	1.90
	Nutzwert	0.45	0.20	0.60	0.00	0.25	0.40	
G	Zielerfüllung	0	2	3	2	2	4	2.05
	Nutzwert	0.00	0.20	0.45	0.50	0.50	0.40	

Betrachtet man die Nutzwerte der jeweiligen Szenarien, so wird schnell deutlich, dass Szenario A bis einschließlich Szenario C2 äußerst hohe Werte aufweisen, wohingegen die Varianten D bis G nur mittelmäßige bis geringe Nutzwerte erlangen. Zurückzuführen ist dies vor allem darauf, dass letztere die Artikelbereitstellung bzw. bei Szenario E die Abgabe in dynamischer Form umsetzen. Wie den einzelnen Gewichtungen zu entnehmen ist, wird der Software-Entwicklung ein besonders hoher

Stellenwert zugeordnet. Die Implementierung einer Steuerungslogik für derartige Funktionalitäten ist nur mit umfangreichem Programmieraufwand zu bewältigen. Aus dem Grund scheiden jene Szenarien aus und die Wahl fällt letztlich auf Systeme mit der weniger komplexen, statischen Bereitstellung und Abgabe.

In Anlehnung an die Ergebnisse der Nutzwertanalyse werden für das Funktionsmuster zwei exemplarische Szenarien definiert.

Szenario 1 - Konventionelles Kommissionieren

Das erste Szenario beschreibt ein Kommissioniersystem mit statischer Artikelbereitstellung durch Fachbodenregale, eindimensionaler Fortbewegung mit Gassenwechsel, manueller Entnahme sowie zentraler Abgabe (s. Abbildung 4-1, links). Der Kommissionierer durchläuft das virtuelle Lager und kommissioniert entsprechend der Vorgaben durch die Auftragsliste. Neben der Bereitstellung mittels Fachbodenregalen ist für dieses Szenario weiterhin vorgesehen, auch die Entnahme von Paletten- sowie Durchlaufregalen zu ermöglichen.



Szenario 1



Szenario 2

Abbildung 4-1: Reale Vorbilder von Szenario 1 und Szenario 2 ([Bit-09], [Via-09])

Szenario 2 - Kommissionieren mit Vertikalkommissionierer

Das zweite Szenario entspricht ebenfalls einem Kommissioniersystem mit „Mann-zur-Ware“-Prinzip. Im Gegensatz zu Variante 1 ist hier jedoch die Art der Fortbewegung entscheidend. Anstatt einer eindimensionalen Bewegung mit Gassenwechsel erlaubt der Einsatz eines virtuellen Kommissionierfahrzeugs dem Kommissionierer, sich zweidimensional mit Gassenwechsel im Lager zu bewegen (s. Abbildung 4-1, rechts). Die Artikel werden in Palettenregalen bereitgestellt. Weiterhin erfolgt die Entnahme manuell und der abgeschlossene Kommissionierauftrag wird an einer zentralen Abgabestelle übergeben.

4.4 Anforderungen und Lastenheft

Basierend auf den ermittelten Einsatzszenarien werden grundlegende Anforderungen an das zu entwickelnde System erarbeitet und in einem Lastenheft aufgeführt (vgl. [VDI2519]). Das System wird in die Teilbereiche Hardware und Software aufgeteilt und entsprechende Anforderungen an die Komponenten gestellt (s. Abbildung 4-2). Wichtige Teilbereiche der Hardware sind die Visualisierungseinrichtung, die Interaktionsgeräte zur Fortbewegung und zum Greifen, sowie das Trackingsystem. Der Punkt Software beschreibt Aspekte wie bspw. die VR-Basissoftware, die 3D-Modellerstellung oder den Ablauf der VR-Kommissionierung. Da die Benutzerakzeptanz ein unerlässlicher Faktor ist, damit sich eine neue Technologie in der Praxis bewährt, werden überdies Anforderungen aus Sicht des Anwenders aufgenommen. Das Lastenheft mit Erläuterungen zu den einzelnen Punkten befindet sich im Anhang A dieses Forschungsberichts.

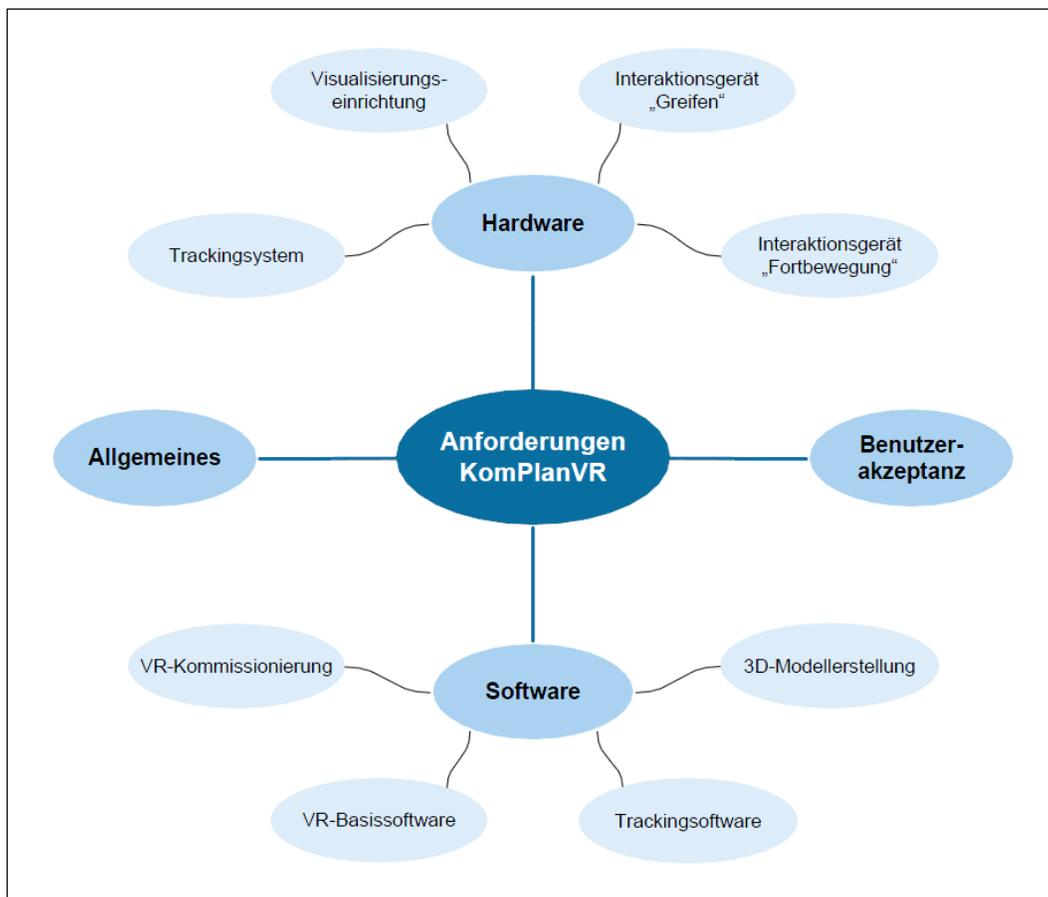


Abbildung 4-2: Einteilung der Anforderungen an KomPlanVR

5 Entwicklung einer Planungsmethodik

Unabhängig von den gewählten Einsatzszenarien soll zunächst ein allgemeiner, optimaler VR-unterstützter Planungsprozess definiert werden, der das System zur durchgängigen, kooperativen Kommissioniersystemplanung qualifiziert. Durch einen neutralen Planungsprozess ist es möglich, auch künftige, noch unerschlossene Szenarien durch Prozessanpassung abzubilden und in ein VR-Planungsportfolio zu integrieren. Auf Grundlage der definierten Einsatzfälle und deren Randbedingungen erfolgt im zweiten Teil dieses Abschnitts eine aufgabenspezifische Anpassung des allgemeinen VR-Planungsprozesses.

5.1 Allgemeiner VR-unterstützter Planungsprozess

Der Fachliteratur lassen sich verschiedene Ansätze zur Planung von Logistiksystemen entnehmen, die meist unterschiedliche Ziele verfolgen. Grundsätzlich können diese in folgende drei Gruppen klassifiziert werden. Allgemeine Planungsvorgehensweisen ohne Bezug zu Logistiksystemen, Methoden zur strategischen Logistikplanung und Ansätze zur operativen Planung der Logistik. Innerhalb dieses Forschungsvorhabens ist vor allem die operative Planung von Logistiksystemen von großem Interesse, da hierunter die Materialflussplanung und damit einhergehend die Ausgestaltung von Kommissionier- und Lagersystemen fallen [Arn-05]. Obwohl in der Literatur zahlreiche Planungsvorgehensweisen erwähnt werden, lässt sich der prinzipielle Ablauf einer Materialflussplanung stets in folgende vier Hauptphasen untergliedern:

- Vorarbeiten
- Grobplanung
- Feinplanung
- Realisierung

Mit Hilfe der Hauptphasen erfolgt die sukzessive Konkretisierung des geplanten Konzeptes, bei welcher die Ergebnisse einer Phase jeweils als Eingangsgröße in den darauf folgenden Planungsabschnitt einfließen. Es sei angemerkt, dass es sich bei dem Vorgehen nicht um einen sequentiellen Ablauf handelt. Vielmehr werden die einzelnen Phasen bei Bedarf wiederholt durchlaufen, wodurch sich auf den Gesamtprozess bezogen ein iterativer Prozess einstellt. Werden Entscheidungen einer vorausgehenden Phase als ungünstig oder fehlerhaft angesehen, können die Planungsstände dieser Phase erneut aufgenommen und korrigiert werden.

Nachfolgend wird anhand der jeweiligen Hauptphasen beschrieben, wie sich diese für gewöhnlich gestalten und in welcher Form ein derartiges Vorgehen auf die VR-gestützte Planung übertragbar ist. Als Ergebnis wird ein optimaler, VR-unterstützter Planungsprozess formuliert, welcher alle Prozessschritte von der Generierung eines dreidimensionalen VR-Simulationsmodells bis hin zur Absicherung bzw. Bewertung der Planung enthält.

Vorarbeiten

Bevor mit der eigentlichen Planung begonnen werden kann, ist es notwendig mittels einer Ist-Analyse alle Rahmenbedingungen hinreichend zu erfassen. Die Ist-Analyse erstreckt sich primär auf die Erhebung von Daten für die weiteren Planungsschritte, u.a. Materialflussprozesse und Daten des Förderguts (z.B. Artikelstrukturdaten). Basierend auf den Daten der Ist-Analyse wird anschließend mittels geeigneter Methoden (Prognosen, Trendberechnungen etc.) der gewünschte Soll-Zustand ermittelt. Im Hinblick auf einen VR-gestützten Planungsansatz liegt der Fokus vorwiegend auf der Visualisierung des Logistiksystems. Von Belangen sind daher Fragestellungen bezüglich der als 3D-Modell abzubildenden Funktionseinheiten, d.h. ob entsprechende Modelle bereits vorliegen, aus z.B. CAD-Systemen konvertiert oder von Grund auf neu erstellt werden müssen. Es ist hierbei zu berücksichtigen, dass das VR-System eine Echtzeitumgebung darstellt, weshalb auf eine effiziente Umsetzung der Modelle (v.a. im Hinblick auf deren Polygonanzahl) zu achten ist. Nur so kann für die späteren Planungsphasen ein reibungsloses Vorgehen gewährleistet werden. Nach Abschluss der Vorarbeiten kann in die nächste Hauptphase, der Grobplanung gewechselt werden.

Grobplanung

Die Grobplanung stellt den wichtigsten und kreativsten Arbeitsschritt der Materialflussplanung dar. Unterteilt in Struktur- und Systemplanung werden innerhalb dieser Planungsphase mehrere Lösungsalternativen, basierend auf den Soll-Daten, konzipiert und auf technische als auch wirtschaftliche Machbarkeit überprüft. Die Strukturplanung beinhaltet hierzu die Planung der Abläufe, die Festlegung von Transportbeziehungen und der Erstellung erster Layout-Varianten. Diese Varianten werden mit Hilfe von Methoden wie bspw. dem Dreiecksverfahren auf deren Eignung überprüft. Angewandt für die VR-Unterstützung wären innerhalb der Strukturplanung die ersten Layout-Varianten zu definieren und als VR-Modell abzubilden. Die Darstellung der Varianten würde im Zuge einer Gruppenpräsentation bspw. auf einer großen 3D-Projektion stattfinden. Die Teilnehmer können das VR-Modell begutachten und zusammen im Team etwaige Entscheidungen für nachfolgende Planungsschritte treffen.

Im Rahmen der Systemplanung findet eine qualitative Auswahl und Dimensionierung geeigneter Materialflussmittel, welche sich an den einzelnen Arbeitsschritten und Materialflussoperationen der entwickelten Strukturvarianten orientieren, statt. Basierend auf den bereits erarbeiteten Strukturvarianten werden von den in der Auswahl und Dimensionierungsphase als sinnvoll erachteten Systemvarianten Groblayouts erzeugt. Die Groblayouts enthalten neben Gebäudegrundrissen und -abmessungen, Lage und Größe von Funktionseinheiten sowie eine prinzipielle Darstellung der eingesetzten Transport- und Lagersysteme. Hinsichtlich der VR-Planung bedeutet dies die Integration und Platzierung von Platzhalterobjekten der Funktionseinheiten in einem VR-Modell. Das Groblayout kann hierdurch schon auf Aspekte wie z.B. eventuelle Kollisionen der Einheiten überprüft werden.

Feinplanung und Realisierung

Die Feinplanung bezeichnet den letzten Schritt des Planungsablaufs. Dabei werden die bisherigen Planungsdaten erneut überprüft, bei Bedarf ergänzt und weiter detailliert. Abschließend erfolgt die Erstellung von Ausschreibungsunterlagen zur Realisierung des Planungsvorhabens.

5 Entwicklung einer Planungsmethodik

Bezogen auf den VR-gestützten Planungsprozess findet in der Feinplanung vorwiegend die Detaillierung des Groblayouts statt. Die Platzhalterobjekte werden durch adäquate 3D-Modelle der Funktionseinheiten ersetzt, wodurch ein realitätsnahes Abbild der durchgeführten Planung zur Verfügung steht. Nach erfolgreicher Realisierung kommt die Virtual Reality Technologie ebenfalls zum Einsatz, im Rahmen hiervon dann zu Schulungszwecken, bspw. hinsichtlich der im System vorhandenen Prozessabläufe.

Abbildung 5-1 zeigt den, in Anlehnung an die vier Hauptphasen der operativen Planung, abgeleiteten allgemeinen, VR-gestützten Planungsprozess.

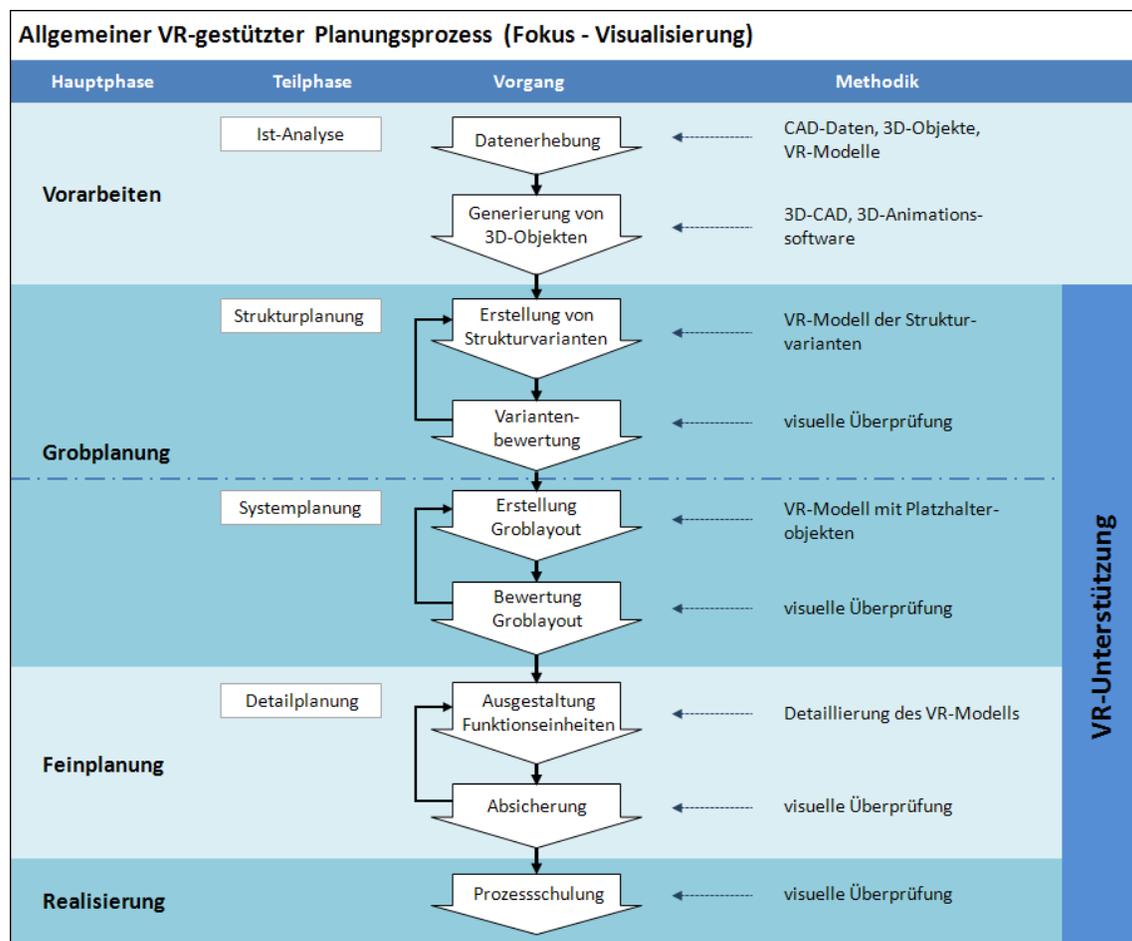


Abbildung 5-1: Allgemeiner VR-unterstützter Planungsprozess

5.2 Aufgabenspezifischer VR-unterstützter Planungsprozess

Ausgehend vom allgemeinen VR-unterstützten Planungsprozess wird dieser basierend auf die definierten Einsatzszenarien zum aufgabenspezifischen Planungsprozess erweitert. Als konkretes Anwendungsbeispiel soll hierzu die Planung eines manuellen Kommissioniersystems entsprechend der Merkmale von Szenario 1 gezeigt werden. Das Szenario sieht vor, den Kommissionierprozess in einer virtuellen Lagerumgebung mit Fachboden-, Paletten- oder Durchlaufregalen zu simulieren.

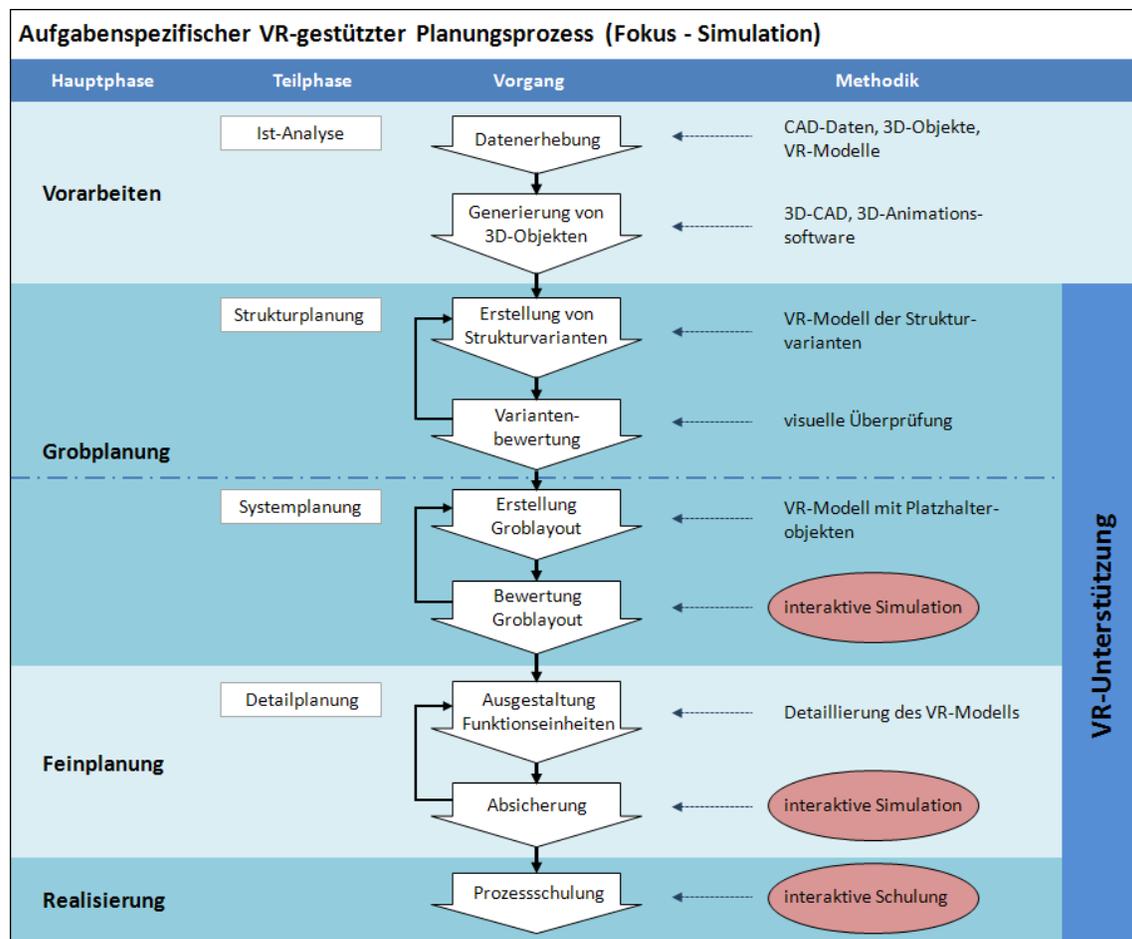


Abbildung 5-2: Aufgabenspezifischer VR-unterstützter Planungsprozess

Wie in Abbildung 5-2 zu erkennen ist, unterscheidet sich der modifizierte, aufgabenspezifische Prozess vom allgemeinen Planungsprozess lediglich in wenigen Punkten. Dies ist darin begründet, dass das aufgabenspezifische Vorgehen auf die glei-

chen Schritte basiert und diese sich ausschließlich in der Ausprägung der eingesetzten Methodik vom aufgabenneutralen Prozess unterscheiden. Lag der Fokus im allgemeinen Planungsprozess vorwiegend in der Bewertung mittels reiner Visualisierung, steht beim aufgabenspezifischen Prozess die Überprüfung der entwickelten Lösungen durch interaktive Simulation im Vordergrund. Hierbei wird verstanden, dass der Benutzer nicht nur die virtuelle Umgebung betrachtet, sondern vielmehr - entsprechende Gerätschaften vorausgesetzt - mit ihr optimal interagieren kann.

Für die vorliegende Aufgabe wäre innerhalb der Anfangsphase (Vorarbeiten) zuerst eine Datenbestandsaufnahme durchzuführen. Hiermit lässt sich bereits grob beurteilen, wie viel Aufwand für die spätere Bereitstellung der 3D-Modelle betrieben werden muss. Es gilt zu klären, welche Objekte schon vorhanden sind, aus CAD-Systemen abgeleitet, durch Extraktion von existierenden VR-Modellen früherer Planungen bereitstehen oder von Grund auf neu erstellt werden müssen. Anschließend werden erste Strukturvarianten generiert. Gängige Methoden aus der Praxis (z.B. Flussdiagramm, Sankey-Diagramm, Dreiecksverfahren etc.) erlauben hierzu eine zügige Vorgehensweise. Die konzipierten Varianten werden anschließend in einer virtuellen Begutachtung von mehreren Teilnehmern auf deren Eignung hin überprüft und die vielversprechendste Lösung für die weiteren Planungsschritte bestimmt. Basierend auf die gewählte Strukturvariante folgt die Erstellung eines ersten Groblayouts. Durch den Einsatz von Platzhalterobjekten (z.B. Quader für Fachbodenregal) lässt sich dieses mit wenig Aufwand und Erfahrung im Umgang mit entsprechenden Werkzeugen umsetzen. Sobald das Groblayout definiert ist, folgt eine erste, interaktive Bewertung. Indem der Benutzer das Layout „durchläuft“ können bereits grundlegende Erkenntnisse z.B. hinsichtlich der vorhandenen Laufwege gewonnen werden. Greifraumanalysen ermöglichen es zudem, eine gewisse Vorauswahl hinsichtlich der physischen Abmessungen der Fachbodenregale zu treffen. Nachdem das Groblayout feststeht, folgt der Wechsel in die nächste Planungsphase, der Feinplanung (Detailplanung). Hierin werden zu Beginn die Platzhalterobjekte durch detaillierte 3D-Modelle von – im vorliegenden Fall – Fachbodenregalen ersetzt. Mit dem Ziel, bereits erste Kommissioniervorgänge abzubilden, werden den Regalen greifbare Objekte hinterlegt und analog dazu beispielhafte Aufträge generiert. Durch Testläufe (virtuelle Kommissionierung) wird das gewählte Konzept evaluiert und an-

schließlich bewertet. Liegt ein positives Ergebnis vor, gilt die Planung als abgeschlossen, andernfalls bedarf es einer Überarbeitung der Planungsdaten sowie erneuter VR-gestützter Simulationsläufe.

Der VR-gestützte Planungsprozess sieht überdies vor, nachdem die Planung bereits realisiert wurde, die VR-Technologie als hilfreiches Instrument zum Mitarbeitertraining zur Verfügung zu stellen. Interaktive Schulungen erlauben es, z.B. neu anzulernende Kommissionierer auf die durchzuführenden Tätigkeiten - fernab des realen Kommissioniersystems - vorzubereiten, wodurch ein ununterbrochener Ablauf des eigentlichen Prozessgeschehens sichergestellt werden kann.

6 Effiziente 3D-Simulationsmodellerstellung

Neben der Definition einer Planungsmethodik ist auch die detaillierte Erarbeitung einer Vorgehensweise zur Modellerstellung bzw. einer Modellierungstechnik notwendig. Erst ein richtig implementiertes, dreidimensionales Virtual Reality Simulationsmodell ermöglicht eine realistische Untersuchung und Bewertung von Kommissioniersystemen. Die Frage, die sich hier in erster Linie stellt, lautet: Wie schafft man den Sprung von der Realität in die virtuelle Abbildung?

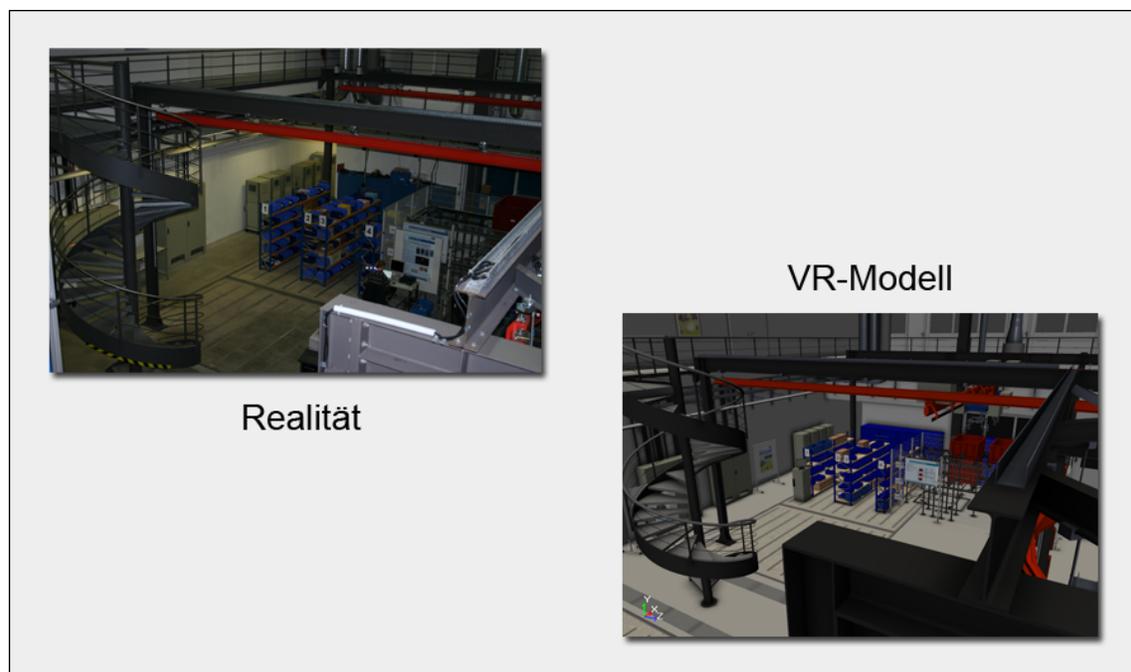


Abbildung 6-1: Vergleich Versuchshalle – Foto vs. VR-Modell

6.1 Erstellung von 3D-Modellen

Das 3D-Modell stellt den zentralen Mittelpunkt einer jeden VR-Anwendung dar – ohne 3D-Modell gäbe es keine Visualisierung. Der Wunsch des Benutzers ist es, möglichst ohne großen Aufwand, akzeptable Modelle für die Ansicht in der virtuellen Umgebung bereitzustellen.

Zur Generierung eines dreidimensionalen Modells können grundsätzlich verschiedene Ansätze herangezogen werden. Die einfachste Möglichkeit besteht darin, die be-

nötigten Dateien direkt vom jeweiligen Hersteller zu beziehen. Viele Hersteller sind zur Konstruktion ihrer Bauteile bereits auf CAD-Systeme umgestiegen, wodurch 3D-Objekte wie z.B. Fachbodenregale bereits in digitaler Form bereitliegen. Begründet durch die in nativen CAD-Daten enthaltene Konstruktionshistorie bzw. generell der Preisgabe evtl. firmeninterner Informationen sind diese meist jedoch nicht dazu bereit, diese offenzulegen. Des Weiteren sind aus CAD-Systemen abgeleitete Modelle für den Einsatz in VR-Systemen oft nur bedingt einsatzfähig, da sich aufgrund der relativ hohen und somit rechenintensiven Polygonzahl der Modelle die Forderung nach Echtzeitfähigkeit nur schwer umsetzen lässt.

Neben dem Einsatz von CAD-Systemen kann die Erstellung von Modellen mit Hilfe einer 3D-Animationssoftware durchgeführt werden. Der Markt bietet in diesem Bereich mittlerweile eine Fülle von kommerziellen als auch frei erhältlichen Produkten. Vorwiegend für den Bereich Film- und Fernsehen gedacht, sind derartige Modellierungswerkzeuge im Stande, praktisch jedes erdenkliche Objekt oder ganze Umgebungen als fotorealistisches 3D-Modell zu generieren – lediglich die Kreativität des Anwenders und das vorhandene Wissen im Umgang mit der Software zeigt die Grenzen des Machbaren auf.

Innerhalb des Forschungsvorhabens wurde zur Erstellung der benötigten Modelle vorwiegend auf das kommerzielle 3D-Softwarepaket Autodesk Maya zurückgegriffen. Maya ist ein 3D-Modellierungs- und Animations-Softwarepaket, welches durch die Firma Alias Systems Corporation entwickelt wurde und mittlerweile durch Autodesk als Teil des Medien- und Unterhaltungsbereichs vertrieben wird [Aut-10].

6.2 3D-Modell – Basiskonfiguration

Im Zuge einer schnellen und effizienten Vorgehensweise, werden die zur Simulation benötigten 3D-Modelle mit Hilfe eines zweistufigen Prozesses erstellt. Das Prinzip sieht vor, ein fest definiertes Grundsetup zu generieren, welches die zur Abbildung des virtuellen Kommissioniervorgangs essentiellen 3D-Objekte enthält. Dieses wird in einem darauffolgenden Schritt durch weitere Objekte, wie bspw. unterschiedliche Regaltypen oder die greifbaren Pickobjekte vervollständigt.

Für das Basismodell wurden folgende, unerlässliche Objekte gewählt:

- Virtuelle Hand
- Kommissionierliste und Ablagefläche
- Start-/Stopp-Terminal
- Kommissionierfahrzeug

3D-Modell – Hand

Der Einsatz eines 3D-Modells der Hand verfolgt zwei Ziele. In erster Linie wird der Benutzer darüber informiert, an welcher Position in der virtuellen Umgebung seine reale Hand sich aktuell befindet. Nur wenn der Anwender „sieht“, dass sich durch seine realen Eingaben synchron dazu im Virtuellen etwas ändert, kann eine intuitive Interaktion garantiert werden.

Für den Simulator weitaus wichtiger ist das Handmodell, respektive dessen Position und Orientierung hinsichtlich der Kollisionsberechnung beim Greifvorgang. Die Kollision wird durch einen Vergleich der Positionsdaten der Hand und den greifbaren Objekten berechnet. Mit Hilfe des virtuellen Modells kann zu jedem Zeitpunkt vom Kollisionsalgorithmus dessen Lage erfragt und zur weiteren Berechnung genutzt werden.

Das Modell wurde entsprechend des realen Vorbilds in seiner Funktionsfähigkeit nahezu 1 zu 1 nachgebildet. Die virtuelle Hand ist hierzu als Zusammenstellung zahlreicher, voneinander unabhängig steuerbarer Unterobjekte (Handfläche, Finger) aufgebaut. Abbildung 6-2 zeigt im linken Teil die Repräsentation des Handmodells im Szenegraphen. Das Modell ist hierarchisch aufgebaut, an oberster Stelle die Handfläche, darunter die einzelnen Finger. Vor allem in Bezug auf die Ausrichtung der Finger spielt die hierarchische Anordnung eine wichtige Rolle. Aufgrund der Abhängigkeit des Kind-Knotens zum darüber liegenden Eltern-Knoten reicht es aus, lediglich auf Basis der lokalen Koordinatensysteme die Fingerelemente zu drehen. Abbildung 6-2 zeigt im rechten Teil die Veranschaulichung des Prinzips. Das Beispiel zeigt die lokale Drehung der einzelnen Elemente des Zeigefingers um jeweils 60° , was sich in einer vollständigen Beugung des Fingers bemerkbar macht.

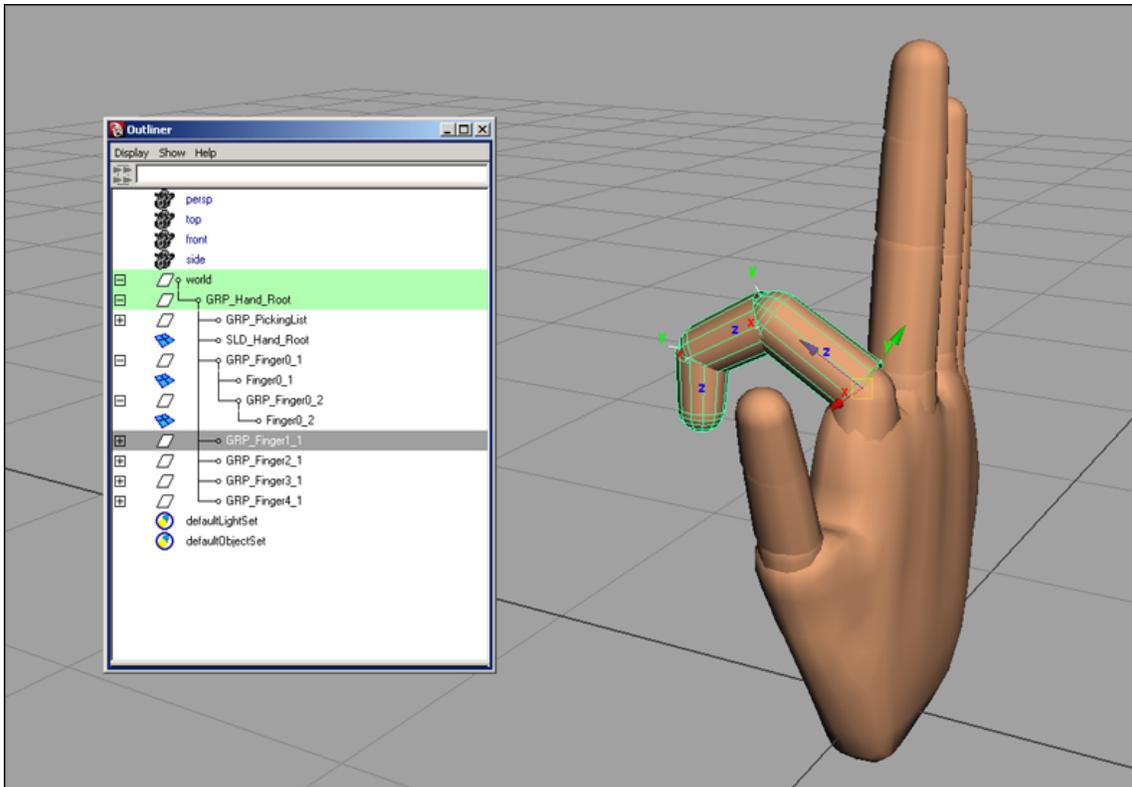


Abbildung 6-2: Aufbau des 3D-Modells der Hand

Damit die Bestandteile der Hand gezielt vom System angesprochen werden können, bedarf es einer festen Namenskonvention. Hierzu wurden z.B. die Fingerelemente mit den Bezeichnungen „Finger_1_2“ versehen. Die Indizierung startet mit dem Wert „0“. Der erste Index definiert den jeweiligen Finger, letzterer gibt Auskunft über das jeweilige Fingerglied. Im vorliegenden Fall würde die Benennung der Fingerspitze des Zeigefingers entsprechen.

3D-Modell – Kommissionierliste und Ablagefläche

Der Benutzer muss eine Möglichkeit besitzen, jederzeit Informationen über den zu kommissionierenden Artikel einzuholen. Denkbar wäre in erster Linie der Einsatz einer realen Liste in Papierform. Aufgrund der Möglichkeiten, welche die VR-Software bietet, wurde die Kommissionierliste jedoch ebenfalls als 3D-Modell abgebildet. Hierzu wurde lediglich ein quaderförmiges Objekt erzeugt, welches mit einer Textur des aktuellen Auftrags behaftet ist. Als Textur dient eine in Microsoft Excel angefertigte und als Bilddatei exportierte Kommissionierliste. Diese enthält Informationen

bezüglich des zu pickenden Artikels, der geforderten Entnahmemenge und der Position im Lager (s. Abbildung 6-3).

Pos	Lagerplatz	Bezeichnung	Entnahmemenge
1	1D06	Edding 435104	1
2	1D12	Scheibe 5290211058	2
3	2B13	Scheibe 5201258848	1
4	4B13	Sechskantmutter 520439101	1
5	3D08	Schraube 340590020	1

Abbildung 6-3: Virtuelle Kommissionierliste

Damit die virtuelle Kommissionierliste praktisch jederzeit „zur Hand“ ist, wurde das schon im Teilabschnitt der 3D-Hand erwähnte Prinzip der Hierarchie – im weiteren Sinne des Parent-Child-Prinzips – angewendet. Die Kommissionierliste ist als ein der Hand untergeordneter Knoten gelistet. Dadurch ist es möglich, auf eine explizite Transformation der 3D-Liste zu verzichten, vielmehr wird das Objekt automatisch entsprechend der Hand in der virtuellen Welt platziert.

Nachdem der Greifvorgang abgeschlossen ist, wird der gepickte Artikel gewöhnlich auf einem Kommissionierwagen oder bei Fahrzeugunterstützung auf einer mitgeführten Palette abgelegt. Das zusätzliche Modell eines Kommissionierwagens würde durch seine großen Ausmaße das Sichtfeld des Benutzers unweigerlich stark einschränken. Aufgrund dieser Tatsache wurde von der Erstellung und Integration eines vollständigen Wagens abgesehen und die Ablagemöglichkeit lediglich durch ein Abbild eines der Einlegeböden realisiert (s. Abbildung 6-4). Gleichzeitig kann durch dieses Vorgehen die Ablagefläche für jedes der zwei Szenarien wiederverwendet werden (z.B. Szenario 2, Ablagefläche auf Palette platzieren), wodurch auf unterschiedlich gestaltete Versionen der Ablageeinrichtung verzichtet werden kann.

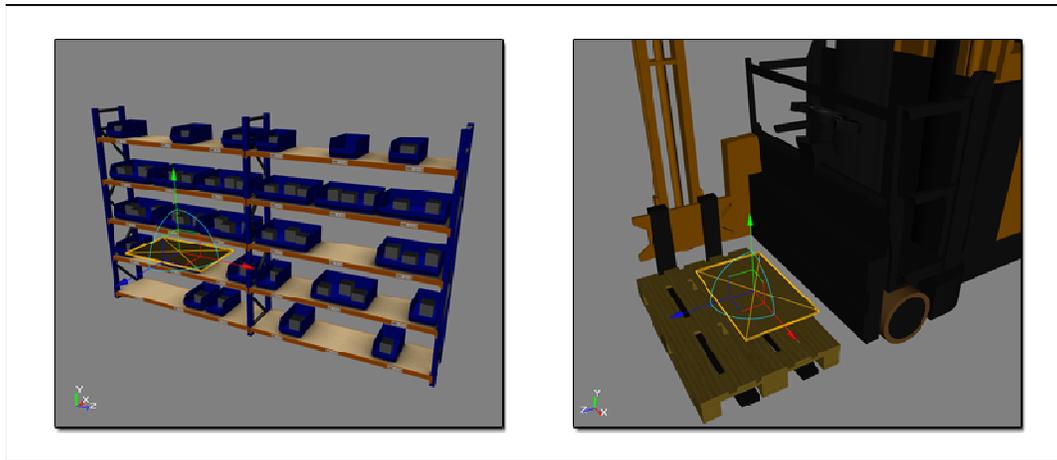


Abbildung 6-4: 3D-Modell – Ablagefläche

3D-Modell – Start-/Stopp-Terminal

Bevor der Kommissionierer seinen Auftrag abarbeiten kann, muss dieser erst von ihm in Empfang genommen werden. Üblicherweise stehen hierfür Auftragsterminals zur Verfügung. Hinsichtlich des virtuellen Kommissioniervorgangs wird das Auftrags-terminal durch das Modell eines Computerbildschirms repräsentiert (s. Abbildung 6-5). Sobald eine Kollision zwischen der virtuellen Hand und des Bildschirmpanels vorliegt, wird der Auftrag zugeteilt, gleichzeitig startet im Hintergrund die zur Simulationsauswertung notwendige Zeitaufnahme.

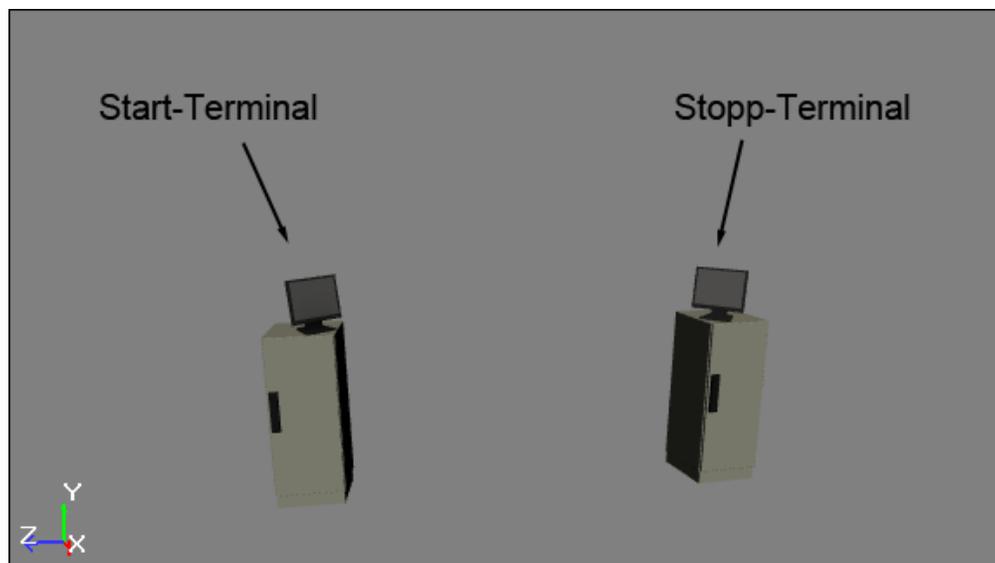


Abbildung 6-5: Start-/ und Stopp-Terminal

Nachdem der Auftrag abgeschlossen wurde, bedarf es erneut einem Ereignis, diesen Umstand dem System mitzuteilen. Ähnlich dem Auftragsterminals wird auch hierfür das Abbild eines Monitors verwendet. Wird die Kollision mit der Hand registriert, gilt der Auftrag als beendet und die Zeitauswertung stoppt.

3D-Modell – Vertikalkommissionierer

Für die Abbildung des Kommissioniervorgangs mit mechanischer Fortbewegung wird für Szenario 2 zusätzlich noch ein adäquates Fahrzeug benötigt. Hierfür wurde in Anlehnung an gängige Beispiele von Flurförderzeugen ein entsprechendes 3D-Modell generiert (s. Abbildung 6-6).



Abbildung 6-6: 3D-Modell – Vertikalkommissionierer

Es wurde bewusst ein Hochregalstapler gewählt, da dieser Typ Fahrzeug über eine frei bewegliche Palettenaufnahme verfügt. Sollte eine spätere Modifikation des Demonstrators es erfordern, Ein- und Auslagervorgänge von kompletten Paletten zu simulieren, kann das 3D-Modell somit problemlos weiterverwendet werden.

Kollisionsobjekte

Alle kollisionsfähigen Objekte – ausgenommen der greifbaren Artikel - wurden zudem noch mit separaten Kollisionsobjekten ausgestattet (s. Abbildung 6-7). Diese

dienen neben der Visualisierung der Kollisionsvolumina der Modifikation der unterschiedlichen Abstandsbedingungen zur Kollisionsüberprüfung.

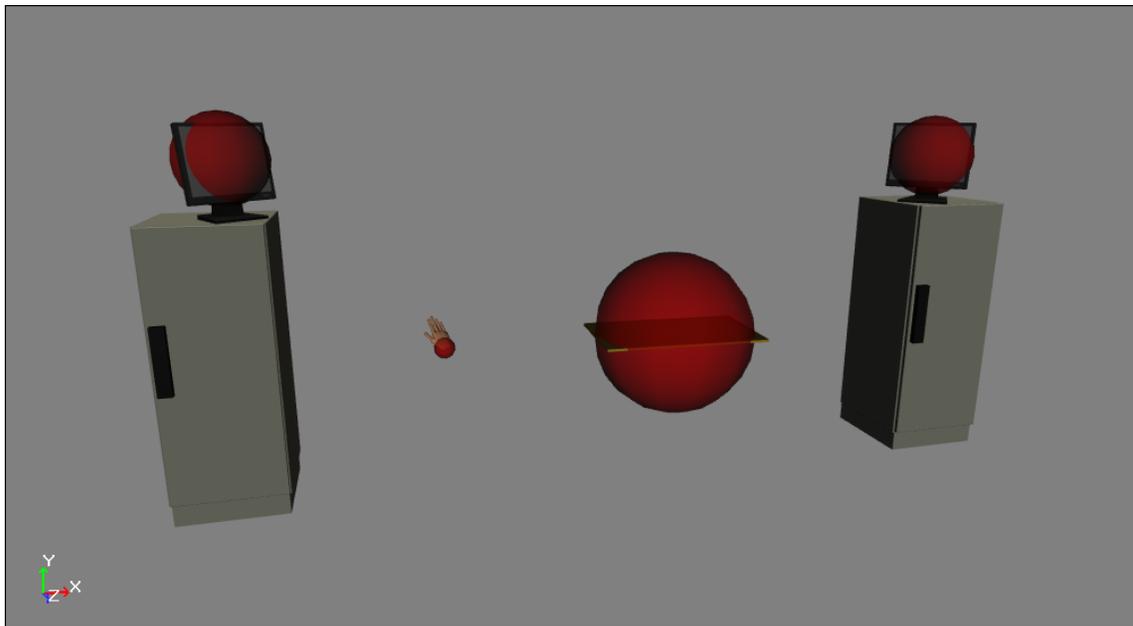


Abbildung 6-7: Objekte mit zusätzlicher Kollisionsvisualisierung

6.3 Erweiterung zum 3D-Kommissioniersystem

Das eben erläuterte „Grundsetup“ an 3D-Objekten bildet eine solide Ausgangsbasis für ein optimales 3D-Simulationsmodell. Im nächsten Schritt gilt es nun diese erste Zusammenstellung durch geeignete Funktionseinheiten (z.B. Regalsysteme) bzw. der greifbaren Artikel zum vollständigen virtuellen Kommissioniersystem zu erweitern. In Hinblick auf die Vervollständigung werden zwei Kategorien von Objekten definiert. Statische Elemente, welche keinerlei logischer Verbindung zum Simulationskern aufweisen und vorwiegend Visualisierungszwecken dienen und dynamische Elemente, welche entweder aktiv in die Simulation eingreifen bzw. durch sie beeinflusst werden.

6.3.1 Statische Elemente

Im Zuge des Forschungsvorhabens wurde zur quasiautomatischen 3D-Modellerstellung eine entsprechende Benutzerschnittstelle zum Programm Autodesk

Maya implementiert. Das Werkzeug erlaubt es mittels verschiedener Parametereingaben durch den Anwender unterschiedlichste 3D-Modelle von Anlagenkomponenten aus dem Bereich Förder- und Lagertechnik schnell und unkompliziert zu generieren.

Die grafische Benutzeroberfläche des Plug-Ins gliedert sich in insgesamt drei separate Teilbereiche. Auswahl-Oberfläche (Auswahl-UI), Parameter-Oberfläche (Parameter-UI) und eine Werkzeugleiste (s. Abbildung 6-8).

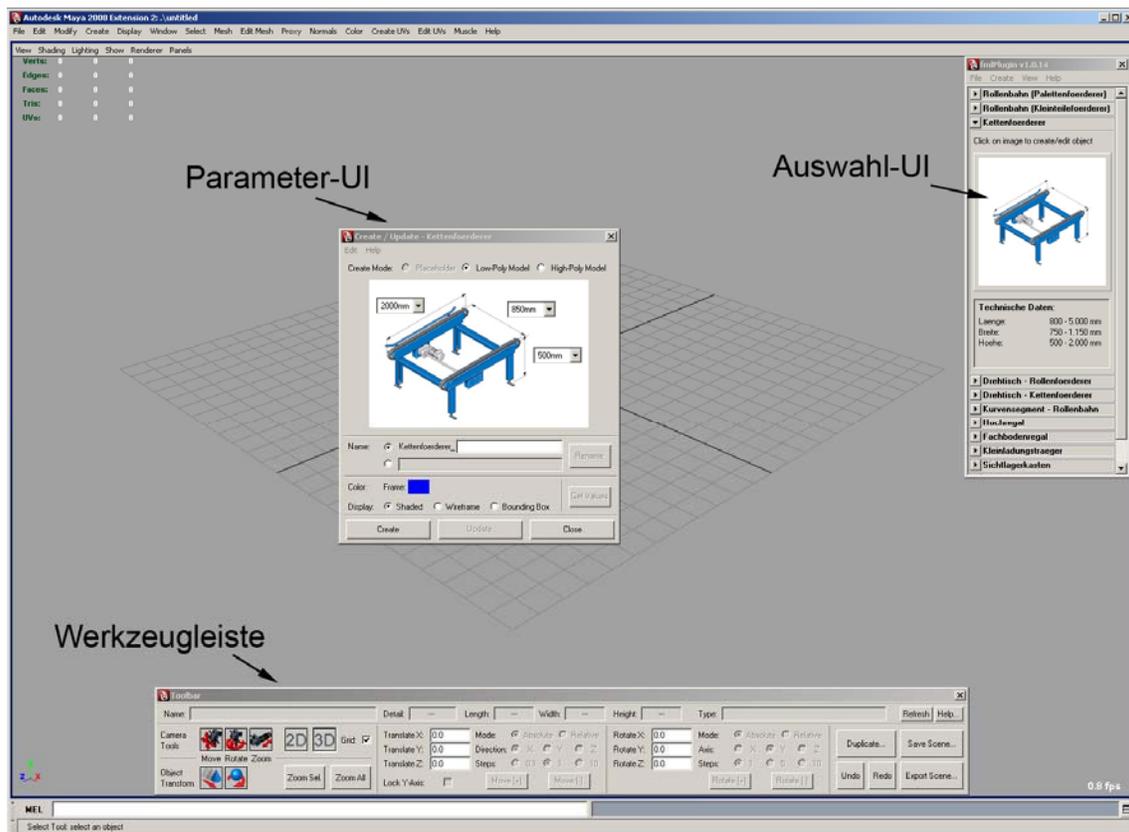


Abbildung 6-8: Graphische Benutzeroberflächen des Plug-Ins

Das Auswahlfenster (Auswahl-UI) ist das zentrale Element des Plug-Ins. Integriert als Teil der Maya-Benutzeroberfläche kann der Benutzer darin eine Vorauswahl des zu erstellenden Objektes treffen. Die einzelnen Komponenten sind separiert durch aufklappbare Untermenüs. Sobald eine Kategorie ausgewählt wurde, öffnet sich das zugehörige Untermenü. Dieses enthält eine Vorschau und objektspezifische technische Beschreibungen.

6 Effiziente 3D-Simulationsmodellerstellung

Die Erstellung der zur Verfügung stehenden Objekttypen erfolgt für jede Kategorie auf die gleiche Weise. Zuerst wird der grundlegende Objekttyp ausgewählt. Im sich darauf öffnenden Parameterfenster können anschließend für jeden Objekttyp die dynamisch konfigurierenden Parameter eingestellt werden. Wie Abbildung 6-9 zu entnehmen ist, sind diese nicht beliebig einstellbar, vielmehr erhält der Benutzer eine Auswahl vordefinierter Werte – einstellbar mittels so genannter Combobox-Elementen. Dies ist einerseits darin begründet, dass der Anwender somit auf etwaige Tastatureingaben verzichten kann und die Modifikation ausschließlich mit der Maus steuert, andererseits ergeben sich bei vordefinierten Werten erhebliche Vorteile hinsichtlich der Berechnung des zu Grunde liegenden Makroskripts (z.B. Platzierung der einzelnen Ebenen bei Hoch- bzw. Fachbodenregalen).

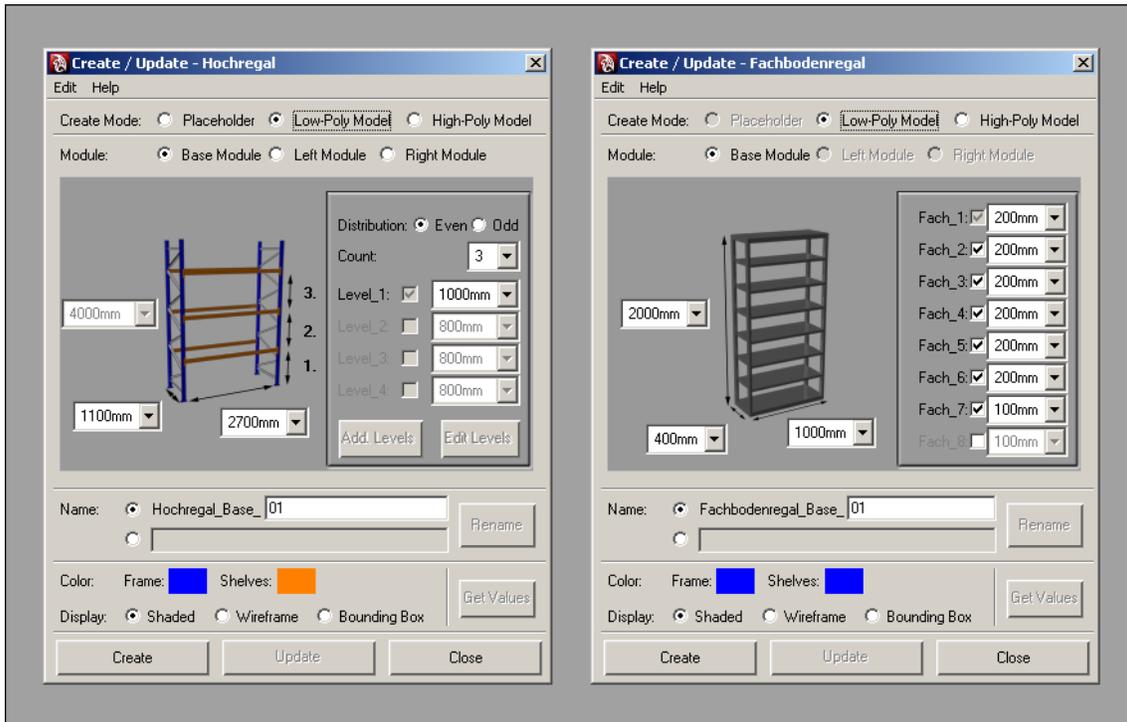


Abbildung 6-9: Parameterfenster – Hochregal und Fachbodenregal

Eine zusätzliche Werkzeugleiste (s. Abbildung 6-10) ermöglicht es dem Benutzer, auf verschiedene Funktionen bezüglich der Interaktion mit den erstellten Objekten zurückzugreifen. Folgende Funktionen sind darin enthalten:

- Information über das aktuell ausgewählte Objekt
- Navigieren in der Szene

- Zoom – Objekt bzw. Szene
- Wechsel zwischen 2D- und 3D-Ansicht
- Verschieben von Objekten
- Rotieren von Objekten
- Kopierfunktion
- Undo-/Redo-Funktion
- Speichern der Szene
- Datelexport

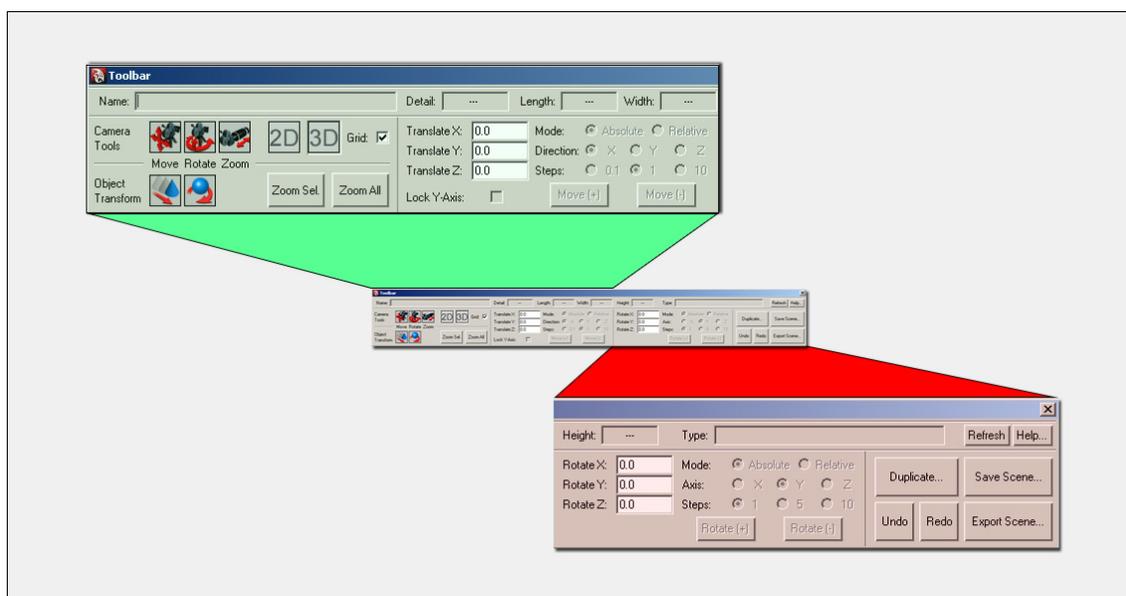


Abbildung 6-10: Werkzeugeleiste des Plug-Ins

Mit dem Ziel, die erstellten Modelle bzw. Szenarien auch außerhalb des Programms Maya in der VR-Umgebung nutzen zu können, bedarf es einer Möglichkeit, vom nativen Dateiformat (.ma Maya Ascii oder .mb Maya Binary) die Szenen mittels Dateieports in ein quasi universelles Format zu konvertieren. In Bezug auf Funktionalität und Dateigröße hat sich das weit verbreitete Austauschformat VRML bewährt. Dabei handelt es sich um eine Beschreibungssprache für 3D-Szenen, deren Geometrie, Ausleuchtungen, Animationen und Interaktionsmöglichkeiten ([Ame-97], [Däb-99]). Zusätzlich erlaubt es die Schnittstelle „RTT DirectMaya“ der eingesetzten VR-Software DeltaGen, erstellte 3D-Modelle bidirektional zwischen den beiden Programmen auszutauschen. Dies ist vor allem dann äußerst vorteilhaft, sobald Ände-

rungen in der Virtuellen Umgebung vorgenommen wurden und zur weiteren Bearbeitung das Programm Maya verwendet werden muss. Ausgehend von der VRML-Datei ist der Import zurück in das 3D-Softwarepaket nur mit erheblichen qualitativen Einbußen im 3D-Modell realisierbar.

6.3.2 Dynamische Objekte

In einem letzten Schritt werden dem 3D-Modell noch die zu kommissionierenden Artikel hinzugefügt. Aufgrund ihrer starken Verbundenheit zum Simulationskern (Greifprozess) wäre die logische Konsequenz, diese eigentlich im Basissetup zu integrieren. Da die Anzahl der eingesetzten und im Lager verteilten Artikel von Variante zu Variante jedoch stark variieren kann, werden die Pickobjekte in einem eigenständigen Prozess dem Simulationsmodell hinzugefügt. Aus Gründen der leistungseffizienten Berechnung, einerseits zur Darstellung, andererseits zur Überprüfung der Kollision mit der virtuellen Hand, werden die Pickobjekte mit Hilfe einer einfachen Würfelgeometrie mit 10 cm Kantenlänge repräsentiert.

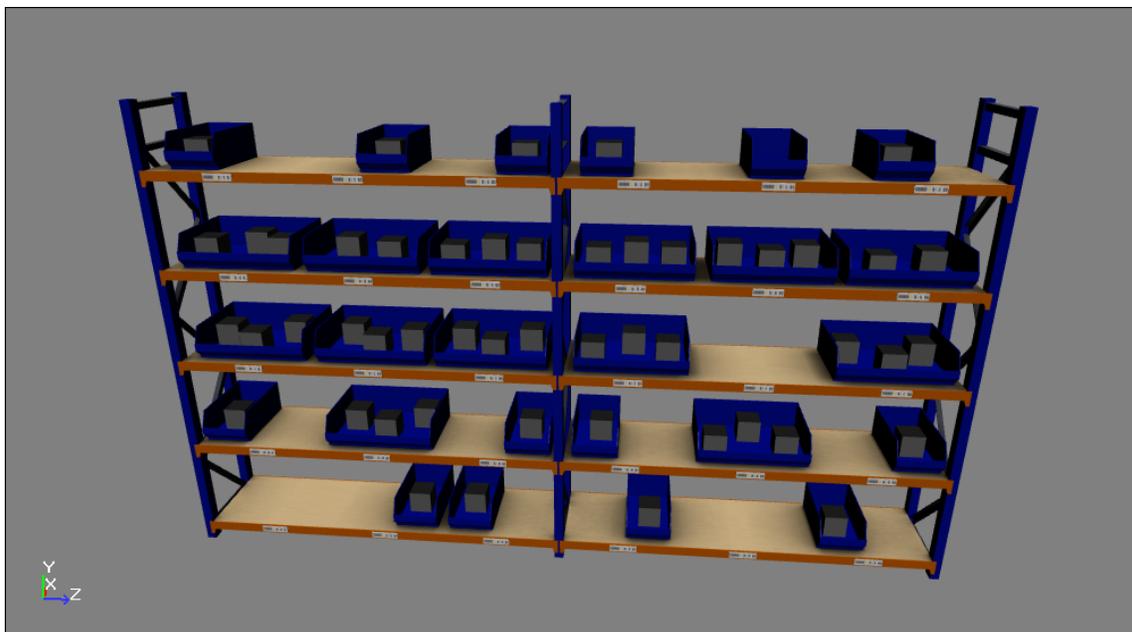


Abbildung 6-11: Greifbare Objekte verteilt auf Fachbodenregal

7 Entwicklung eines Bewertungsschemas

Aus einem virtuellen Simulationsmodell ist es möglich, eine Unmenge an Informationen zu gewinnen. Diese Flut an Informationen muss dem Menschen zugänglich gemacht und in ein für ihn einfaches, verständliches Bewertungsschema gebracht werden.

7.1 Kennzahlen zur Leistungsbewertung

Bevor ein optimales Bewertungsschema entwickelt und umgesetzt werden kann, gilt es vorab entscheidende Bewertungsaspekte genauer aufzuschlüsseln. Im Hinblick auf die Bewertung des virtuellen Kommissioniervorgangs bzw. der zu evaluierenden Planungsvariante werden neben der Kommissionierleistung und evtl. auftretender Kommissionierfehler vorwiegend die Zeitanteile der benötigten Kommissionierzeit betrachtet. Sie ermöglichen erste Aussagen bezüglich der optimalen Platzierung von Funktionseinheiten, Neugestaltung von Laufwegen sowie einer evtl. erforderlichen Umverteilung der Artikel im Lager. Die Aufnahme ergonomischer Aspekte war zu Beginn des Projektes angedacht, wurde jedoch aufgrund der komplexen Umsetzung (z.B. Motion-Capture-System) und nachfolgenden Auswertung der Bewegungsanalyse wieder verworfen.

7.1.1 Kommissionierzeit

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

Basiszeit

Die Basiszeit ist die Zeit, mit welcher sich der Kommissionierer vor Beginn und nach Abschluss einer Kommissionierumdrehung an der Basis aufhält. Die Basiszeit umfasst die Übernahme des Auftrags, das Holen des Kommissionierbehälters, die Abgabe von Ware und Kommissionierbehälters etc. Die Basiszeit wird vorwiegend vom ein-

gesetzten Informationssystem beeinflusst. Der Zeitaufwand ist abhängig vom gewählten Kommissionierverfahren, darüber hinaus von der eingesetzten Kommissioniertechnik. Zur Basiszeit werden des Weiteren die Übernahme leerer Sammel- und Versandbehälter und die Abgabe der gefüllten Behälter gezählt [Gud-05].

Wegzeit

Die Wegzeit ist die Zeit, welche der Kommissionierer zwischen der Bewegung von der Annahmestelle über die Entnahmeorte bis hin zur Abgabestelle benötigt. Sie ist in erster Linie abhängig von der Ablauforganisation und der Kommissionierfront, d.h. von den Bereitstelltechniken und -mitteln. Die Wegzeit bestimmt mit 50 bis 70% am stärksten die Kosten der Kommissionierung [Vog-97]. Es können Geschwindigkeiten von 1,0 bis 1,4 m/s bei manueller Fortbewegung und 0,7 bis 2,5 m/s bei Einsatz eines Kommissionierfahrzeugs angenommen werden. Ab 20 m Laufweg wird die Unterstützung durch ein Flurförderzeug empfohlen, bei Regalhöhen ab 1,8 m ist ein derartiges Fahrzeug hingegen erforderlich [Vog-97]. Eine Reduzierung der Wegzeit kann neben einer optimierten Einlagerungslogistik (Zonenbildung nach z.B. Umschlagshäufigkeit), der gleichzeitigen Bearbeitung mehrerer Aufträge und durch eine Wegoptimierung erzielt werden.

Greifzeit

Die Greifzeit definiert diejenige Zeit, welche für den physischen Vorgang von der Entnahme bis zur Ablage der Entnahmemenge benötigt wird [Gud-05]. Wesentlicher Einflussfaktor der Greifzeit sind neben der Ablauforganisation (Artikel- oder Auftragsorientiertes Kommissionieren) die räumlichen Einflussfaktoren des Entnahmeplatzes, d.h. minimale/maximale Greifhöhe, Greiftiefe, Ablagewinkel, Ablageentfernung etc. Da die Greifzeit nur den physischen Vorgang des Greifens beschreibt, ist sie unabhängig von der gewählten Kommissioniertechnologie.

Totzeit

Die Totzeit umfasst alle nicht wertschöpfenden Prozessschritte, d.h. es wird keine äußerliche Veränderung an den Waren vorgenommen. Die Totzeit beschreibt Vorgänge wie z.B. Lesen, Aufreißen von Verpackungen, Suchen und Identifizieren, Kon-

trollieren, Belegarbeiten etc. Die Totzeit variiert vor allem vom eingesetzten Informationssystem. Ein Grund dafür sind die bei manueller Kommissionierung einhergehenden Informationsaufnahme- und -verarbeitungsvorgänge der menschlichen Sinnesorgane.

7.1.2 Kommissionierleistung

Die Leistung eines Kommissioniersystems lässt sich unter Zuhilfenahme verschiedener Bezugsgrößen auf unterschiedliche Weisen berechnen [Gud-05]. Typischerweise bezieht sich die Kommissionierleistung auf die Anzahl der abgearbeiteten Positionen durch einen Kommissionierer innerhalb einer festgelegten Zeiteinheit. Formel 7-1 zeigt die Berechnung der Kommissionierleistung bezogen auf eine Stunde.

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

Formel 7-1: Kommissionierleistung [Pos/h]

Darüber hinaus beeinflussen weitere Größen wie bspw. die Verfügbarkeit und die Auslastung der Kommissionierer die Leistung eines Kommissioniersystems. Für die Verfügbarkeit menschlicher Kommissionierer können Erfahrungswerte herangezogen werden, welche sich an den Arbeitsbedingungen und der Belastung orientieren [Gud-05]. Bei kurzen Versuchsreihen herrschen optimale Arbeitsbedingungen, die Belastung ist als sehr gering anzusehen. Diesbezüglich wird die Verfügbarkeit nicht weiter berücksichtigt und mit 100 % angenommen. Selbiges gilt für die Auslastung, da der Benutzer ausschließlich den Simulationslauf durchführt und nicht weiteren Aufgaben zugeteilt ist.

7.1.3 Kommissionierfehler

Einer der wichtigsten Gesichtspunkte bei der Kommissionierung ist die Vermeidung von Fehlern. Diese werden vor der Auslieferung der Ware meist nicht mehr erkannt und gelangen somit direkt zum Kunden. Dieser Umstand kann das Kunden-Lieferanten-Verhältnis – im weiteren Sinn das Vertrauen in dieser Beziehung – erheblich beeinträchtigen, weshalb die Anzahl der Kommissionierfehler gering zu halten ist. Die Fehlerrate liegt üblicherweise bei 3.000 bis 15.000 Fehlern pro einer Million Positionen, was 0,3 bis 1,5 % entspricht [Fis-94]. Tabelle 7-1 zeigt exemplarisch typische Fehlerraten für herkömmliche Kommissioniertechniken. Die durchschnittliche Fehlerrate liegt bei ca. 0,4 % - das erstrebenswerte Ziel der Null-Fehlerkommissionierung ist aber grundsätzlich nicht erreichbar [Gud-05].

Tabelle 7-1: Typische Fehlerraten für herkömmliche Kommissioniertechniken [Lol-03]

Informationsbereitstellung	Anzahl untersuchter Systeme	Durchschnittliche Fehlerwahrscheinlichkeit	Standardfehler
Pick-by-Voice	5	0.10 %	0.04 %
Beleg	38	0.35 %	0.04 %
Etiketten	7	0.37 %	0.17 %
Pick-by-Light	6	0.40 %	0.09 %
MDT mit Scanner	13	0.36 %	0.10 %
MDT ohne Scanner	6	0.69 %	0.19 %
MDT und Etiketten	5	0.94 %	0.60 %

Die Kommissionierfehlerquote lässt sich für einen Kommissionierer entsprechend Formel 7-2 berechnen:

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

Formel 7-2: Berechnung der Fehlerquote für einen Kommissionierer

Kommissionierfehler lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten klassifizieren und treten hierbei mit unterschiedlicher Häufigkeit auf ([Dul-05], [Lol-03]):

- Typfehler (37 – 42 %): falscher Artikel
- Mengenfehler (44 – 46 %): zu viele oder zu wenige Artikel
- Auslassungsfehler (10 %): eine Position wurde übersprungen
- Zustandsfehler (4 – 7 %): Beschädigung, falsche Tätigkeit wurde am Artikel verrichtet (z.B. falsche Verpackung)

7.2 Programm zur Simulationsauswertung

Zur Auswertung der Simulationsläufe wurde ein eigenständiges, von der Simulationsplattform unabhängiges Modul implementiert. Dem Planer steht mit dem Programm ein leicht verständliches und intuitiv zu bedienendes Werkzeug zur Verfügung, mit dessen Hilfe er rasch die simulierten Systemvarianten hinsichtlich ihres Umsetzungspotenzials bewerten kann. Das Programm bedient sich seiner Daten in Form von XML-Dateien. Abbildung 7-1 zeigt hierfür exemplarisch die strukturierte Auflistung der Simulationsergebnisse mit Hilfe dieses Dateiformats.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<pickingEval_cfg>
  <scene scenario = "1" cameraSystem = "1">
    <order orderNumber = "1">
      ...
    </order>
    <order orderNumber = "2">
      <position number = "2-1" location = "1D06" count = "1">
        baseTime = "5740"
        deadTime = "6300"
        grabTime = "3200"
        walkTime = "3200"
        pickingErrors = "0"
        walkDistance = "1150"></position>
      <position number = "2-2" location = "1D12" count = "2">
        baseTime = "0"
        deadTime = "8500"
        grabTime = "7500"
        walkTime = "2400"
        pickingErrors = "0"
        walkDistance = "1070"></position>
      ...
    </order>
    <order orderNumber = "3">
      ...
    </order>
  </scene>
</pickingEval_cfg>

```

Abbildung 7-1: XML-Datei der Simulationsergebnisse

7 Entwicklung eines Bewertungsschemas

Die eigentliche Verwertung der Simulationsergebnisse läuft vollständig im Hintergrund ab, der Planer kommt lediglich mit der graphischen Oberfläche des Programms (s. Abbildung 7-2) in Verbindung. Diese kann grundsätzlich in vier Bereiche unterteilt werden. Im oberen linken Bereich des Programms werden die einzelnen Varianten sowie die während der Simulation abgearbeiteten Kommissionieraufträge angezeigt. Dazu erfordert es eingangs, die Simulationsergebnisse der zu bewertenden Variante in das Programm zu laden. Durch Betätigung der Schaltfläche „Load Simulation-Data“ wird eine neue Variantenauswertung aufgerufen und steht zur Beurteilung bereit. Mittels „Add Simulation Data“ können weitere Simulationsergebnisse hinzugefügt werden und ermöglichen so eine übergreifende Bewertung unterschiedlicher, simulierter Kommissioniersystemvarianten. Durch Klick der Schaltfläche „Remove selected Item“ werden zur Bewertung nicht mehr benötigte Systeme aus der Betrachtung herausgenommen. Ein Zurücksetzen in den Ausgangszustand (d.h. es sind keine Daten geladen) erfolgt durch „Clear Simulation-Data“.

Im linken unteren Teil findet der Planer ein Ansichtsfenster vor. Es zeigt einen Ausschnitt der gerade selektierten Variante. Bezüglich der Vorschau kann zwischen einer orthogonalen Draufsicht oder perspektiven Ansicht gewählt werden.

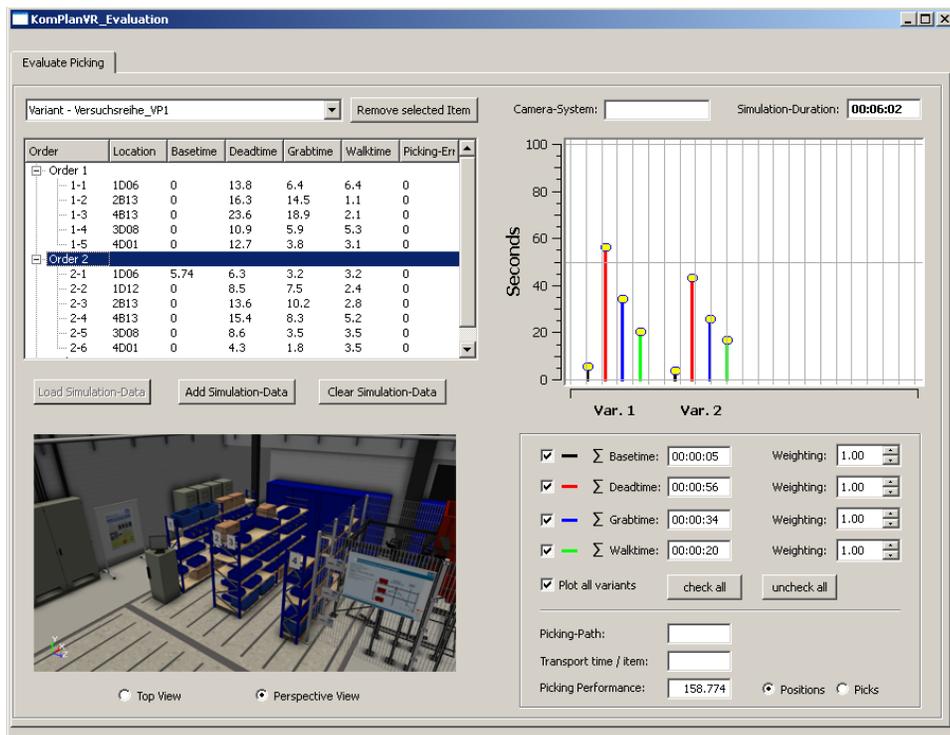


Abbildung 7-2: Bewertungsprogramm KomPlanVR

Im oberen rechten Teil der Benutzeroberfläche wird ein Diagrammbaustein dazu verwendet, um die unterschiedlichen Zeitaspekte optisch darzustellen. Entlang der Ordinate sind die ermittelten Zeiten ersichtlich, die Abszisse unterteilt die geladenen Varianten; gleichzeitig können bis zu vier unterschiedliche Systemvarianten gegenübergestellt werden.

Mit Hilfe des Funktionsblocks im unteren rechten Bereich des Auswerteprogramms können u.a. Modifikationen hinsichtlich der Darstellung im Diagrammbaustein getätigt werden. Checkboxen erlauben dem Anwender, bestimmte Zeitanteile aus- bzw. einzublenden. Dies ermöglicht es ihm, die Variantenbetrachtung nur hinsichtlich eines Aspekts bspw. auf Basis der Wegzeiten durchzuführen. Neben diesen Einstellmöglichkeiten werden überdies die jeweiligen Zeiten in numerischer Form dargestellt, ebenso wie die Information über die zurückgelegte Wegstrecke oder die Kommissionierleistung – Positionen oder Picks pro Stunde – bezogen auf die Simulationsdauer.

8 Recherche geeigneter Systemkomponenten

Die im Rahmen dieses Abschnitts zu tätigen Recherchen dienen der Ermittlung der für die Realisierung des geplanten Funktionsmusters geeigneten Hard- und Softwarekomponenten. Da der Lehrstuhl fml über eine entsprechende VR-Einrichtung verfügt, wurden nur noch jene Komponenten analysiert und ausgewählt, welche der Einrichtung hinzugefügt werden müssen oder eine verbesserte Umsetzung ermöglichen. Folgende Komponenten wurden untersucht:

- VR-Basissoftware mit wesentlichem Aspekt auf die Programmierschnittstelle zur Umsetzung spezifischer Funktionalitäten des Funktionsmusters
- Interaktionsgeräte

8.1 Virtual Reality-Basissoftware

Die Basissoftware übernimmt grundlegende Funktionalitäten eines VR-Systems und stellt dessen funktionalen Kern dar. Dabei handelt es sich um die Verarbeitung und Visualisierung dreidimensionaler Daten in Echtzeit unter Einbeziehung der Informationen des Positionserfassungssystems und der Interaktionsgeräte.

8.1.1 Anforderungen an die VR-Basissoftware

Bevor eine Auswahl der einzusetzenden Software getroffen werden kann, müssen vorab wichtige Anforderungen an diese festgelegt werden. Folgende Aspekte werden als essentiell erachtet:

Programmierschnittstelle

Wichtigste Anforderung an das auszuwählende Software-Paket ist die Möglichkeit einer Erweiterung durch ein passendes SDK. Der zu entwickelnde Demonstrator beschreibt unterschiedlichste Funktionalitäten, welche nicht im Standardumfang einer VR-Basissoftware enthalten sind und deshalb neu hinzugefügt werden müssen.

Realistische Darstellung

Überdies soll die Darstellung des virtuellen Lagers in einer realitätsnahen Form umgesetzt sein. Je höher der Realitätsgrad der abgebildeten Modelle ist, desto besser fühlt sich der Benutzer in die immersive Umgebung integriert.

Unterstützte Dateiformate

Die VR-Software sollte keine Probleme im Umgang mit unterschiedlichen Dateiformaten aufweisen. Die Verwendung von CAD-Dateien (Catia, Inventor, AutoCAD, etc.) sollte ebenso möglich sein, wie der Gebrauch von spezifischen Formaten aus 3D-Animationssoftware (3dsMax, Maya, etc.).

8.1.2 Softwareauswahl

Obwohl die Technologie Virtual Reality in manchen Branchen (v.a. Automobilbau) mittlerweile fester Bestandteil des Produktentstehungsprozesses ist, gibt es dennoch aktuell nur einige wenige Anbieter, welche sich der Entwicklung und Vermarktung entsprechender Softwarepakete zugeschrieben haben.

Angesichts einer Auswahl einer für das Forschungsvorhaben geeigneten VR-Basissoftware wurden folgende, kommerziell erhältliche Software-Pakete näher untersucht:

- RTT – DeltaGen Suite [Rtt-09]
- ICIDO – Visual Decision Platform (VDP) [Ici-09]
- Bitmanagement – BS Contact Stereo [Bit-09]
- Visenso – COVISE [Vis-09]

Nach einer Gegenüberstellung der eingangs definierten Anforderungen mit den Leistungsmerkmalen der recherchierten Applikationen fiel die Wahl auf das Software-Paket DeltaGen der RTT AG.

8.2 Interaktionsgeräte

Interaktionsgeräte stellen die Mensch-Maschine-Schnittstelle des VR-Systems dar. Mit Hilfe dieser Gerätschaften wird es dem Benutzer ermöglicht, dass seine in der realen Umgebung ausgeführten Steuerungs- und Bewegungseingaben ebenso in der Virtuellen Welt umgesetzt werden.

8.2.1 Anforderungen an die Interaktionsgeräte

Die Anforderungen hinsichtlich der Interaktionsgeräte beziehen sich für das Forschungsvorhaben vorwiegend auf die optimale Umsetzung der für den VR-Kommissionierungsvorgang abzubildenden Tätigkeiten – die Fortbewegung in der virtuellen Umgebung und das Greifen von Objekten.

Da sich die Geräte – neben ihrer grundlegenden Funktionsweise – teils stark voneinander unterscheiden, werden die Anforderungen an die Eingabetechnologien getrennt betrachtet.

Interaktionsgerät „Greifen“

- Das Interaktionsgerät wird vorwiegend für die Manipulation der virtuellen Kommissionierartikel genutzt. Damit eine intuitive Bedienung gewährleistet ist, sollte sich das Interaktionsgerät wenn möglich an den natürlichen Interaktionsmechanismen des Menschen (Greifen mit der Hand) orientieren.
- Die Integration des Geräts in die Simulationsumgebung sollte mit einem überschaubaren Implementierungsaufwand möglich sein.
- Die Genauigkeit in der Abbildung des Greifvorgangs sollte in Anlehnung an die zu pickenden Artikel (Würfel, 10 cm Kantenlänge) entsprechend vorhanden sein.
- Die Bewegungsfreiheit des Benutzers sollte nicht unnötig eingeschränkt werden.
- Zuletzt sollte der Kostenfaktor eine nicht unerhebliche Rolle spielen. Hierbei gilt es zu überlegen, ob die Kosten des Interaktionsgeräts und dessen bereitgestellte Funktionalität dem Kosten-Nutzen-Vergleich in positiver Form gerecht werden.

Interaktionsgerät „Fortbewegung“

- Das Gerät soll eine ebene, freie und realistische Fortbewegung unter Berücksichtigung des natürlichen Fortbewegungsmechanismus des Menschen (Gehen) erlauben.
- Während des Simulationslaufs soll eine funktionssichere Betriebsbereitschaft gewährleistet werden.
- Der Benutzer soll beim Gebrauch des Interaktionsgeräts nicht zusätzlicher Belastung ausgeliefert sein.
- Die Integration des Geräts in die Simulationsumgebung sollte mit einem überschaubaren Implementierungsaufwand möglich sein.
- Das Gerät soll kostengünstig in der Anschaffung und der Wartung sein.

8.2.2 Recherche verfügbarer Interaktionsgeräte

Es sind viele Geräte denkbar, welche eine generelle Interaktion mit einem VR-System erlauben. Die Auswahl an möglichen Interaktionsgeräten als Teil des zu entwickelnden Funktionsmusters wird jedoch bereits im Vorhinein durch den abzubildenden Kommissionierprozess stark eingeschränkt. Aus diesem Grund wurde bspw. von Spracheingabesystemen oder mausähnlichen Systemen von vornherein Abstand genommen. Die durchgeführte Recherche bezog sich vielmehr auf Gerätschaften, welche für ähnliche Einsatzzwecke bereits herangezogen wurden.

8.2.2.1 Interaktionsgerät „Greifen“

Im Folgenden werden Interaktionsgeräte – vorwiegend Datenhandschuhe – vorgestellt, welche für die Abbildung des Greifvorgangs während der VR-Kommissionierung in Frage kommen.

5DT – Data Glove

Die Firma 5DT hat mit dem Data Glove Ultra 5 eine preislich attraktive Lösung eines Datenhandschuhs im Portfolio. Das Modell Ultra 5 nutzt zur Messung der Fingerbeugung jeweils einen Lichtleitersensor pro Finger [5dt-10]. Abhängig davon, wie stark der jeweilige Finger gebeugt ist, wird entsprechend viel/wenig des ursprünglich

ausgesandten Lichts registriert. Zudem bietet der Hersteller den Data Glove Ultra 14 an. Dieser unterscheidet sich von der Ultra 5 Version lediglich im Umfang der verbauten Sensoren – bei dieser Variante sind 14 anstatt fünf Lichtleitersensoren zur Messung der Fingerbeugung am Handschuh angebracht. Standardmäßig sind beide Versionen kabelgebunden ausgeführt. Das optionale Zubehör 5DT Ultra Wireless Kit erlaubt es jedoch, beide Handschuhe mittels Bluetooth-Technologie mit dem PC zu verbinden. Hierbei ist jedoch abzuwägen, ob die dadurch erweiterte Bewegungsfreiheit den hohen Anschaffungskosten des Wireless Kits gerecht wird.



Abbildung 8-1: 5DT Data Glove / 5DT Ultra Wireless Kit [5dt-10]

CyberGlove II

Unter dem Namen CyberGlove II vertreibt CyberGlove Systems einen Datenhandschuh der besonderen Art. Mit sagenhaften 18 – in der High-End-Variante sogar 22 - Sensoren erlaubt es dieser Handschuh nahezu jede erdenkliche Bewegung der Hand zu registrieren. Beim CyberGlove II (18) sind neben den jeweils zwei für die Fingerbeugung (Adduktion) angebrachten Sensoren zusätzlich vier Abduktionssensoren (Abspreizen der Finger) und Sensoren am Daumenübergang, für die Handflächenwölbung, Handgelenksbeugung und Handgelenksabduktion verbaut [Cyb-10].



Abbildung 8-2: CyberGlove II [Cyb-10]

Als einziger der recherchierten Interaktionsgeräte (Greifen) bietet der CyberGlove II – entsprechende Anbauten vorausgesetzt – die Möglichkeit eines Force-Feedback-Effekts. Um diesen nutzen zu können, muss die Standardausführung um entsprechendes – ebenfalls von CyberGlove Systems erhältliches – Zubehör erweitert werden. Die zur Verfügung stehenden Anbauten ermöglichen entweder taktilen oder haptischen Feedback.

Ersteres sieht eine Anbringung von kleinen, mit Strom durchflossenen Aktorplättchen vor, welche bei einer Kollision mit virtuellen Objekten zum Schwingen angeregt werden und so das Gefühl einer realen Berührung hervorgerufen wird (CyberTouch, s. Abbildung 8-3 links).



Abbildung 8-3: CyberTouch / CyberGrasp [Cyb-10]

Mit Hilfe der Erweiterung um eine mechanische Konstruktion erhält der Anwender das so genannte CyberGrasp System (s. Abbildung 8-3 – rechts). Es kann Kräfte bis

maximal 12 N pro Finger aufbringen und bei einem virtuellen Greifvorgang dessen Bewegungsablauf aktiv beeinflussen. Bei dieser äußerst kostenintensiven Alternative wird der Realitätsgrad noch einmal deutlich gesteigert.

Finger-Tracking

Ein weiterer Ansatz findet sich in dem von A.R.T. vertriebenen Interaktionsgerät „Finger-Tracking“ [Art-10]. Im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Datenhandschuhen werden hierbei für die Berechnung der Fingerbeugungen nicht Dehnmessstreifen, Lichtleitersensoren oder ähnliches verwendet. Vielmehr sind auf den Fingerspitzen aktive LED-Marker befestigt, welche durch ein IR-Tracking-System deren exakte Position im Raum ausgeben. Mittels eines IK-Algorithmus kann nun – ausgehend von der Fingerspitze und deren relativen Abstand zum Handrücken – ebenfalls die Beugung des jeweiligen Fingers berechnet werden. Dieses System eignet sich besonders für filigrane Greifvorgänge, bei welchen in erster Linie die präzise Positionierung der Fingerspitzen wichtig ist – bspw. die Handhabung von Kleinst- bzw. Miniaturbauteilen.



Abbildung 8-4: A.R.T Fingertracking [Art-10]

Flystick

Der Flystick ist ein Joystick-ähnliches Gerät zur Interaktion mit einem VR-System. Neben einer gewissen Anzahl von Drucktastern und Schaltern ist der Flystick mit einem Tracking-Target ausgestattet. Dieses ermöglicht es die Bewegung des Geräts um alle sechs Freiheitsgrade zu registrieren und für vordefinierte Aktionen, wie bspw. virtuelle Kameraflüge, Manipulation von 3D-Objekten etc., zu nutzen. Abbildung 8-5 zeigt die von A.R.T aktuell erhältlichen Flystick-Varianten Flystick 2 bzw. Flystick 3.



Abbildung 8-5: A.R.T Flystick 2 / Flystick 3 [Art-10]

Wii Remote

Die Wii Remote oder verkürzt Wiimote ist das primäre Eingabegerät für die Spielkonsole Wii der japanischen Firma Nintendo. Neben zahlreichen Druckknöpfen enthält der Controller einen Beschleunigungssensor, womit etwaige lokale Bewegungen und Drehungen des Geräts erfasst werden können. Zur Bestimmung der globalen Position bzw. Orientierung der Wii Remote ist diese zusätzlich mit einem Bildsensor ausgestattet. Im Zusammenspiel mit der zugehörigen IR-Leiste können globale Positions- und Orientierungswerte bis zu einem Abstand von ca. fünf Metern mit einer sehr hohen Genauigkeit erreicht werden [Nin-10]. Versuche, lediglich den eingebauten Beschleunigungssensor zur exakten globalen Positionsauskunft des Geräts zu nutzen schlugen bisweilen aufgrund der mangelnden Präzision bzw. der kontinuierlichen Meßabweichung (Driften) des Sensors fehl. Mittlerweile sind zahlreiche SDKs

verfügbar – z.B. WiiYourself etc., welche den Controller auch abseits der Spielentwicklung für unterschiedliche Anwendungsfälle attraktiv machen.



Abbildung 8-6: Wii Remote [Nin-10]

8.2.2.2 Interaktionsgerät „Gehen“

Können hinsichtlich der Interaktionsgeräte „Greifen“ derzeit viele kommerzielle Lösungen bezogen werden, ist die Auswahl an entsprechenden Geräten zur Umsetzung der Fortbewegung im VR sehr dünn besiedelt. Einziges, erwähnenswertes Produkt sei in diesem Zusammenhang die von der Firma Virtusphere Inc. käuflich erwerbbar „Virtusphere“ zu nennen. Um das Gehen auf der Stelle zu ermöglichen, befindet sich der Benutzer bei dieser Variante in einer drehbar gelagerten Hohlkugel (s. Abbildung 8-7). Sobald Gehbewegungen ausgeführt werden, wird die sich dadurch ergebende Rotation der Kugel über Sensoren erfasst und in Verbindung mit der gleichzeitig analysierten Blickrichtung des Benutzers in eine translatorische Bewegung im Virtuellen umgerechnet [Vir-09a].



Abbildung 8-7: Virtusphere [Vir-09a]

Im Bereich der Forschung wurde ein Interaktionsgerät zur Fortbewegung im VR bereits mehrfach als Gegenstand für neue Erkenntnisse genutzt. Ein Konsortium mehrerer europäischer Forschungseinrichtungen widmete sich dieser Thematik innerhalb des CyberWalk-Projekts. Hierin wurden verschiedene Möglichkeiten zur Fortbewegung im Virtuellen erforscht und entwickelt. An erster Stelle sei hier die Omnidirectional Treadmill genannt (s. Abbildung 8-8). Mittels dieser Apparatur – bestehend aus einer Kombination von längs- und querangeordneten Gurten – können sich Benutzer ungehindert in virtuellen Welten bewegen. Durch separate Ansteuerung der Gurte kann einer Gehbewegung in allen Richtungen entgegengewirkt und somit die ursprüngliche Position des Benutzers gewahrt werden [Lbm-09].

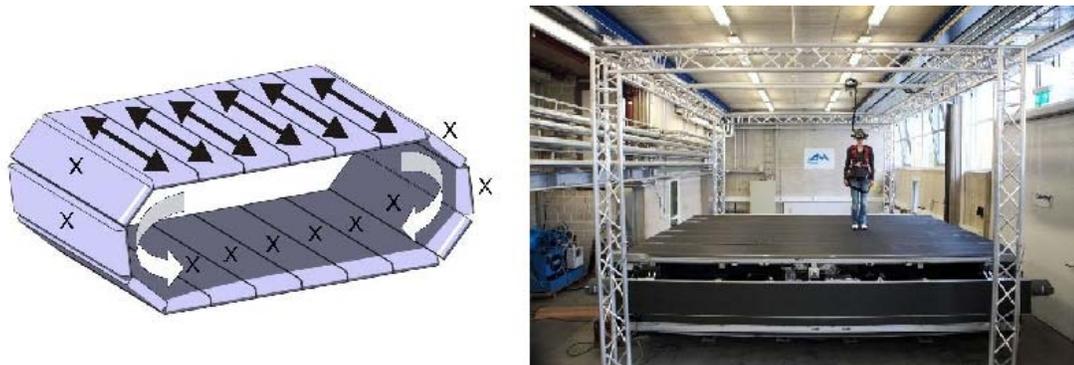


Abbildung 8-8: Prinzip und Ausführung der Omnidirectional Treadmill [Lbm-09]

Ein weiterer Aspekt des CyberWalk sieht die Verwendung des so genannten CyberCarpets vor. Dabei handelt es sich um eine Plattform, besetzt mit tausenden von kleinen, beweglich gelagerten Kugeln, welche durch einen darunter liegenden Riemen angetrieben werden. Aufgrund der steuerbaren Positionierung des Antriebs mittels eines Drehtisches, können die Kugeln in alle erdenklichen Richtungen rotiert werden, wodurch der auf dem CyberCarpet laufende Benutzer immer wieder zur Plattformmitte zurück gebracht wird [Lbm-09].

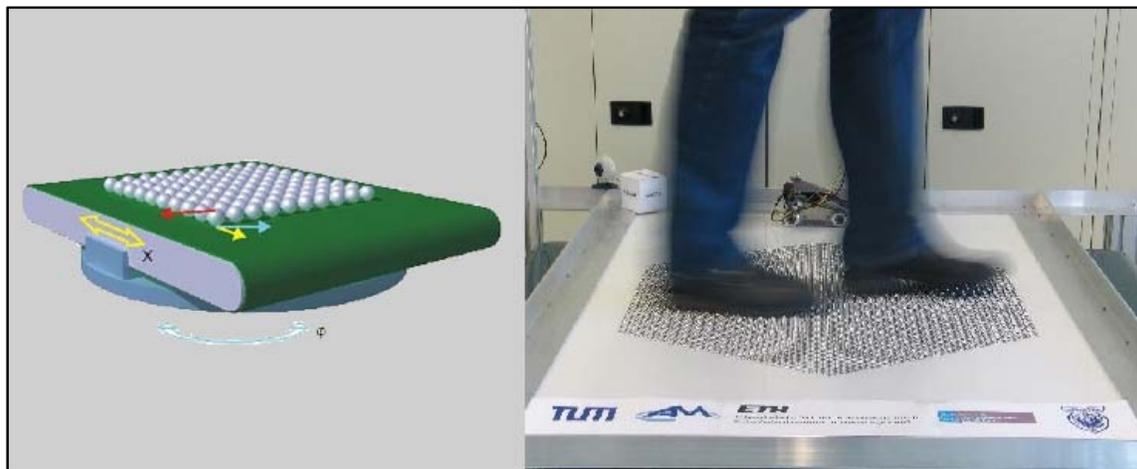


Abbildung 8-9: CyberCarpet [Lbm-09]

Auf der SIGGRAPH 2007 wurde eine durch Hiroo Iwata entwickelte Fortbewegungseinrichtung vorgestellt. Der auf einen Mechanismus von acht zuggesteuerten Seilen basierende String Walker. Mit Hilfe einer ausgeklügelten Ansteuerung der Seile kann eine fixe Position des Benutzers im Raum beibehalten werden während dieser virtuelle Umgebungen durchläuft. Dazu wird jeder Fuß bzw. Schuh mit jeweils vier Seilen in der Vorrichtung fixiert. Sobald sich die Schuhe bewegen, werden sie von den Seilen in entgegengesetzte Richtung gezogen und die eigentliche Schrittbewegung gestoppt. Die motorbetriebenen Zugmechanismen befinden sich auf einer mit Hilfe eines eigenen Motors angesteuerten Drehscheibe, welche durch selbstständiges Mitdrehen eine omnidirektionale Bewegung des Benutzers erlaubt. Die an den Schuhen angebrachten Seile können diese in jede erdenkliche Richtung ziehen, wodurch eine große Vielfalt an unterschiedlichen Gangarten, u.a. auch seitliche Schritte oder Rückwärtsgehen ermöglicht wird [Sig-09b].

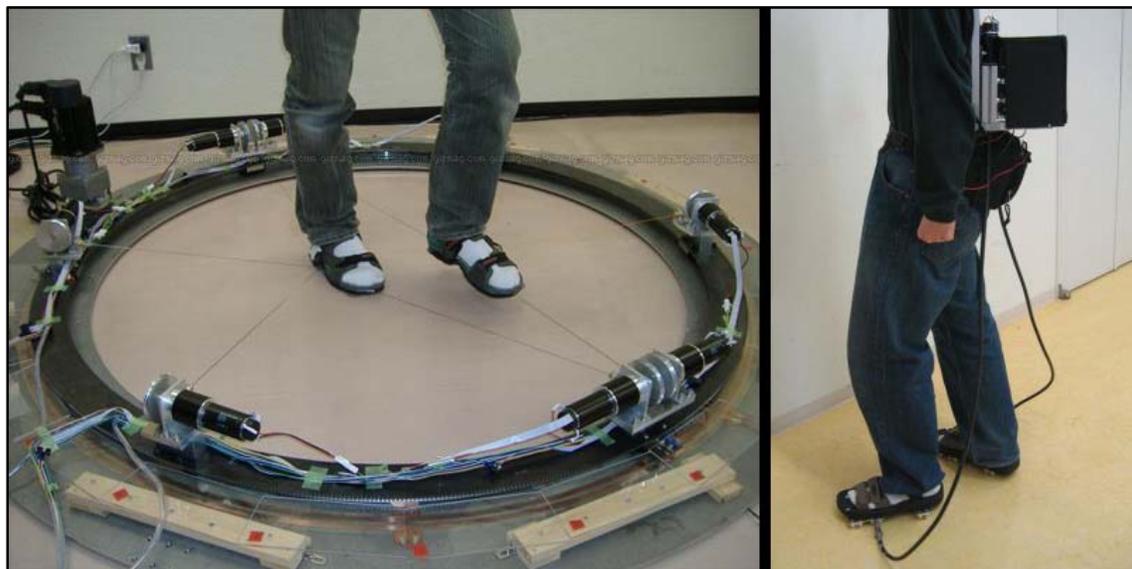


Abbildung 8-10: String Walker und Powered Shoes [Vir-09b]

Schon im Jahr zuvor wurden auf der SIGGRAPH 2006 die so genannten Powered Shoes präsentiert. Das System basiert auf Rollschuhe, deren Rollen mittels biegsamer Welle durch zwei am Körper getragener Elektromotoren angetrieben werden. Durch gezieltes Ansteuern der Motoren kann die Rollendrehgeschwindigkeit beeinflusst werden, wodurch der unidirektionalen Gehbewegung des Benutzers entgegengewirkt und dadurch seine Position im Raum aufrechterhalten wird [Sig-09a].

8.2.3 Bewertung und Auswahl der Interaktionsgeräte

8.2.3.1 Interaktionsgerät „Greifen“

Für die Bewertung der Interaktionsgeräte zur Abbildung des Greifvorgangs werden Kriterien entsprechend den Vorgaben aus dem Lastenheft herangezogen. Neben den Anschaffungskosten, welche sich teilweise im mittleren 5-stelligen Bereich bewegen (vgl. [Est-09]), ist die Genauigkeit in der Abbildung des realen Greifvorgangs auf das virtuelle Pendant zu bewerten. Grundlage hierfür ist einerseits die „Auflösung“ der verwendeten Sensoren, andererseits die Methodik, um die gegenwärtige Fingerstellung aus den gewonnenen Sensordaten abzuleiten. Ein wichtiger Aspekt ist zudem der Tragekomfort bzw. generell die Benutzerfreundlichkeit des Interaktionsgeräts. Nur wenn das Gerät während seines Einsatzes nicht als störend empfunden wird, können optimale Simulationsergebnisse erzielt werden. Dies beginnt beim „Ausstatten“ des Benutzers (u.a. Anlegen eines Datenhandschuhs) bis hin zur Bewegung mit dem Interaktionsgerät während des Simulationslaufs. Zu guter Letzt sollte der mit dem Gerät durchgeführte Greifvorgang in jeglicher Hinsicht dem realen Vorbild entsprechen.

Die gewählten Kriterien zur Bewertung der Interaktionsgeräte „Greifen“ gliedern sich demnach wie folgt:

- Kosten
- Genauigkeit „Greifen“
- freie Bewegungsmöglichkeit
- Benutzerfreundlichkeit
- Realitätsnähe

Nachfolgend werden die in Abschnitt 8.2.2.1 beschriebenen Interaktionsgeräte entsprechend der festgelegten Kriterien bewertet. Tabelle 8-1 zeigt eine Auflistung der Geräte und die dazugehörige Ausprägung der unterschiedlichen Kriterien.

Tabelle 8-1: Interaktionsgeräte „Greifen“

Kriterien Gerät	Kosten		Genauigkeit „Greifen“		freie Bewegungs- möglichkeit		Benutzer- freundlichkeit		Realitätsnähe	
5DT 5 Ultra	mittel	o	mittel	o	kabelgebunden	-	mittel	o	mittel	o
5DT 14 Ultra	hoch	-	hoch	+	kabelgebunden	-	mittel	o	mittel	o
CyberGlove II	hoch	-	sehr hoch	++	kabellos	+	mittel	o	mittel	o
CyberTouch	sehr hoch	--	sehr hoch	++	kabelgebunden	-	mittel	-	hoch	+
CyberGrasp	sehr hoch	--	sehr hoch	++	kabelgebunden	--	gering	--	sehr hoch	++
FingerTracking	hoch	-	sehr hoch	++	kabellos	+	hoch	+	mittel	o
Flystick	mittel	o	k.A.		kabellos	+	sehr hoch	++	gering	-
Wii Remote	sehr gering	++	k.A.		kabellos	+	sehr hoch	++	gering	-

Die Gegenüberstellung der recherchierten Geräte zeigt, dass jede positive Ausprägung eines Kriteriums durch teilweise mangelhaften Erfüllungsgrad in anderen Kriterien überschattet wird, weshalb es nicht den „perfekten“ Datenhandschuh gibt. Vielmehr muss nach Betrachtung der einzelnen Aspekte ein zufriedenstellender Kompromiss gefunden werden, auf welchem letztlich ein für das Forschungsvorhaben geeignetes Interaktionsgerät ausgewählt werden kann.

Zieht man das Lastenheft zu Rate entspricht die Größenordnung der zu kommissionierende Teile einem Bereich von 5-10 cm im Durchmesser. Filigrane Tätigkeiten – etwa bei Montagetätigkeiten – sind aus dem Grund nicht vorhanden, weshalb die äußerst hohe Genauigkeit des Fingertracking nicht erforderlich ist. Zudem widersprechen die hohen Anschaffungskosten, einerseits durch das Interaktionsgerät selbst, andererseits durch den zusätzlichen Bedarf weiterer IR-Kameras, einer Auswahl dieser Gerätschaft. Eine aktive Rückmeldung des Interaktionsgeräts beim Greifvorgang wäre hinsichtlich des gesteigerten Realitätsgrads sicherlich wün-

schenswert. Die Rückmeldung durch den Handschuh wird jedoch für den vorliegenden Einsatzfall des Kommissionierens als nicht optimal angesehen. Der Benutzer bewegt sich mittels einer Laufplattform im virtuellen Lager und wäre durch eine derartige Apparatur aufgrund des hohen Gewichts des Geräts neben einer reduzierten Bewegungsfreiheit nur zusätzlicher Belastung ausgesetzt. Der Flystick bzw. die Wii Remote bieten eine relativ kostengünstige Möglichkeit das Greifen „auf Knopfdruck“ abzubilden. Auch wird dem Benutzer hiermit erspart, etwas – womöglich in der unpassenden Größe – „anzulegen“. Beide Geräte widersprechen jedoch der Anforderung, in der Abbildung des Greifvorgangs den natürlichen Greifmechanismen des Menschen nachzukommen.

Im Zuge der Auswahl eines geeigneten Interaktionsgeräts wurde letztlich der Datenhandschuh 5DT Ultra ausgewählt. Dieser stellt – bei sehr gutem Preis-Leistungsverhältnis – die optimalste Lösung dar.

8.2.3.2 Interaktionsgerät „Gehen“

Da es im Bereich der Interaktionsgeräte zur Fortbewegung – zusätzlich zu den, teils immer noch im Forschungsstadium befindlichen Alternativen – mehr oder weniger nur eine einzige kommerzielle Lösung gibt, diese jedoch neben den hohen Anschaffungskosten von umgerechnet ca. 10.000 € und des zusätzlichen Einsatzes eines HMDs ausgeschlossen werden kann, entfällt eine Bewertung derartiger Interaktionsgeräte. Vielmehr wird die durchgeführte Recherche als Generierung eines Ideenpools gesehen, welcher zur Entwicklung eines optimalen Hardware-Konzepts für die Umsetzung eines eigenen Prototyps beiträgt.

9 Entwicklung eines Funktionsmusters

Nachdem bereits erste Erkenntnisse über die einzusetzenden Interaktionsgeräte vorliegen und eine geeignete VR-Basissoftware ausgewählt wurde, soll nun das Funktionsmuster entwickelt werden. In den folgenden Abschnitten werden die Konzeption und die Umsetzung der hard- sowie softwaretechnischen Aspekte näher erläutert.

9.1 Konzeption und Design des Funktionsmusters

Fehlentscheidungen, etwa begründet durch einen Mangel an Steuerungsmöglichkeiten oder dem fehlerhaften Aufbau in der Softwarearchitektur, können im späteren Gebrauch des Funktionsmusters den Unterschied zwischen einer bestmöglichen Lösung oder eines akzeptablen Ergebnisses ausmachen. Um dieser Problematik von vornherein entgegenzuwirken, ist es von entscheidender Bedeutung, ein geeignetes Konzept – sei es für die Hard- als auch Softwarekomponenten – zu entwickeln.

9.1.1 Hardwarekomponenten

Den Hardwarekomponenten wird hierbei eine besondere Rolle zugeteilt. Als Schnittstelle zwischen dem Menschen und dem VR-System geben sie etwaige Benutzereingaben direkt an die Simulationsumgebung weiter. Nur wenn eine optimale Abbildung dieser Steueraktionen durch den Nutzer gegeben ist, können realitätsnahe Untersuchungen durchgeführt werden.

Interaktionsmöglichkeit „Greifen“

Entsprechend der Ergebnisse aus der Hardware-Recherche wird für das Funktionsmuster ein Datenhandschuh verwendet. Dieser kann bereits voll funktionsfähig erworben werden, weshalb es hinsichtlich der Abbildung des eigentlichen Greifvorgangs (Hand geschlossen, Hand offen) keiner Neukonzeption bedarf. Es muss lediglich eine Möglichkeit gefunden werden, wie die aktuelle Position der realen Hand

dem VR-System respektive der Simulationsumgebung mitgeteilt werden kann. Der Greifvorgang während der virtuellen Kommissionierung wird später mittels einer Kollisionsberechnung zwischen der virtuellen Hand und greifbaren Artikeln umgesetzt. Damit das 3D-Modell der Hand jederzeit entsprechend der Vorgabe des Benutzers transformiert werden kann, muss bekannt sein, wie die reale Hand im Raum platziert ist. In Anlehnung an die Positionsverfolgung eines Flysticks mittels Trackingsystem, wird dieses Prinzip auch für die gegenwärtige Problemstellung als zielführend erachtet. Hierfür gilt es ein geeignetes Target zu entwerfen, welches ohne großen Aufwand am Datenhandschuh zu befestigen ist und eine fehlerfreie Erkennung durch das Trackingsystem garantiert. Abbildung 9-1 zeigt erste Konzeptstudien, wie ein derartiges Target umgesetzt und am Datenhandschuh angebracht sein könnte.

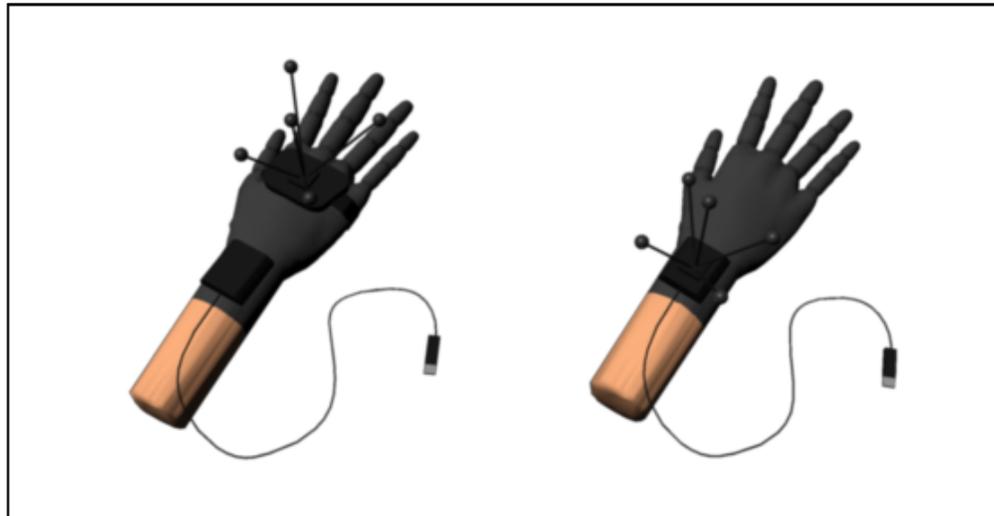


Abbildung 9-1: Prinzip-Skizze Datenhandschuh / Tracking-Target

Interaktionsmöglichkeit „Gehen“

Wie gegen Ende des letzten Kapitels bereits erläutert wurde, konnte aus den recherchierten Interaktionsgeräten keine direkt für KomPlanVR übertragbare Lösung gewählt werden. Vielmehr dienen die gewonnenen Erkenntnisse als Anreiz für eine eigene Konstruktion.

Ein Aufbau, wie er dem Gerät Virtusphere zu Grunde liegt, kann kategorisch ausgeschlossen werden, da aufgrund des Kugelprinzips eine Visualisierung nur mittels HMDs möglich ist. Der Einsatz dieser speziellen Visualisierungsart würde jedoch zu-

sätzlich zu den hohen Hardwarekosten gleichzeitig auch einen gewissen Mehraufwand für die Anbindung an die VR-Software bedeuten. Hinzu kommt, dass der Lehrstuhl bereits eine professionelle Visualisierungseinrichtung in Form einer Einseiten-Powerwall besitzt (s. Abbildung 9-2).



Abbildung 9-2: VR-Labor des Lehrstuhls fml

Als zielführend wird deshalb der Ansatz mit einem Aufbau bestehend aus sich gegenläufig bewegenden Gurten erachtet. Das Projekt CyberWalk hat gezeigt, dass die Abbildung der Gehbewegung mittels diesem Prinzips ausgesprochen gute Ergebnisse liefern kann – ungeachtet dessen sei allerdings angemerkt, dass es sich bei Verwendung von separat ansteuerbarer Gurte um einen äußerst komplexen Hardwareaufbau handelt. Hinzu kommt die dafür notwendige, ausgeklügelte Steuerungslogik zur Regelung der einzelnen Gurtstränge, im weiteren Sinn zur Beherrschung des Gesamtsystems „Omnidirectional Treadmill“. Aus dem Grund wird von der hardwaretechnischen Abbildung einer 2-dimensionalen Gehbewegung Abstand genommen. Vielmehr soll die Fortbewegung in einer Dimension stattfinden und mit Hilfe geeigneter Zusatzeinrichtungen – in Kombination mit entsprechenden Algorithmen – auf eine 2D-Bewegung hochgerechnet werden. Abbildung 9-3 zeigt hierfür schematisch den Aufbau dieses Funktionsprinzips.

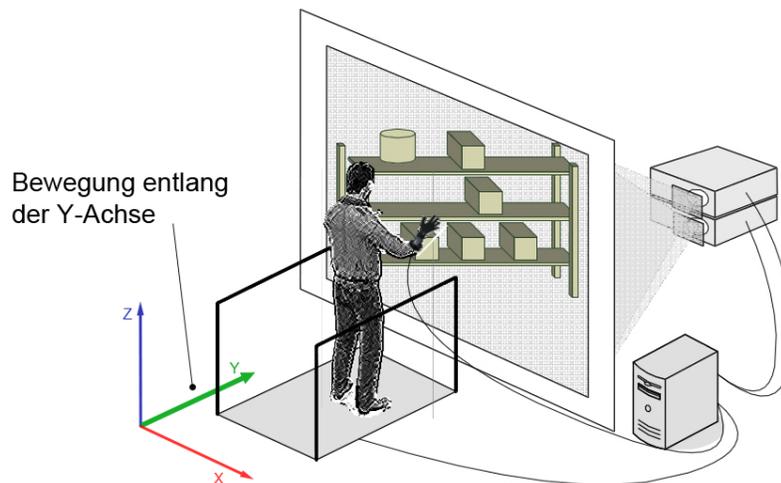


Abbildung 9-3: Prinzip Laufplattform (1D-2D)

Nachdem die grundsätzliche Vorgehensweise zur Aufnahme der Gehbewegung feststeht, bedarf es einer geeigneten Zusatzeinrichtung, um einerseits die Geschwindigkeit des Laufbandgurtes zu regeln, andererseits die momentan noch 1-dimensionale Abbildung des Gehvorgangs auf eine Bewegung in der 2D-Ebene zu übertragen.

Hierfür sind unterschiedliche Ansätze denkbar:

- Bodendrucksensoren
- Tracking-Target
- Lasermesseinrichtung

Eine Möglichkeit bestünde darin, Bodendrucksensoren unterhalb des Laufbandgurtes anzubringen. Mittels der Gewichtsverlagerung des Benutzers könnte dann bei einer Zunahme des Anpressdrucks bspw. im rechten Bereich des Laufbands ein Schwenk nach rechts simuliert werden. Denkbar wäre auch, mit Hilfe eines Laserdistanzscanners das Volumen oberhalb des Laufbands abzutasten. Abhängig davon, in welchem Teil des Scanbereichs sich der Benutzer befindet, wird die Position entweder als eine geradlinige oder kurvenförmige Vorwärtsbewegung interpretiert. Abbildung 9-4 veranschaulicht dieses Prinzip.

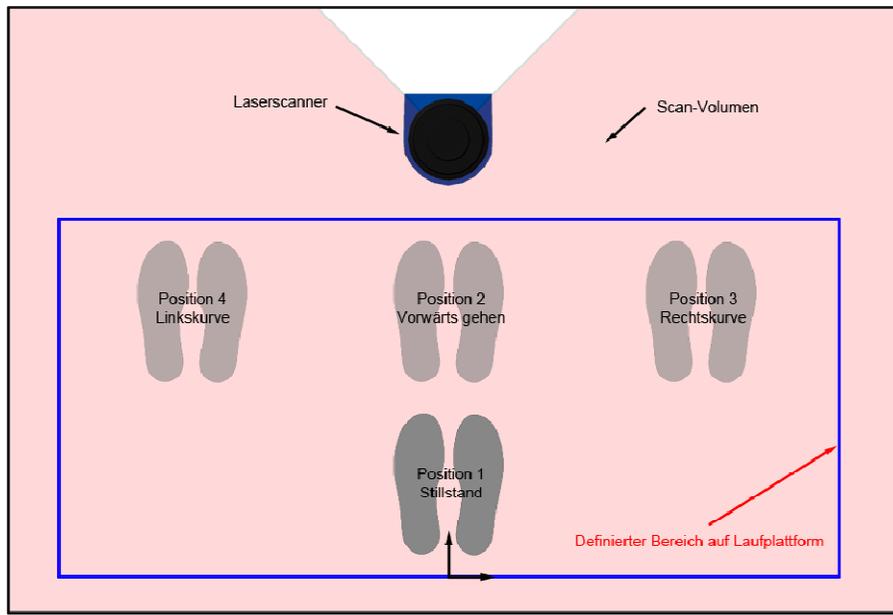


Abbildung 9-4: Änderung der Bewegungsgeschwindigkeit und -richtung mit Hilfe einer Laserscanners

Letztere Option wäre die Richtung und Geschwindigkeit unter Zuhilfenahme eines Trackingsystems respektive der Tracking-Targets zu beeinflussen. Ein am Kopf angebrachtes Target kann dazu genutzt werden, die aktuelle Kopforientierung auszulesen und damit die Vorwärtsbewegung entsprechend der Blickrichtung zu manipulieren. Die Laufbandregulierung könnte mit Hilfe eines weiteren Targets, welches sich im Bereich des Oberkörpers befindet, umgesetzt werden. Abhängig von der Position des Targets entlang des Laufbandgurtes wird dieser entweder beschleunigt, konstant angetrieben oder verzögert.

Hinsichtlich der Auswahl einer geeigneten Zusatzeinrichtung fiel die Wahl auf die Option mit den Tracking-Targets. Das lehrstuhleigene VR-System ist bereits mit einem Trackingsystem ausgestattet, weshalb zur Umsetzung der Laufbänderweiterung lediglich entsprechende Targets gebaut und dem Trackingsystem angelern werden müssen. Bodendrucksensoren vermitteln gewiss einen intuitiv zu bedienenden Ansatz, fraglich ist jedoch, wie die Sensoren optimal unter dem Laufbandgurt angebracht werden können. Der sich bewegende Gurt muss problemlos über die Sensorik „gleiten“ können. Werden die Sensoren verteilt verbaut, wäre der Laufbandgurt während des Betriebs einem ungleichmäßigen Kontakt an diesen ausge-

setzt, wodurch eine unvermeidbare Abnutzung des Gurtes die Folge wäre. Gleichzeitig ist mit dieser Alternative nur eine punktuelle Auswertung der Benutzerposition möglich. Die gewonnenen Daten müssten mittels Interpolationsverfahren zuerst zu einem kontinuierlichen Sensorfeld aufgerechnet werden, gefolgt von der anschließenden Berechnung der auszulösenden Aktion. Einzige Option wäre demnach, anstatt von vielen einzelnen Drucksensoren eine drucksensitive Sensorplatte zu verbauen. Dies wurde jedoch verworfen, da sich die Entwicklung eines solchen Geräts nur unter hohem finanziellen und zeitlichen Aufwand bewerkstelligen ließe.

Die Lasereinrichtung ist zur Geschwindigkeitsregulierung des Laufbands durchaus denkbar. Grund hierfür ist, neben der hohen Genauigkeit bei der Abtastung der Umgebung, die Ausfallsicherheit des Messinstruments. Im Gegensatz zur Variante mit dem Trackingsystem ist diese Lösung nicht auf eine zusätzliche Peripherie wie sie das Tracking-Target darstellt, angewiesen. Im Zusammenhang mit der Richtungsänderung durch aktiven Positionswechsel quer zur Bewegungsrichtung wäre jedoch eine äußerst breite Laufplattform notwendig. Aufgrund der baulichen Gegebenheiten im VR-Labor des Lehrstuhls ist eine derartige Konstruktion nur bedingt installierbar, weshalb der Ansatz mit der Laserabtastung vorerst zurückgestellt wurde.

Das erarbeitete Hardwarekonzept für die Abbildung des Gehvorgangs kann Abbildung 9-5 entnommen werden.

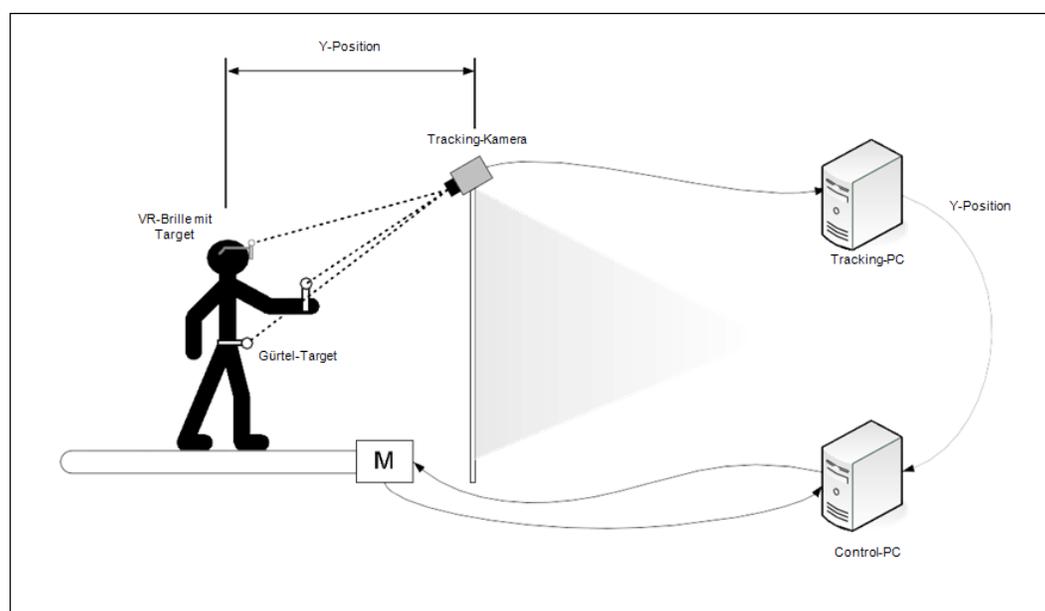


Abbildung 9-5: 1-dimensionale Bewegung auf einer Laufplattform

9.1.2 Softwarekonzept

Ausgehend vom Hardwaredesign erfolgen die Konzeption und das Design der Software, die ein weiteres zentrales Element des zu entwickelnden Funktionsmusters darstellt. Dabei wird auf die gewählte VR-Basissoftware zurückgegriffen und als Grundlage für das zu implementierende System verwendet.

Anwendungsfalldiagramm

Bevor allerdings ein umfassendes Softwarekonzept erarbeitet werden kann, gilt es anfangs zu klären, welche Funktionalitäten die zu implementierende Software hinsichtlich der erarbeiteten Einsatzszenarien erfüllen muss. Um die geforderten Aspekte zu ermitteln, wird ein Anwendungsfalldiagramm erstellt. Dieses ermöglicht eine bestimmte Sicht auf das erwartete Verhalten des Systems, indem Anwendungsfälle (abgebildet durch Ellipsen) und Akteure mit ihren Abhängigkeiten und Beziehungen zueinander dargestellt werden.

In Abbildung 9-6 und 9-7 sind die Anwendungsfalldiagramme für das Funktionsmuster dargestellt, welche in erster Linie die Beziehungen zwischen dem Akteur „Benutzer“ und dem Funktionsmuster beschreiben. Der Benutzer benötigt insgesamt zehn Anwendungsfälle, um das jeweilige Einsatzszenario realistisch in einer Simulation abbilden zu können. Objekte kommissionieren ist in erster Linie der komplexeste Anwendungsfall, da an diesen Vorgang sechs Anwendungsfälle gebunden sind. Maßgeblich für diesen sind die Anwendungsfälle Fortbewegung im Lager und die Manipulation der greifbaren Objekte, da sie die grundlegende Interaktion des Benutzers mit der virtuellen Umgebung charakterisieren.

Um den Kommissioniervorgang vollständig zu simulieren und entsprechende Ergebnisse zu gewinnen, bedarf es weiterer Anwendungsfälle. Hierzu zählen die Auftragsannahme und -abgabe, die Darstellung der Kommissionierliste und die Erfassung der Simulationsdaten. Als weiterer Akteur wird der „Simulationsexperte“ hinzugezogen, welcher neben dem Benutzer ebenfalls eine wichtige Rolle einnimmt. Er ist verantwortlich für die Erstellung der Simulation. Zudem ist es seine Aufgabe, die Auswertung der gewonnenen Daten durchzuführen.

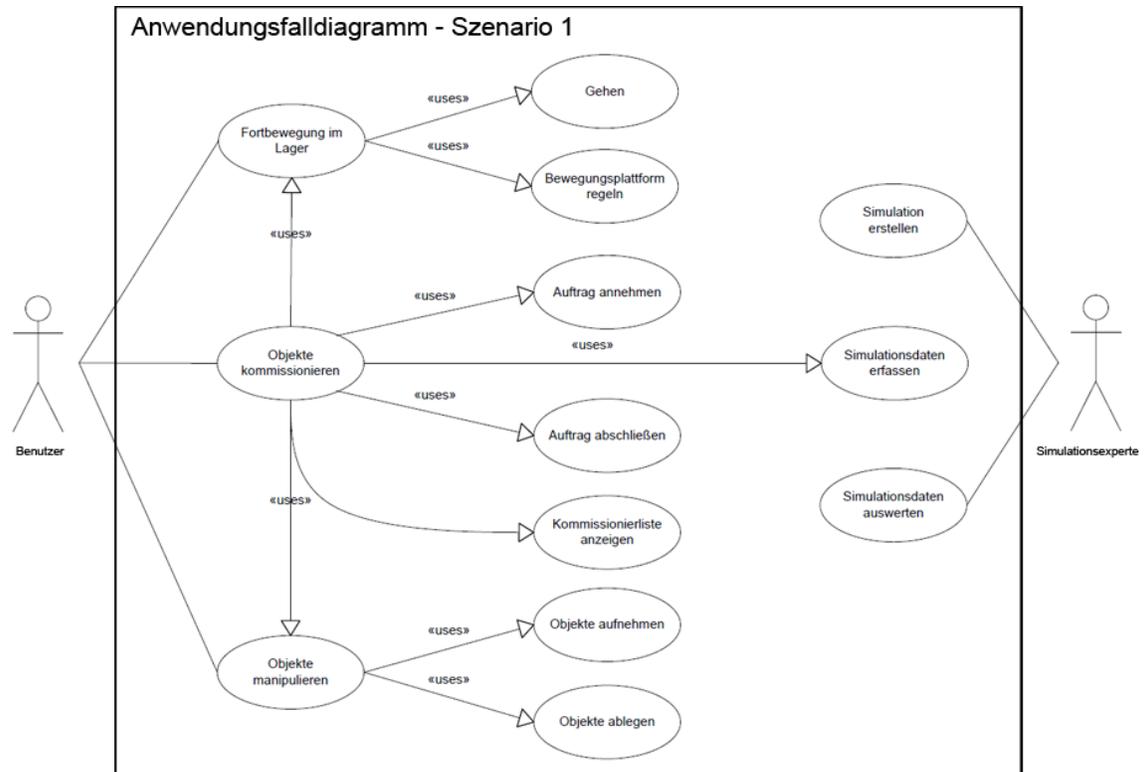


Abbildung 9-6: Anwendungsfalldiagramm – Szenario 1

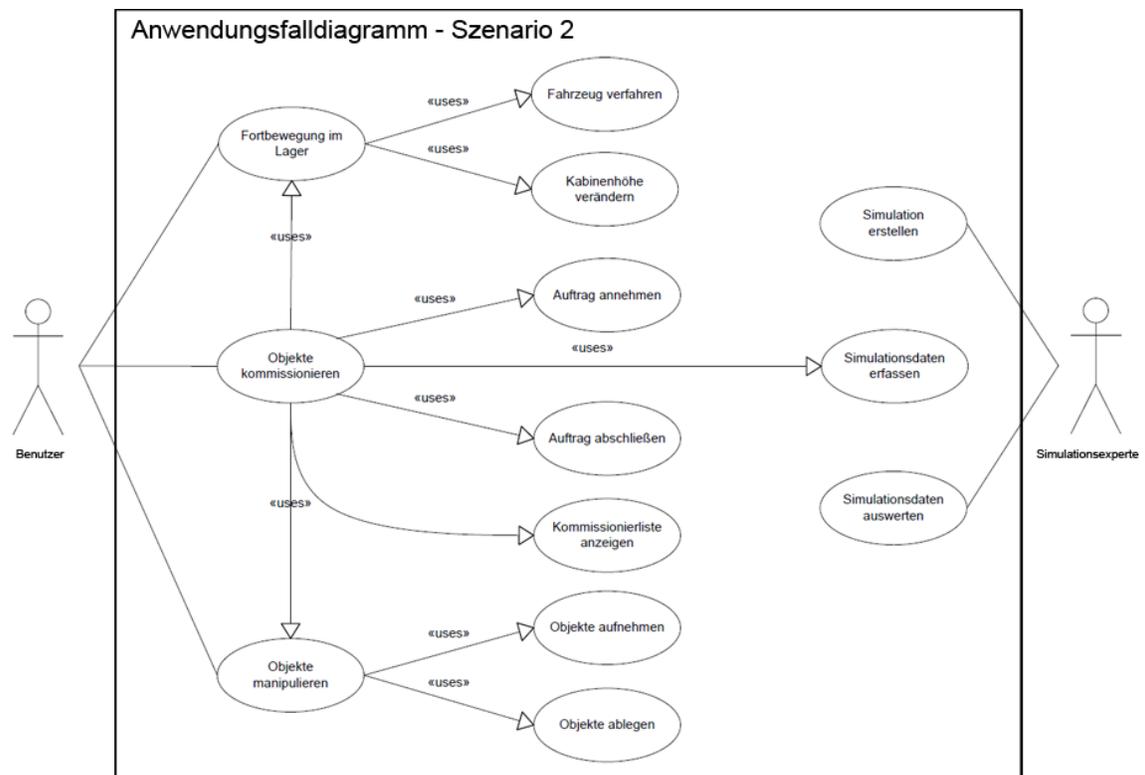


Abbildung 9-7: Anwendungsfalldiagramm – Szenario 2

Aus den ermittelten Anwendungsfalldiagrammen lässt sich bereits ein grobes Konzept ableiten. Bei näherer Betrachtung wird schnell ersichtlich, dass beide Szenarien grundsätzlich auf den gleichen Funktionalitäten aufbauen. Lediglich in der Art der Fortbewegung kann ein Unterschied festgestellt werden. Für ein umfassendes Softwarekonzept gilt es deshalb, im nächsten Schritt - basierend auf den Gemeinsamkeiten der Einsatzszenarien – erste Funktionsbausteine zu entwickeln und das Konzept abschließend mit einer Beschreibung der unterschiedlichen Fortbewegungsmöglichkeiten zu vervollständigen.

9.1.2.1 Funktionsbaustein – „Objekte kommissionieren“

Wie dem Anwendungsfalldiagrammen zu entnehmen ist, steht die Kommissionierung von virtuellen Objekten mit zahlreichen Funktionalitäten in Relation:

- Auftrag annehmen / Auftrag abgeben
- Objekte aufnehmen / Objekte ablegen
- Kommissionierliste anzeigen
- Simulationsdaten erfassen
- Fortbewegung im Lager

Zu Beginn der Kommissionierung erfolgt die Auftragsentgegennahme am Start-Terminal (Basisstation). Durch eine erste Interaktion übermittelt der Benutzer dem System seine Bereitschaft zur Kommissionierung. Gleichzeitig wird hier der Einstiegspunkt für die Zeiterfassung definiert, damit die erfassten Werte zur späteren Auswertung im Umfang vollständig dem Ablauf entsprechen. Sobald der Auftrag in Empfang genommen wurde, beginnt der Benutzer die Kommissionierrundfahrt. Er bewegt sich im virtuellen Lager, greift Objekte entsprechend des aktuellen Auftrags und legt diese anschließend auf der Ablagefläche ab. Mittels der virtuellen Kommissionierliste kann er sich jederzeit über Anzahl und Lage der zu kommissionierenden Artikel informieren. Nachdem die letzte Auftragsposition abgearbeitet wurde, bewegt sich der Kommissionierer zurück zum Stopp-Terminal (Abgabestation). Dort wird der Auftrag als abgeschlossen gewertet und die dafür benötigte Zeit registriert. Der zeit-

lich schematische Ablauf dieser Vorgänge kann dem Ablaufdiagramm in Abbildung 9-8 entnommen werden.

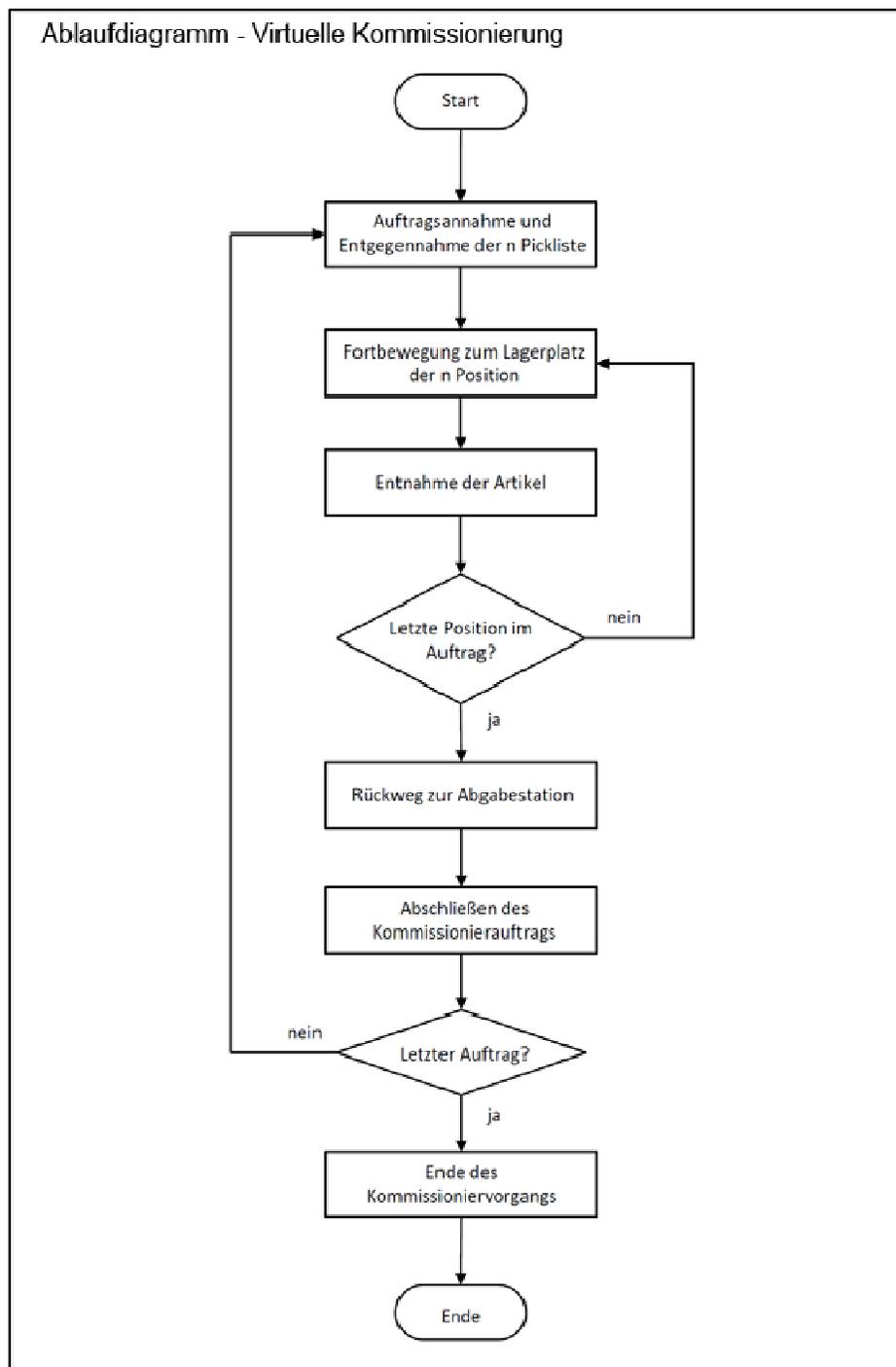


Abbildung 9-8: Ablaufdiagramm der virtuellen Kommissionierung

Nachdem der grundsätzliche Ablauf feststeht, gilt es die aufgeführten Tätigkeiten zu separieren und wiederum in einzelne Funktionseinheiten zu untergliedern. Wie bereits angesprochen wurde, folgt die Erläuterung des Aspekts „Fortbewegung im Lager“ aufgrund der Szenario-spezifischen Ausprägung im Anschluss darauf als eigenständiger Punkt.

Greifvorgang und virtuelle Kommissionierliste

Der virtuelle Greifvorgang beschreibt die Verarbeitung einer Reihe unterschiedlicher Teilaspekte:

- Auslesen des Datenhandschuhs und Anpassung der Fingerstellung des 3D-Modells
- Positionierung der virtuellen Hand
- Auslösen der Kollisionsüberprüfung
- Positionierung des gegriffenen Objekts

Die Anzeige der virtuellen Kommissionierliste wird ebenfalls in diesem Modul behandelt, da sie hinsichtlich der Positionierung und Ausrichtung aktiv durch das 3D-Modell der Hand beeinflusst und zudem durch die Interaktion mit Hilfe des Datenhandschuhs aufgerufen wird.

Damit ein virtueller Greifvorgang entsprechend der tatsächlichen Bewegungen des Benutzers dem System mitgeteilt werden kann, erfordert es zu Beginn der Kenntnis zahlreicher Daten. Dies sind einerseits die Lage und Orientierung der realen Hand im Raum, andererseits deren gegenwärtige Fingerstellung. Gemäß den übermittelten Daten aus Tracking-System und Datenhandschuh wird das virtuelle Modell der Hand angepasst. Für die eigentliche Auswertung der Fingerstellung – im weiteren Sinn zur Beurteilung eines auftretenden Greifvorgangs oder zum Aufruf der Kommissionierliste - wird sich der Auswertung der aktuellen Handgeste bedient. Mit Hilfe des so genannten Action-Event-Prinzips können die unterschiedlichen Gesten (Event) fest definierten Aktionen (Action) zugewiesen werden, wodurch eine relativ einfache programmiertechnische Umsetzung einer Fallunterscheidung möglich ist. Hinsichtlich des Greifvorgangs muss zusätzlich die Berechnung einer Kollisionsüberprüfung zwischen Hand und virtuellem Pick-Objekt ausgelöst werden. Liegt eine erfolgreiche

Kollision vor, wird das Objekt der Hand hierarchisch (d.h. im Szenegraph) untergeordnet und bis zur Ablage entsprechend der Handbewegungen transformiert. Dieses prinzipielle Vorgehen kann durch folgendes Ablaufdiagramm (Abbildung 9-9) verdeutlicht werden.

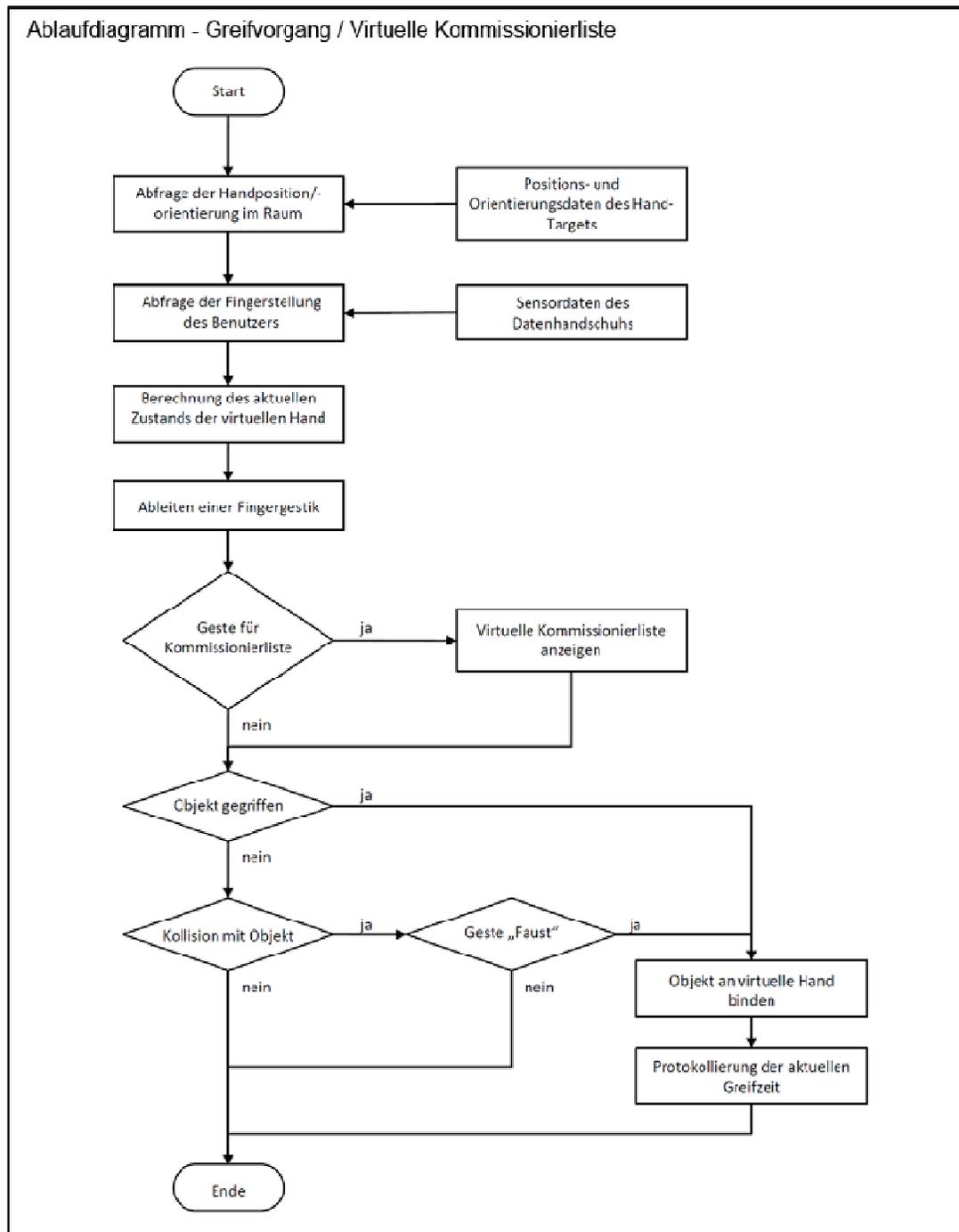


Abbildung 9-9: Ablaufdiagramm – Greifvorgang / Virtuelle Kommissionierliste

Auftragsverwaltung & Simulationsdatenerfassung

Die Auftragsverwaltung sorgt anfangs für die Vergabe eines Kommissionierauftrags. Zusätzlich ist sie nach erfolgreicher Bearbeitung eines Auftrags für die erneute Initialisierung der Simulationsumgebung zuständig. Im weiteren Sinne wird darunter die Bereitstellung eines weiteren Auftrags, sowie das Entfernen der bereits kommissionierten Objekte von der Ablagefläche verstanden.

Die Simulationsdatenerfassung hingegen dient ausschließlich der Registrierung von Zeitanteilen während der Kommissionierumdrehung. Die zeitlichen Bestandteile werden objektbezogen aufgenommen, wodurch eine detaillierte Auswertung im Anschluss an die virtuelle Kommissionierung gewährleistet ist. Beachtung finden hier vor allem die Anteile Greifzeit, Totzeit und Wegzeit. Abbildung 9-10 ist die Darstellung der Zeitbausteine, wie sie beim Kommissionierprozess auftreten, zu entnehmen.

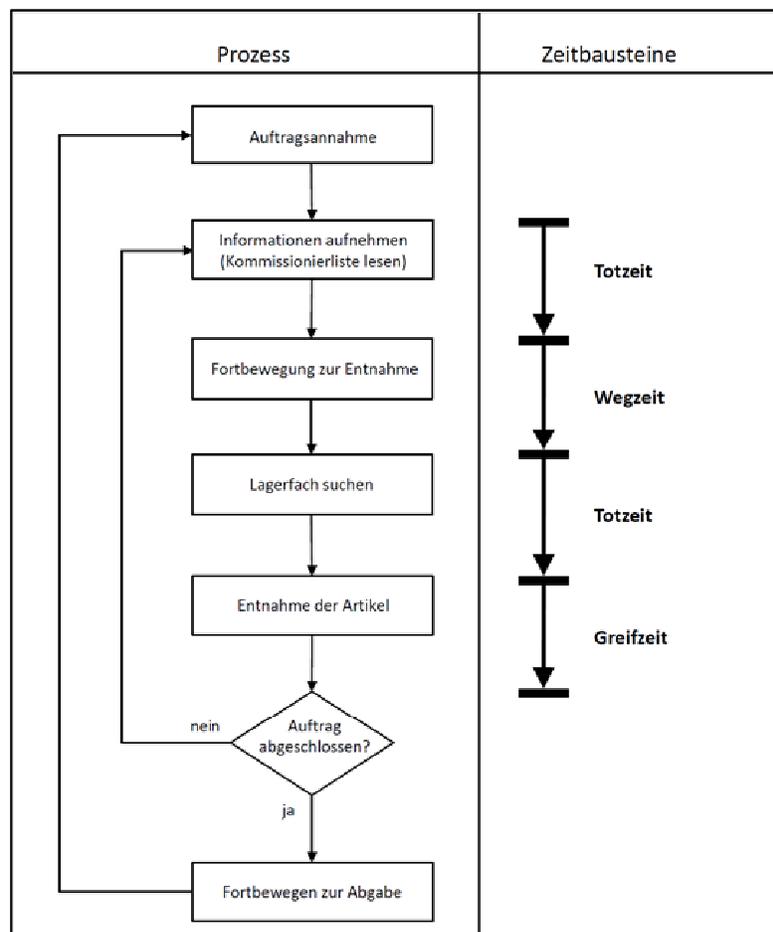


Abbildung 9-10: Zeitbausteine der Kommissionierung

9.1.2.2 Funktionsbaustein „Fortbewegung im Lager“

Nachdem für die Gemeinsamkeiten der beiden Einsatzszenarien prinzipielle Lösungen erarbeitet wurden, folgt abschließend die Beschreibung der Abläufe hinsichtlich der unterschiedlichen Ansätze zur Fortbewegung.

Unabhängig von der gewählten Fortbewegungsart, ist folgendes Grundprinzip angedacht. Der Blick in die virtuelle Welt wird durch ein Kameraobjekt (VR-Systemkamera) ermöglicht. Für gewöhnlich wird dieses mit einem Flystick in Lage und Orientierung modifiziert, wodurch dem Benutzer glaubhaft gemacht wird, er würde durch die virtuelle Welt gehen oder entsprechend sie zu durchfliegen. Das Prinzip sieht nun vor, mittels einer Kombination aus den Interaktionsgeräten zur Fortbewegung und der visuellen Darstellung durch das VR-System eben diese Funktionalität anzusprechen und sie für die geforderten Fortbewegungsarten zu nutzen.

Fortbewegung – Szenario 1

Die Navigation innerhalb von Szenario 1 wird mittels einer Kombination von aktueller Blickrichtung, der Benutzerposition auf der Laufplattform und entsprechender Regelung dieser umgesetzt. Hierzu werden – ähnlich wie zur Bestimmung der realen Hand im Raum – zuerst die Orientierungsdaten des Head-Targets abgefragt. Diese ermöglichen die Ausrichtung der VR-Systemkamera entsprechend der Blickrichtung des Benutzers. Mit den Positionsdaten des Gürtel-Targets wird der zur Regelung der Laufplattform eingesetzte Algorithmus bedient und zusätzlich die Kamera in deren Lage aktualisiert.

Zusammengefasst werden an die Funktionalität der Fortbewegung in Szenario 1 folgende Anforderungen gestellt:

- Positions-/ und Orientierungsdaten der Tracking-Targets
- Regelung der Laufplattform
- Positionierung und Orientierung der VR-Systemkamera

In Form eines Ablaufdiagramms sieht die Logik wie folgt aus (Abbildung 9-11).

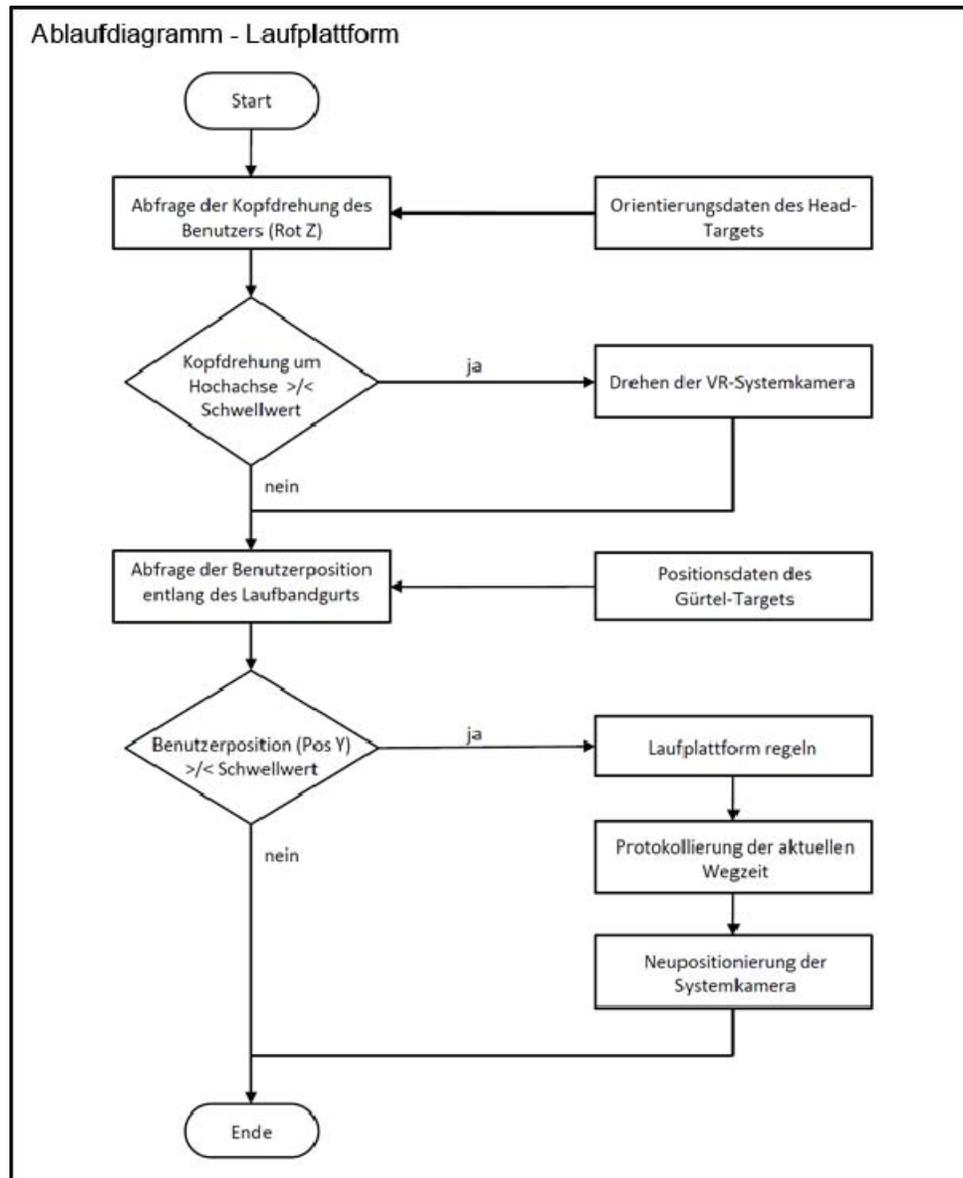


Abbildung 9-11: Ablaufdiagramm - Laufplattform

Fortbewegung – Szenario 2

Anstelle einer manuellen Fortbewegung, wird in Szenario 2 die Navigation in der virtuellen Lagerumgebung mit Hilfe eines Fahrzeugs umgesetzt. Das zu Grunde liegende Prinzip – die Lage und Orientierung der VR-Systemkamera zu beeinflussen – bleibt hingegen davon unbeeinflusst. Mittels eines geeigneten Eingabegeräts werden die umzusetzenden Aktionen der VR-Software zugespielt und in eine Modifikation der Kamera umgewandelt (s. Abbildung 9-12). Es sind die wichtigsten Navigationsmöglichkeiten, wie bspw. vorwärts bzw. rückwärts fahren, die Änderung der

9 Entwicklung eines Funktionsmusters

Fahrtrichtung sowie die Modifikation der Kabinenhöhe abzubilden und durch den Benutzer steuerbar sein. Der Algorithmus sollte darüber hinaus so implementiert werden, sodass ein späterer Austausch des Interaktionsgeräts jederzeit problemlos möglich ist.

Das Modul zur Fortbewegung in Szenario 2 sollte folgende Aspekte beinhalten:

- Abfrage der Steuereingaben des Benutzers
- Positionierung und Orientierung der VR-Systemkamera

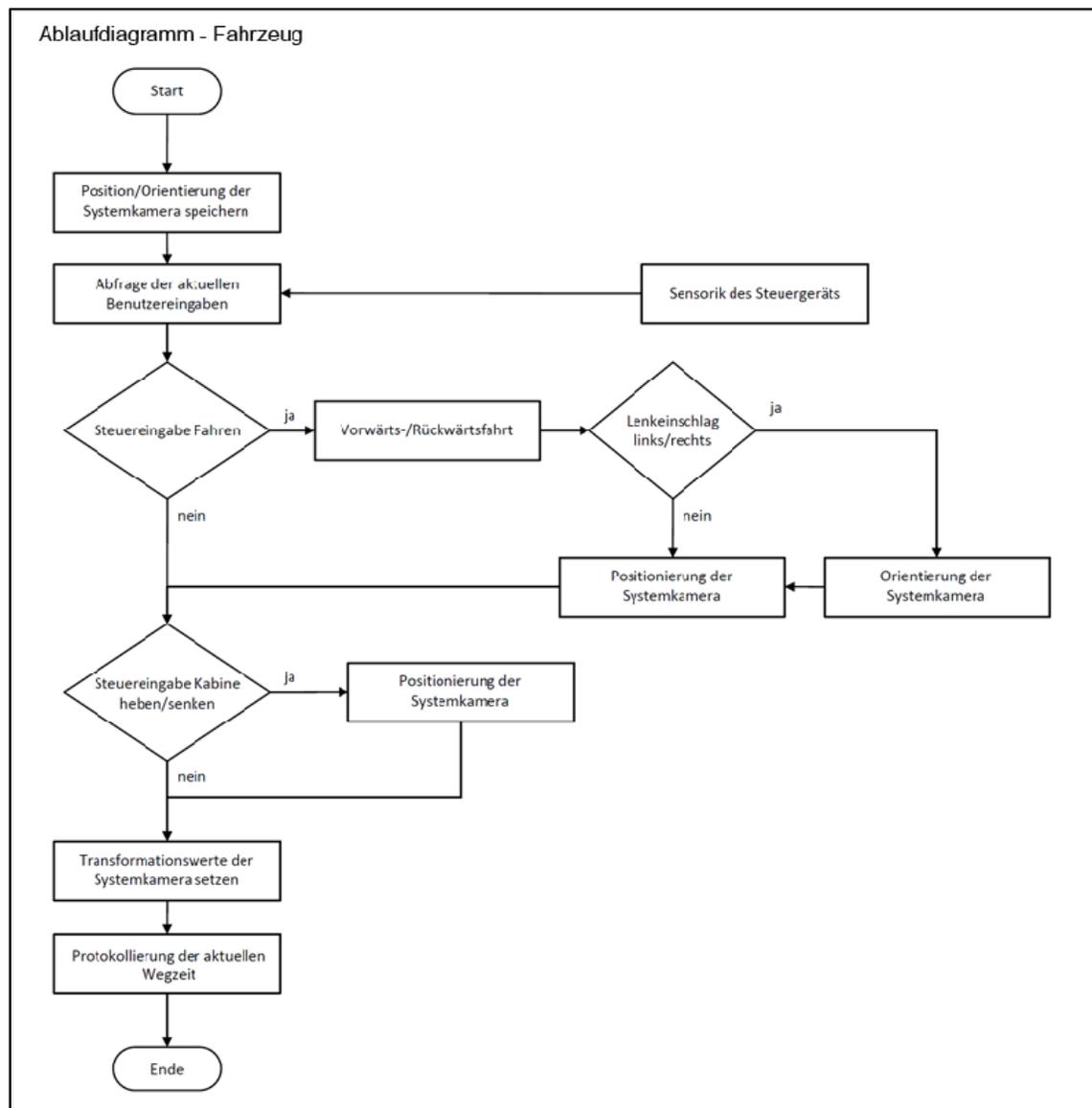


Abbildung 9-12: Ablaufdiagramm - Fahrzeug

9.2 Hardwareumsetzung

Nach Abschluss der Konzept- und Designphase wird mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen ein funktionsfähiger Demonstrator entwickelt und umgesetzt. Es wird zuerst die hardwaretechnische Umsetzung der geforderten Funktionalität besprochen. Abbildung 9-13 zeigt vorab den umgesetzten Aufbau des Funktionsmusters. Im Bild erkennbar sind das Head-Target, der Datenhandschuh, der Klettergurt mit Gürtel-Target sowie ein Joypad zur Steuerung des virtuellen Vertikalkommissionierers.



Abbildung 9-13: KomPlanVR Gesamtkonzept

9.2.1 Datenhandschuh

Wie bereits in der Konzeptphase erwähnt wurde, muss der Datenhandschuh lediglich um ein geeignetes Tracking-Target erweitert werden. Unglücklicherweise bietet der Handschuh standardgemäß keine passende Aufnahme, ein solches zu befestigen. Der Stoff des Handschuhs besteht zudem aus einem seide-ähnlichen Material,

weshalb eine Anbringung durch Annähen des Targets an diesen nicht so einfach umsetzbar ist. In Anlehnung an die während der Konzeptionsphase erstellten Prinzipskizzen wurde dennoch eine Lösung gefunden. Wie Abbildung 9-14 links zu entnehmen ist, besitzt der Handschuh in der Nähe des Handrückens ein kleines Plastikgehäuse. Darin befinden sich die Steuerplatine zur Verarbeitung der Sensordaten und die Anschlussmöglichkeit des USB-Kabels. Anstatt das Target direkt an das Gehäuse zu schrauben – was eine eventuelle Beschädigung der Steuerplatine zur Folge hätte – wurde es derart konstruiert, so dass es mittels Klemmwirkung am Gehäuse montiert werden kann (s. Abbildung 9-14, rechts).



Abbildung 9-14: Datenhandschuh mit Tracking-Target

9.2.2 Laufplattform

Im Gegensatz zum Datenhandschuh kann hinsichtlich der Laufplattform nicht auf eine bereits fertige Lösung zurückgegriffen werden. Vielmehr wird zur Abbildung des Gehvorgangs eine eigene Lösung gewählt. Wie im Abschnitt der Konzeptfindung bereits herausgestellt wurde, sieht das gegenwärtige Design eine Konstruktion basierend auf dem Prinzip eines sich bewegenden Gurtes vor. Zu diesem Zweck wurde auf ein am Markt erhältliches, computergesteuertes Laufband zurückgegriffen (s. Abbildung 9-15).

Das eingesetzte Laufband wird durch einen Elektromotor mit 1800 W Leistung angetrieben und kann sowohl von der Bedienkonsole des Laufbands als auch über eine serielle Schnittstelle (RS232) durch den PC angesteuert werden. Da das Laufband

für den geplanten Verwendungszweck ausschließlich von einem Rechner aus angesteuert wird, dient die Bedienkonsole nach dem Umbau lediglich als Statusanzeige.



Abbildung 9-15: Laufband Kettler Marathon HS [Ket-09]

Aus konstruktiver Sicht mussten zahlreiche Änderungen am Laufband vorgenommen werden, um eine realitätsnahe Interaktion mit dem Simulationsmodell zu gewährleisten. Erste Testläufe während der Entwicklungsphase haben gezeigt, dass die Anordnung der Bedienkonsole mit entsprechendem Vorderbau für die Benutzung des Laufbands zur virtuellen Kommissionierung nicht sehr vorteilhaft ist. Der Aufbau beeinträchtigt negativ das Sichtfeld des Anwenders und des Trackingsystems, wodurch eine einwandfreie Erfassung der Benutzerposition und damit einhergehend eine kontrollierte Geschwindigkeitsregelung nicht möglich ist. Diese Hemmnisse erforderten die Entfernung des gesamten Vorderbaus.

Aus Sicherheitsgründen muss allerdings gewährleistet sein, dass sich der Benutzer zu jedem Zeitpunkt festhalten kann. Zu diesem Zweck wurde eine eigens hierfür konstruierte Stützvorrichtung am Gestell des Laufbands befestigt. Die stabile Vorrichtung lässt dem Benutzer genügend Bewegungsfreiraum und ermöglicht ihm dennoch, in jeder Situation festen Halt zu finden. Eine weitere konstruktive Änderung wurde im Bereich des Antriebs durchgeführt. Aufgrund der ursprünglichen Abdeckung der Antriebseinheit konnte der vorderste Laufbandbereich, vor allem bei Be-

schleunigungsvorgängen, nicht genutzt werden. Eine eigens dafür konzipierte Abdeckung behebt diese Problematik und sorgt zusätzlich für mehr Trittfreiheit sowie einen optimalen Schutz der Antriebseinheit bzw. der Elektronik (s. Abbildung 9-16).



Abbildung 9-16: Laufband nach Umbau

Zur Ansteuerung des Interaktionsgeräts dienen zweierlei Tracking-Targets. Ein am Kopf befindliches Head-Target und das am Körper befestigte Gürtel-Target. Bezüglich des Head-Targets konnte auf das zur Grundausstattung des VR-Systems gehörende Target der Benutzerbrille zurückgegriffen werden. Das Gürtel-Target musste hingegen selbst entwickelt werden. In Anlehnung an die Umsetzung des Targets zur Identifizierung des Datenhandschuhs, ist das Gürtel-Target ähnlich ausgeführt. Es wurde anfangs so gestaltet, dass es sich durch Einhängen am Gürtel des Benutzers befestigen lässt (Abbildung 9-17).



Abbildung 9-17: Tracking-Target am Gürtel

Nach ersten Testläufen wurde allerdings ersichtlich, dass das bloße Anbringen des Tracking-Targets durch Einhängen am Gürtel nicht ausreichend ist. Bereits durch leichtes Vorbeugen kann es passieren, dass das Target herausfällt und der Benutzer somit nicht mehr in der Lage ist, die Laufbandgeschwindigkeit zu kontrollieren. Um dieser Problematik zu begegnen, wurde im Laufe der Entwicklung das Gürtel-Target an einem Klettergurt befestigt. Abbildung 9-18 zeigt die modifizierte Befestigung des Targets mittels Klettergurt.



Abbildung 9-18: Gürtel-Target am Klettergurt

9.3 Softwareumsetzung

Die softwareseitige Funktionalität von KomPlanVR wird der VR-Basissoftware mit Hilfe eines Plug-Ins hinterlegt. Das von RTT zur Verfügung gestellte SDK erlaubt es hierfür, gewisse Funktionen des Hauptprogramms direkt anzusteuern, wodurch die geforderte Funktionalität von KomPlanVR erst ermöglicht wird.

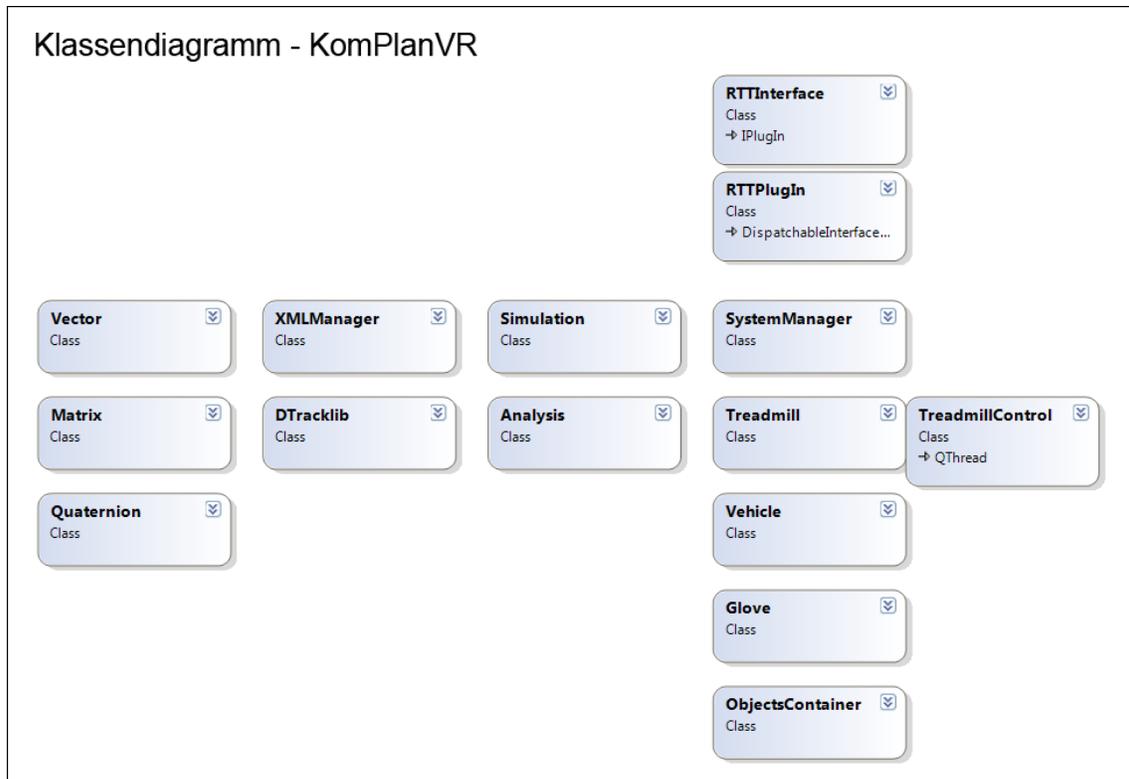


Abbildung 9-19: Klassendiagramm des Plug-Ins

Abbildung 9-19 zeigt den Aufbau der softwaretechnischen Umsetzung des Plug-Ins in Form eines Klassendiagramms. Im oberen Bereich sind die beiden Klassen *RTTInterface* und *RTTPlugIn* sichtbar. Sie bilden das Bindeglied zwischen dem Plug-In und der VR-Basissoftware. Innerhalb der eigentlichen Plug-In-Logik stellt die Klasse *SystemManager* den zentralen Mittelpunkt der Schnittstelle dar. Der *SystemManager* ist in erster Linie verantwortlich für die grundsätzlichen Vorgänge während der Abarbeitung der implementierten Abläufe. Darunter fallen u.a. die Initialisierung des Plug-Ins und die Aktualisierung der unterschiedlichen Teilmodule (Datenhandschuh, Laufplattform etc.). Hierfür bedient sich der *SystemManager* zusätzlicher

Klassen wie bspw. der Klasse *XMLManager*, welche Methoden zum Auslesen bzw. Speichern von XML-Dateien (Konfigurationsdateien, Simulationsergebnisse) definiert. Innerhalb der jeweiligen Teilmodule *Glove* (Datenhandschuh), *Treadmill* (Laufplattform), *Vehicle* (Fahrzeugsteuerung) und *Simulation* wurden die in Abschnitt 9.1.2 definierten Vorgänge, entsprechend den konzipierten Ablaufdiagrammen, implementiert. Weiterhin sind dem Klassendiagramm zahlreiche Hilfsklassen entnehmbar. Diese dienen vorwiegend zur Berechnung der Objekttransformationen (Vector, Matrix, Quaternion). Mit Hilfe der im Baustein *ObjectsContainer* enthaltenen Methoden werden unterschiedlichste Objektmanipulationen durchgeführt. Hierunter zählen vor allem die Kollisionsüberprüfung sowie die Modifikation von Objektfarben und -texturen.

Damit während des Simulationslaufs die eingesetzten Tracking-Targets entsprechend ausgelesen werden können, bedarf es einer adäquaten Schnittstelle zum Trackingsystem. Der Hersteller A.R.T. liefert hierzu ein SDK (DTrackLib), welches die Anbindung der Trackingsoftware und somit die kontinuierliche Abfrage der Tracking-Targets hinsichtlich ihrer aktuellen Lage und Orientierung ermöglicht.

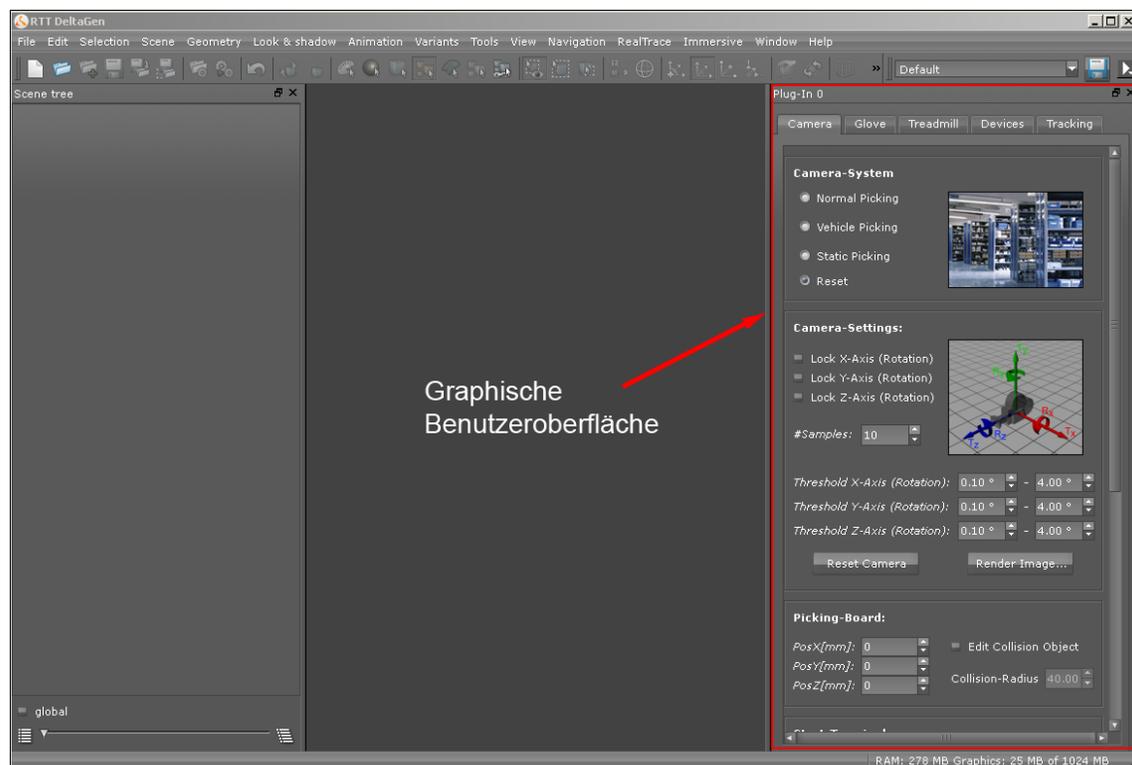


Abbildung 9-20: VR-Basissoftware mit geladenem Plug-In

Zusätzlich zu den im Hintergrund ablaufenden Routinen wurde eine intuitiv zu bedienende graphische Benutzeroberfläche erstellt. Diese ist im Hauptprogramm verankert und stellt zahlreiche Eingabemöglichkeiten für den Anwender bereit (s. Abbildung 9-20). Unter anderem können hier verschiedene Gesten für den Datenhandschuh definiert, Schwellwerte zur Regelung der Laufplattform eingestellt oder die Kollisionsradien der zur Kollisionsüberprüfung registrierten Objekte modifiziert werden.

10 Evaluierung des Funktionsmusters

In einer ersten Evaluierung wird die umgesetzte VR-Kommissionierung auf deren Funktionsfähigkeit überprüft. Hierzu wurde ein einfaches Probandenprogramm ausgearbeitet, welches sich sowohl mit hardware- als auch softwaretechnischen Fragestellungen auseinandersetzt. Das Ziel dieser Evaluierung ist es, die Benutzerfreundlichkeit der integrierten Interaktionsgeräte und die grundlegenden Funktionalitäten der Software zu untersuchen.

10.1 Aufbau des Labortests

Die Evaluierung wurde im VR-Labor und der Versuchshalle des Lehrstuhls fml durchgeführt. Nachfolgend wird der Versuchsaufbau näher beschrieben.

Die Versuchsreihe ist grundsätzlich in zwei separate Abschnitte unterteilt. Ersterer beinhaltet einen praktischen Testlauf mit dem umgesetzten System, gefolgt von einer anschließenden Beurteilung mittels eines Fragebogens.

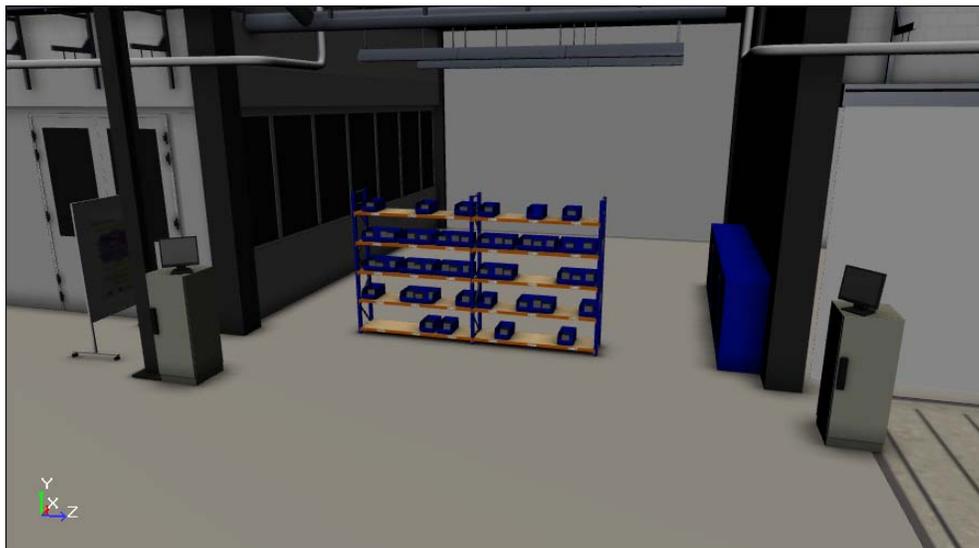


Abbildung 10-1: Testszenario zur VR-Kommissionierung

Zu Beginn der Versuchsreihe wird der Proband mit dem System vertraut gemacht. Hierzu erfolgt zunächst eine praktische Vorführung durch den Versuchsleiter. Sobald

der Proband mit den nötigen Interaktionsgeräten ausgestattet ist, startet er einen ersten Versuchslauf mit dem System. Damit der Proband zu Beginn nicht gleich überfordert wird, durchläuft er anfangs ein Testszenario mit nur einer einzigen Regalzeile, bestehend aus zwei Fachbodenregalen (s. Abbildung 10-1). Diese sind mit greifbaren Objekten ausgestattet wodurch er bereits sporadische Greifvorgänge durchführen kann.

In einem weiteren Teil der Versuchsreihe wird die Übertragbarkeit der Simulationsdaten auf einen realen Aufbau überprüft. Hierzu wurde im Vorhinein der Lagerbereich der Versuchshalle als 3D-Modell nachgebaut und greifbare Objekte in den dort vorhandenen Fachbodenregalen hinterlegt. Abbildung 10-2 zeigt im linken Teil die reale Lagerumgebung, rechts deren virtuelle Repräsentation.

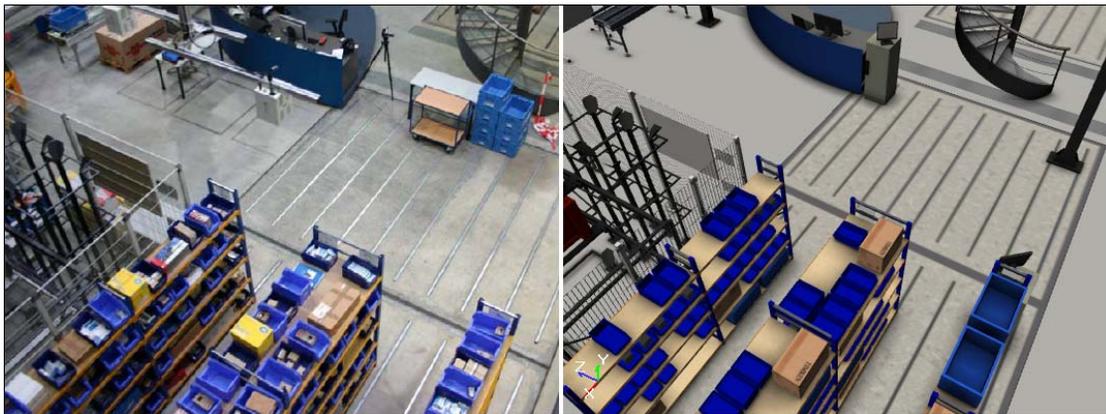


Abbildung 10-2: Versuchsumgebung – Realität vs. Virtuell

Die Aufgabe des Probanden ist es, mittels der Laufplattform die – entsprechend des Kommissionierauftrags definierten – Lagerorte abzulaufen und die geforderte Anzahl an Objekten zu kommissionieren. Anschließend wird derselbe Kommissioniervorgang im realen Aufbau der Versuchshalle durchgeführt. Eine Messung der dafür benötigten Zeitspannen soll eine Basis für den Vergleich zwischen realer und virtueller Kommissionierung schaffen. Die Aufträge wurden hierzu bewusst so zusammengestellt, sodass ein optimaler Vergleich zwischen realer und virtueller Umgebung stattfinden kann. Im weiteren Sinne handelte es sich ausschließlich um Artikel mit sehr geringem Gewicht, welche zu gleichen Teilen sowohl in einer optimalen Greifhöhe (D-Ebene) als auch aus einer nur durch stark gebückte Haltung einzunehmenden Höhe (B-Ebene) gegriffen werden können.

Einsatzszenario 2 – Kommissionieren mit Vertikalkommissionierer – wurde aufgrund der fehlenden Vergleichsmöglichkeit durch ein reales System nicht in die Evaluierung mit aufgenommen

Jeder Proband füllt nach Abschluss des praktischen Labortests einen 10-seitigen Fragebogen (s. Anhang B: Fragebogen Evaluierung des Funktionsmusters KomPlanVR) aus. Hiermit wird der Proband nach seiner subjektiven Beurteilung bezüglich des umgesetzten Systems befragt, zugleich hat er die Möglichkeit, etwaige Anmerkungen hinsichtlich auftretender Probleme oder Verbesserungsvorschläge zu machen. Der Fragebogen zielt auf folgende Punkte ab:

- Umsetzung und Integration der Interaktionsgeräte
- Umsetzung des Kommissionierprozesses
- Kognitive Belastung
- Visualisierungsqualität
- Akzeptanz und Potenzial

10.2 Durchführung des Labortests

Nach kurzer Einweisung des Versuchsleiters zum Projekthintergrund, wurde dem Probanden der Ablauf und das angestrebte Ziel der Versuchsreihe erläutert. Im Anschluss daran führte der Versuchsleiter das System in seiner Bedienung vor. Nachdem erste Fragen geklärt waren, wurde der Proband mit den Interaktionsgeräten ausgestattet und begann mit dem ersten Lauf im Testszenario.

Sobald der Proband mit dem Verhalten des Systems vertraut war, konnte in die zweite Testumgebung gewechselt werden. Nach kurzer Eingewöhnungsphase in die neue Modellumgebung wurde mit dem Vergleichslauf begonnen. Der Lauf sah vor, drei Kommissionieraufträge mit einer variierenden Anzahl an Positionen zu kommissionieren. Sobald der Proband mit seiner Hand das virtuelle Startterminal berührte, startete der Simulationslauf. Die Simulationsdauer wurde zusätzlich mit einer manuellen Messeinrichtung festgehalten. Nach Beendigung der virtuellen Kommissionierung wurde die Testumgebung in die Versuchshalle verlegt, in welcher die reale Kommissionierung erfolgte. Dort musste der Proband dieselben Aufträge wie bereits im VR bearbeiten. Als Anzeigemedium für den aktuellen Kommissionierauftrag dien-

te ihm hierbei eine Kommissionierliste in Papierform. Zur Ablage der gepickten Artikel kam ein Kleinladungsträger auf einem gewöhnlichen Kommissionierwagen zum Einsatz. Der gesamte Ablauf, ab dem Zeitpunkt der Auftragsannahme bis hin zur Abgabe des Behälters, wurde für die später folgende Auswertung vom Versuchsleiter mit Hilfe eines Videomittschnitts festgehalten.

Nach Abschluss des praktischen Teils füllte der Proband den Fragebogen aus. Während der Versuchsreihe wurden Fehler beim System oder sonstige Vorkommnisse in einem Versuchsprotokoll durch den Versuchsleiter festgehalten.

10.3 Ergebnisse der Evaluierung

In diesem Abschnitt erfolgt die Auswertung der Versuchsreihe. Hierzu werden die Ergebnisse aus dem virtuellen und realen Kommissioniervorgang sowie die Antworten aus den Fragebögen ausgewertet. An der Versuchsreihe nahmen insgesamt 7 Probanden teil. Bei den Probanden handelte es sich um 6 Akademiker und 1 Studenten. Das Durchschnittsalter betrug 29,1 Jahre, wobei der jüngste 26 und der älteste 32 Jahre alt war. Tabelle 10-1 zeigt die Verteilung der Probandenstruktur sowie weitere Eigenschaften.

Tabelle 10-1: Probandenstruktur der Evaluierung

Probandenstruktur			
Alter	Durchschnitt	Max. Alter	Min. Alter
	29,1	32	26
Geschlecht	Weiblich	Männlich	
	0,0 %	100,0 %	
Ausbildung	Akademiker	Student	
	85,7 %	14,3 %	
Sehhilfe	Brille	Kontaktlin- sen	Keine
	28,6 %	0,0 %	71,4 %
Erfahrung	Viel	Etwas	Keine
Kommissionierung	28,6 %	28,6 %	42,8 %
3D-CAD	42,8 %	42,8 %	14,4 %
3D-Kinofilme	14,3 %	57,1 %	28,6 %
Computerspiele	57,1 %	28,6 %	14,3 %
Virtual/Augmented Reality	28,6 %	71,4%	0,0 %

10.3.1 Auswertung des Versuchslaufs

Die Ergebnisse des Versuchslaufs werden im Folgenden hinsichtlich der erfassten Zeitreihen ausgewertet.

10.3.1.1 Kommissionierzeit

Wie Abbildung 10-3 zu entnehmen ist, benötigen die Benutzer durchschnittlich 2,5 Minuten zur Abarbeitung der realen Kommissionierumrundfahrt. In der virtuellen Umgebung wurde hingegen eine Zeitdauer von ungefähr 5,6 Minuten registriert. Der Vergleich der durchschnittlichen Gesamtkommissionierzeit zeigt, dass die virtuelle Kommissionierung im Vergleich zur realen annähernd 60 % mehr Zeit in Anspruch nimmt. Zur Erklärung dieser Abweichung werden die einzelnen Zeitanteile (Greif-, Tot-, und Wegzeit) genauer untersucht. Hierzu wird das Videomaterial mittels einer Zeitaufnahmeeinrichtung analysiert und die jeweiligen Zeitkomponenten in ihrer Dauer bestimmt.

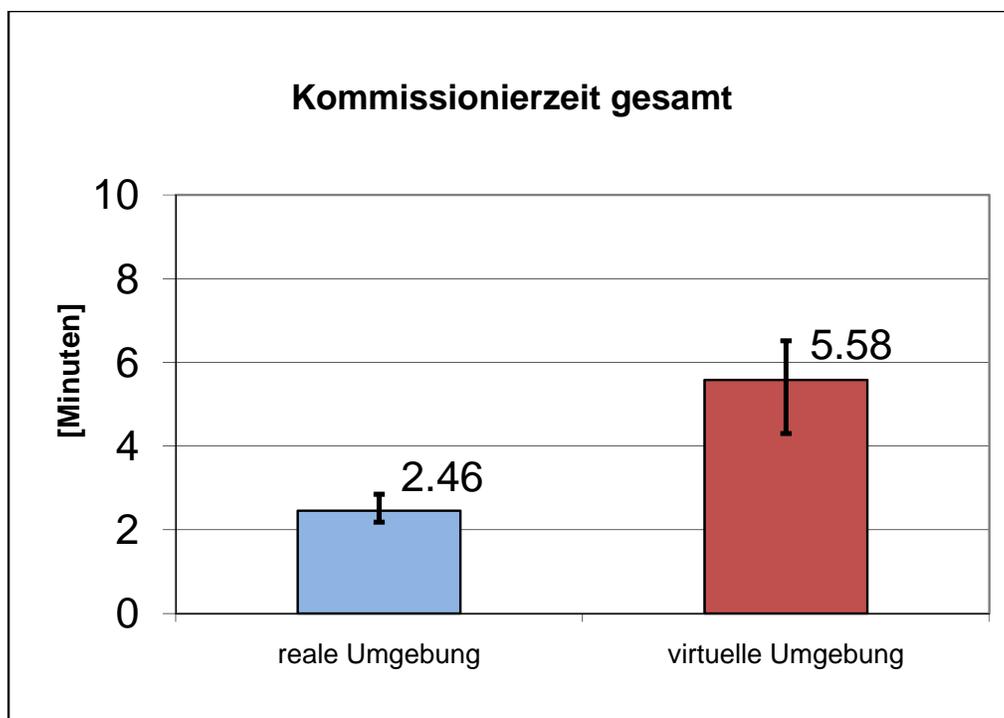


Abbildung 10-3: Durchschnittliche Gesamtkommissionierzeit

10.3.1.2 Wegzeit

Der geringste Unterschied zwischen realer und virtueller Kommissionierung konnte in der Wegzeit ermittelt werden. Hierbei lässt sich lediglich eine minimale Abweichung feststellen. Liegt die durchschnittliche Wegzeit bei ca. 1,1 Minuten im realen Umfeld, sind es ca. 1,3 Minuten in der virtuellen Umgebung. Dieser Umstand lässt die Aussage zu, dass das Interaktionsgerät zur Fortbewegung eine realistische Abbildung des Gehens in der Virtuellen Umgebung zulässt.

Dieser Wert ist hinsichtlich einer automatischen Zeiterfassung jedoch mit Vorsicht zu genießen. Der Kollisionsalgorithmus überwacht ausschließlich den Vorgang des Greifens. Eine Kollisionsüberprüfung der Kamerabewegung und der statischen Regale findet indessen nicht statt. Somit könnte der Benutzer den Weg abkürzen, indem er durch ein Regal hindurch läuft, wodurch sich die registrierte Wegzeit entsprechend reduziert. Der im Diagramm dargestellte Wert für die Wegzeit bezieht sich auf den Videomitschnitt und wurde um eventuell auftretende Abkürzungen bereinigt.

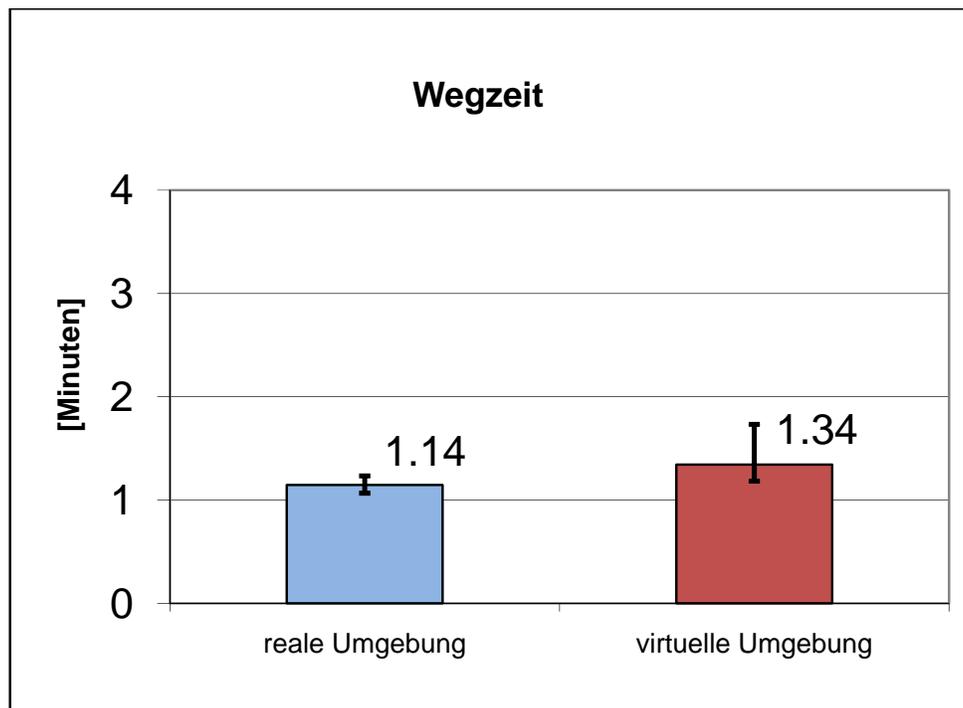


Abbildung 10-4: Durchschnittliche Wegzeiten

10.3.1.3 Greifzeit

Die Gegenüberstellung der Greifzeiten (s. Abbildung 10-5) lässt erkennen, dass die Ergebnisse sehr große Differenzen aufweisen. Liegt die Zeitdauer des Greifvorgangs in der realen Umgebung bei durchschnittlich 0,6 Minuten, so benötigten die Probanden im virtuellen Lager ungefähr 1,7 Minuten um alle Artikel zu greifen.

Dies lässt sich vor allem auf folgende Tatsache zurückführen. Im VR wird ein gegriffener Artikel erst als abgelegt gewertet, sobald eine Kollision der Hand mit der Ablagefläche vorliegt. Dem gegenüber steht der reale Vorgang, bei dem die Artikel lediglich in den Kommissionierbehälter geworfen werden können. Darüber hinaus kann der Greifvorgang im Virtuellen ausschließlich mit einer Hand (ein Datenhandschuh) durchgeführt werden. In der Realität ist der Benutzer hingegen im Stande, beide Hände zur Kommissionierung zu verwenden.

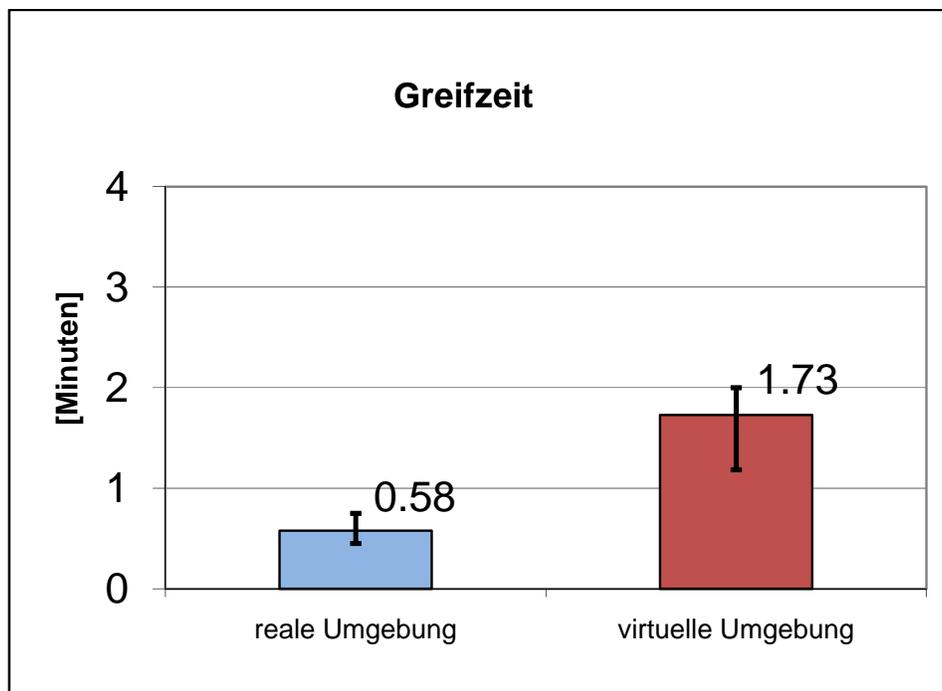


Abbildung 10-5: Durchschnittliche Greifzeiten

10.3.1.4 Totzeit

Wie Abbildung 10-6 zu entnehmen ist, liegt hinsichtlich der Totzeit ein Unterschied von knapp 55 % zwischen der realen und virtuellen Versuchszeit vor. Im Mittel ist

über alle drei Aufträge gesehen bei der virtuellen Kommissionierung in etwa 1,4 Minuten mehr Totzeit zu verzeichnen.

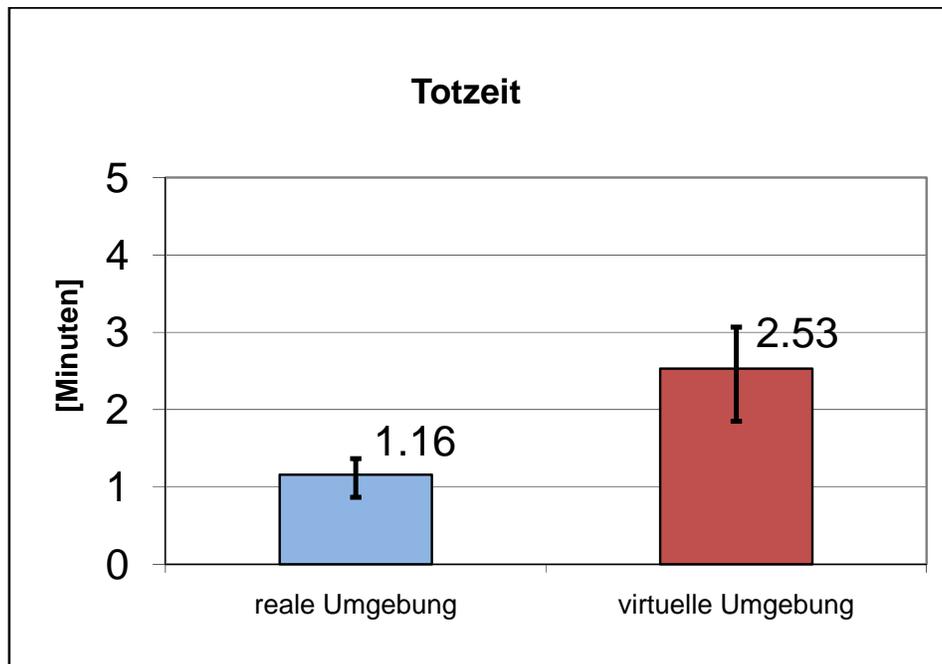


Abbildung 10-6: Durchschnittliche Totzeiten

Dieser Wert lässt sich in erster Linie dadurch begründen, dass die standardmäßig verbaute Laufbandsteuerung aus Sicherheitsgründen erst mit gewissem zeitlichem Abstand den Hauptantrieb startet. Der Algorithmus zur Laufplattformregelung ist so gestaltet, dass die real vorliegende Geschwindigkeit des Laufbands abgefragt wird, bevor sich die VR-Systemkamera entsprechend in Bewegung setzt. Passiert dieser Vorgang nicht unverzüglich, so beharrt der Benutzer in seiner virtuellen Position, obwohl er sich längst vorwärts bewegen wollte.

Gleichzeitig konnten die Probanden während der VR-Kommissionierung die Regalmarkierungen nicht sofort identifizieren. In der Realität geht der Kommissionierer vorwärts und blickt währenddessen zur Seite um die Markierungen abzulesen. Im virtuellen Lager ist dieser Vorgang indessen nicht möglich. Für die Fortbewegung geschieht die Berechnung der Kamerafahrt mittels der aktuellen Blickrichtung in Kombination mit der momentanen Geschwindigkeit der Laufplattform. Will der Proband nun die Regalmarkierungen ablesen während er sich vorwärts bewegt, leitet er

außerhalb des fest definierten Totbereichs¹ umgehend eine Neuausrichtung und damit einhergehend einen Richtungswechsel der Kamerafahrt ein.

Des Weiteren wurde der Aufruf der virtuellen Kommissionierliste teilweise nicht sofort ausgeführt. Solange der Kommissionierer nicht weiß, welche Position er als nächstes greifen muss, verbleibt er ohne Arbeit zu verrichten in seiner ursprünglichen Lage. Hier lässt sich die Problematik der uniformen Größe des Datenhandschuhs feststellen. Vor allem bei Probanden mit großen Händen kam es des Öfteren vor, dass sich die Messstreifen der Finger – vorwiegend des Mittelfingers – bei der Victory-Geste (Aufruf der Kommissionierliste) stauchten. Dadurch konnte diese nicht eindeutig vom System identifiziert werden und eine entsprechende Aktion blieb aus. Es bedurfte zuerst einer Neujustierung durch den Benutzer, damit die Geste wieder als solche erkannt wurde. Dieses Fehlverhalten trat hingegen beim Greifvorgang nicht auf. Hier werden die Messstreifen ausschließlich gebeugt, weshalb selbst bei Probanden mit großen Händen keinerlei Probleme auftraten.

10.3.1.5 Versuch ohne B-Ebene

Die eben dargestellten Diagramme zeigten, dass deutliche Unterschiede in den durchschnittlichen Zeitanteilen vorliegen. Vor allem bezüglich der Greifzeiten ist eine merkliche Differenz wahrnehmbar. Es konnten bereits verschiedene Gründe angeführt werden, womit dieser Umstand zu begründen ist. Ein Aspekt wurde jedoch noch nicht betrachtet. In den aufgezeichneten Simulationsläufen war ersichtlich, dass die Probanden teils erhebliche Probleme im Greifen von Artikeln aus der untersten Regalebene hatten. Wie bereits zu Beginn des Abschnitts erläutert, wurden die zu kommissionierenden Artikel entsprechend der Auftragspositionen auf beiden Regalebene (B-Ebene, D-Ebene) zu gleichen Teilen bereitgestellt. Um eventuelle Rückschlüsse hinsichtlich der Lage der Artikel zu ziehen, wurde erneut das aufgezeichnete Videomaterial herangezogen und um die benötigten Zeitanteile für den Greifvorgang aus der B-Ebene bereinigt. Für die Gegenüberstellung lagen demnach nur die durchschnittlichen Greifzeiten von Artikeln aus der D-Ebene vor.

¹ Innerhalb des Intervalls +/- 5° um die Kamerahochachse erfolgt keine Änderung der aktuellen Blickrichtung

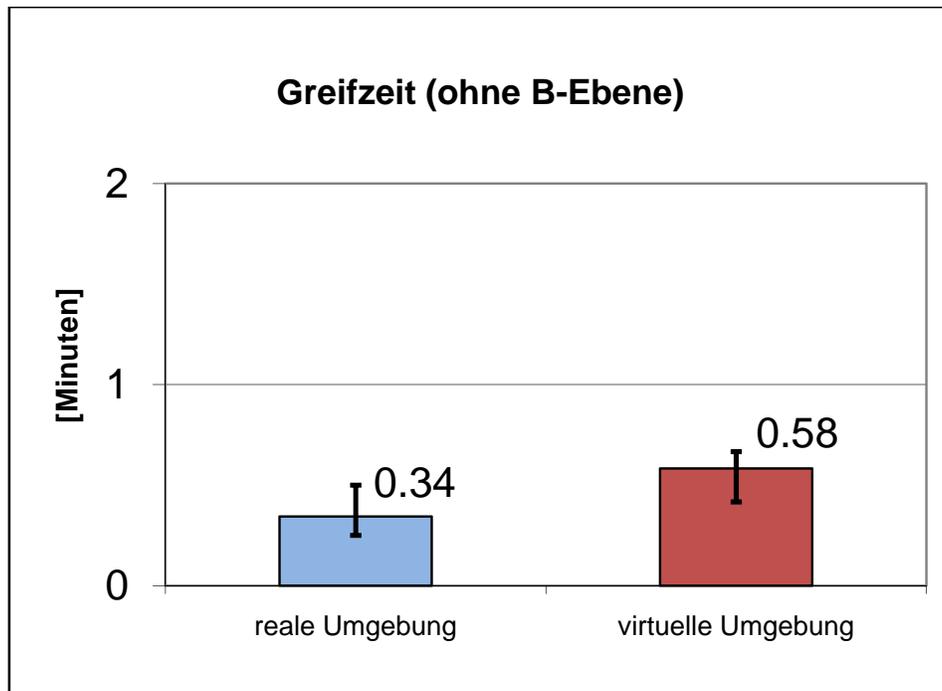


Abbildung 10-7: Durchschnittliche Greifzeiten (ohne B-Ebene)

Der erneute Vergleich lässt die Vermutung nahe, dass die Verteilung der Positionen im Lager eine mehr als beachtliche Rolle spielt. Könnte bei einer Gleichverteilung der Artikel ein Unterschied von knapp 70% festgestellt werden, lag die Differenz zwischen realer und virtueller Kommissionierung ohne B-Ebene bei etwas über 40%. Im Hinblick auf eine korrekte Interpretation des Simulationslaufs, um anschließend Rückschlüsse für die reale Planung zu ziehen, gilt es deshalb diesen Umstand einzubeziehen. Denkbar wäre, hierfür einen konstanten Faktor bezogen auf die Regal-ebenen respektive klassifizierten Greifhöhen einzuführen. Dieser müsste für jeden Probanden mittels eines Testlaufs vor Beginn der VR-Kommissionierung definiert sein. Sobald der Wert vorliegt, kann dieser mit jeder Auftragsposition verrechnet werden, wodurch die Problematik der Greifhöhe berücksichtigt wäre.

10.3.2 Auswertung des Fragebogens

Die Auswertung der Fragebögen bescheinigte dem umgesetzten Funktionsmuster ein überwiegend positives Feedback. Im Hinblick auf die realitätsnahe Abbildung des Kommissioniervorgangs schätzten die Probanden das System als gelungen ein (74,3%). Hinsichtlich der einfachen Bedienung des Funktionsmusters konnte ein Großteil der Befragten seine Zustimmung aussprechen (77,1%). Die Einarbeitungszeit, damit präzise, realitätsnahe Aussagen getroffen werden können, wird als länger andauernd gesehen (17,1%). Dies ist vor allem auf die Gewöhnungsphase der Laufplattform zur Fortbewegung zurückzuführen. Hingegen dazu könnte sich ein Teil der Probanden vorstellen, das Funktionsmuster zu Schulungszwecken zu verwenden (54,3 %).

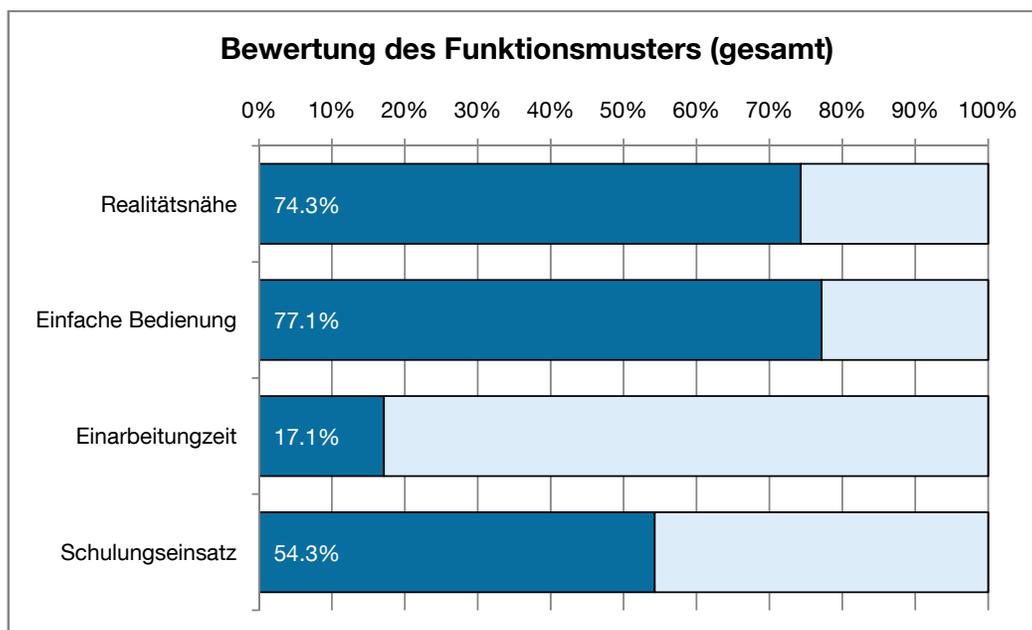


Abbildung 10-8: Bewertung des Funktionsmusters

Datenhandschuh

In Bezug auf den eingesetzten Datenhandschuh wird die Genauigkeit beim Greifvorgang mit 77,1 % als gut empfunden. Hierbei sei jedoch anzuführen, dass es des Öfteren Probleme mit der Geste zum Anzeigen der virtuellen Kommissionierliste gab. Die entsprechenden Probanden vermerkten dies auf dem Fragebogen.

Das Anlegen und der Tragekomfort des Handschuhs wurden mit 85,7 % als äußerst positiv bewertet. Mit 71,4% sahen die Probanden in der fehlenden Rückmeldung bezüglich des Artikelgewichts keinerlei Grund zur Beanstandung. Ebenso spielt das fehlende Artikelgewicht keine größere Rolle beim virtuellen Kommissioniervorgang (62,9%). Dies ist in erster Linie auf die Auswahl der realen Greifobjekte zurückzuführen. Die zu kommissionierenden Artikel waren im Lagerbereich der Versuchshalle ausschließlich als kleine, leere Schachteln ausgeführt. Die Umsetzung der greifbaren Objekte als 3D-Würfel wurde mit einer Zustimmung von 68,6% als angemessene Darstellung in der Simulation empfunden.

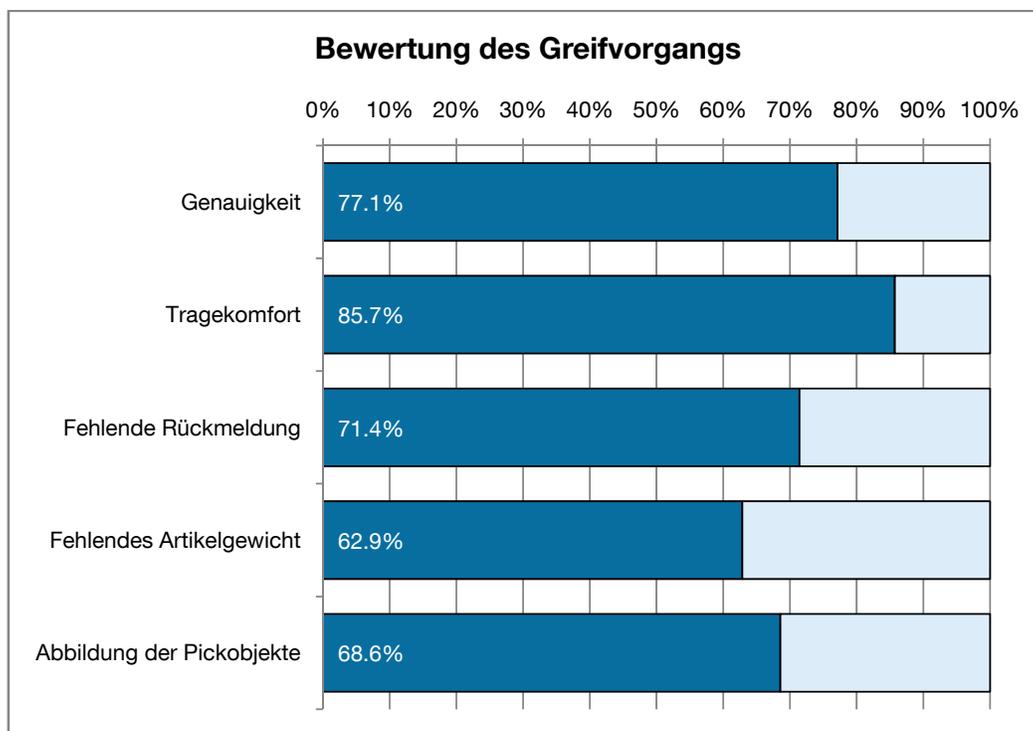


Abbildung 10-9: Bewertung des Greifvorgangs mittels Datenhandschuh

Kommissionierliste / Regalmarkierung

Hinsichtlich der Funktionalität der virtuellen Kommissionierliste wurde diese mit einem Wert von 57,1% für ausreichend erachtet. Den Kommentaren der Probanden zu Folge wünschten sich zahlreiche Benutzer ein weiteres Instrument zur Informationsbereitstellung, u.a. einen Barcode-Scanner. Die Lesbarkeit der virtuellen Kommissionierliste wurde mit 74,3% als gut befunden. Hingegen dazu fand die Darstellung der am Regal befindlichen Markierungen einen Zuspruch von nur 65,7%.

Dies ist vor allem durch die teils mangelnde Ausleuchtung der Markierungen begründet. Falls der Proband schräg auf die Markierung blickte, wurde diese nicht im vollen Licht dargestellt. Er musste erst einen Positionswechsel durchführen, bevor diese wieder vollständig sichtbar waren. Gleichzeitig sei hier erneut die schon hinsichtlich der Totzeit erläuterte Problematik bezüglich der Identifikation der Regalmarkierungen und dem Algorithmus zur Fortbewegung zu erwähnen.

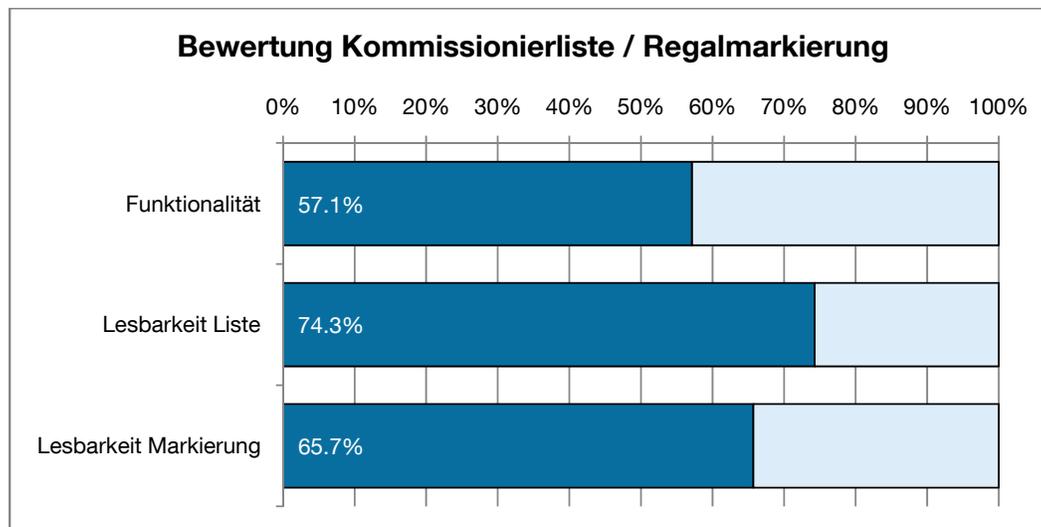


Abbildung 10-10: Bewertung Kommissionierliste / Regalmarkierungen

Laufplattform

Die Lösung mit einem motorkraftbetriebenen Laufband empfanden die Probanden mit einer Zustimmung von 74,3% als gelungen. Die Navigationsmöglichkeit mit Hilfe der aktuellen Blickrichtung wurde von den Probanden mit 62,9% eingestuft. Hinsichtlich des Ansprechverhaltens der Motorsteuerung bewertete ein Großteil der befragten Personen diese jedoch als zu träge. Der Beschleunigungsvorgang konnte noch einen akzeptablen Wert von 57,1% erreichen, wohingegen die Verzögerung des Laufbandgurts mit 34,3% eingestuft wurde. Wie bereits im Abschnitt der Zeitauswertung (Totzeit) kurz erläutert wurde, ist das langsame Regelverhalten auf die Sicherheitsvorkehrung der Laufbands zurückzuführen. Im Falle der Verzögerung bis zum Stopp der Laufplattform, wird der Gurt mittels der eingebauten Not-Aus-Regelung zum Stillstand gebracht. Im Normalbetrieb – d.h. als Trainingsgerät – ist jedoch erwünscht, dass dieser Zustand nicht unverzüglich erreicht wird, sondern

vielmehr als kontinuierliches Bremsen stattfindet. Die werkseitig verbaute Regelung kann in der Hinsicht von außen nicht beeinflusst werden, weshalb es zu überlegen gilt, ob die Laufbandregelung zukünftig nicht durch eine eigene Implementierung ersetzt wird.

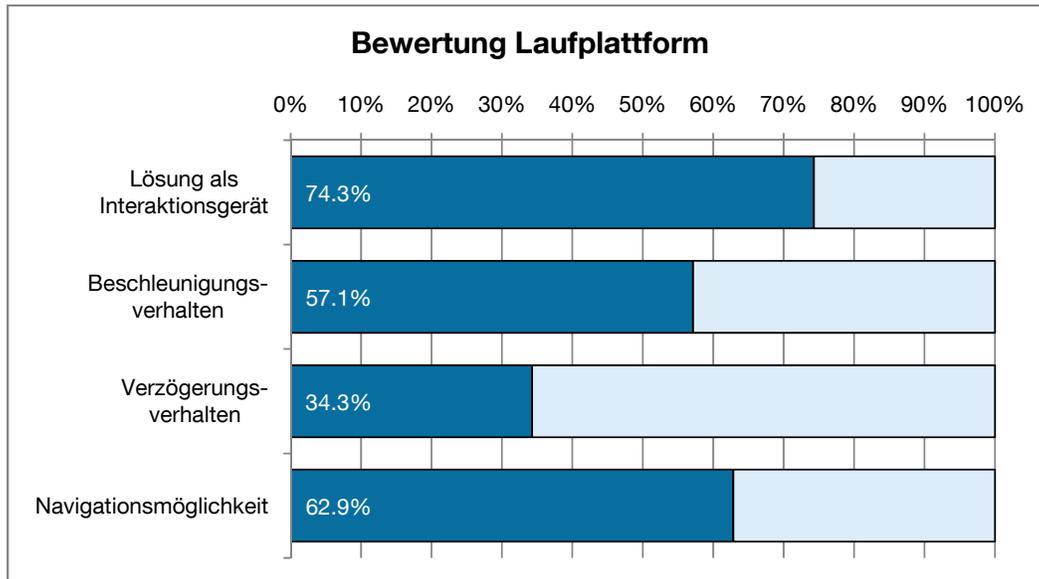


Abbildung 10-11: Bewertung der Laufplattform

Kognitive Belastung

Die Auswertung der Belastungsanalyse hat ergeben, dass die Probanden zur Erledigung der realen Kommissionieraufgabe deutlich geringerer geistiger Aktivität und entsprechendem Stress ausgesetzt waren als in der virtuellen Umgebung. Belegten die Fragebögen ein Ergebnis von 11,4% für beide Aspekte in der realen Umgebung, wurden hingegen 51,4% und 40,0% hinsichtlich der virtuellen Kommissionierung registriert.

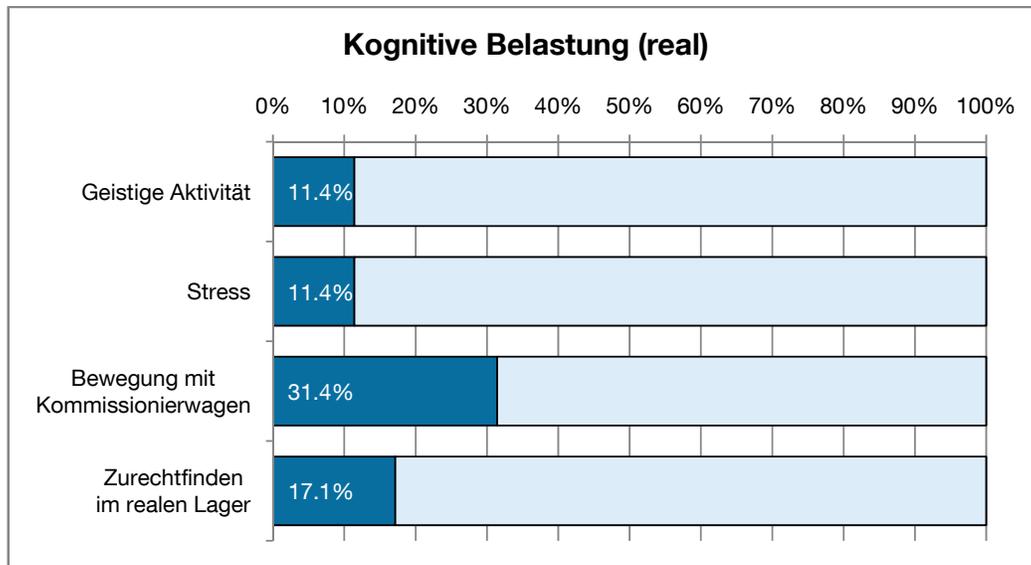


Abbildung 10-12: Kognitive Belastung (real)

Der äußerst hohe Wert für die Belastung, sei es hinsichtlich psychischer als auch physischer Natur, lässt sich u.a. auf folgenden Umstand zurückführen. Konnte der Großteil der Probanden praktisch problemlos mit der Laufplattform umgehen, so hatten zwei der Probanden selbst im letzten Auftrag noch erhebliche Schwierigkeiten, die Fortbewegung optimal zu steuern. Bezüglich der Orientierung und dem Zurechtfinden im Lager wurde dies im realen Lager mit 17,1% ebenfalls besser bewertet als in der virtuellen Umgebung (33,3 %).

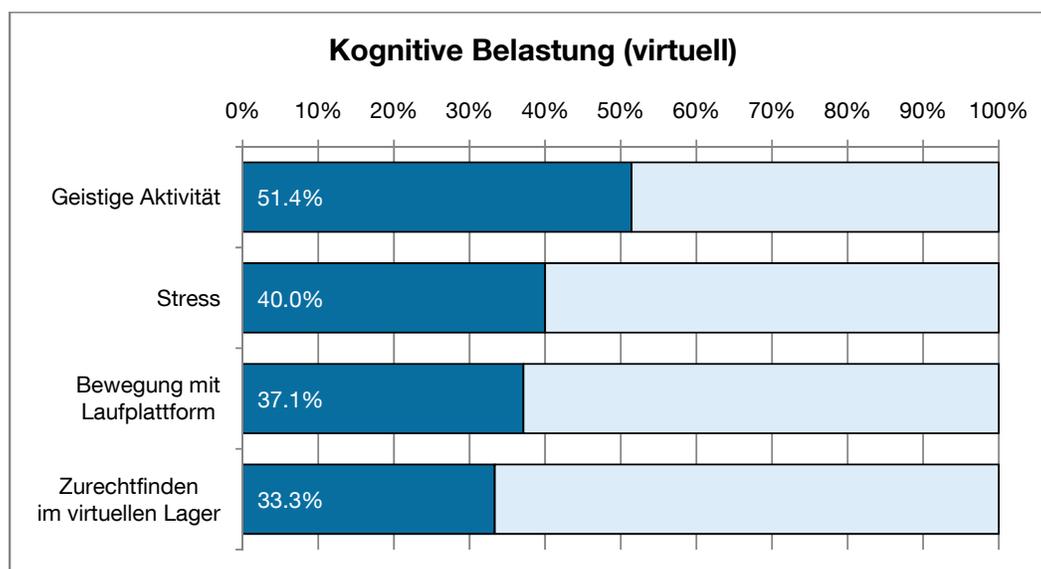


Abbildung 10-13: Kognitive Belastung (virtuell)

Visualisierungsqualität

Bezüglich der Qualität der dargestellten Bilder wurde diese von den Probanden einstimmig (100%) als sehr gut und dahingehend als äußerst realitätsnah bewertet. Über etwaige Beschwerden konnten 29% der Benutzer etwas Augenermüdung beklagen, 71% hingegen verspürte keine Probleme (s. Abbildung 10-14). Dieser Wert ist in Anlehnung an die relativ kurzen Simulationsläufe im VR jedoch mit Vorsicht zu genießen. Das Thema Cybersickness spielt vor allem im Hinblick auf längere VR-Sitzungen eine große Rolle und ist deswegen durchaus zu berücksichtigen. Überdies, wenn dem Benutzer im VR eine aktive Bewegung vorgetäuscht wird (Laufplattform, Fahrzeug) durch die Kinästhetik jedoch keinerlei reale Fortbewegung registriert wird, kann dies rasch zu unerwünschten Reaktionen wie Kopfschmerzen oder Unwohlsein führen.

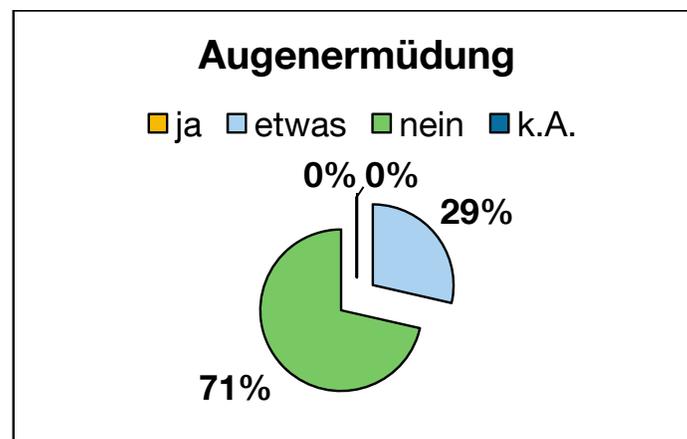


Abbildung 10-14: Augenermüdung

Potenzial von KomPlanVR

Den zukünftigen Einsatz eines derartigen Werkzeugs zur Kommissioniersystem-Planung sehen die Probanden unterschiedlich. Wie dem Diagramm in Abbildung 10-15 zu entnehmen ist, gibt es starke Differenzen bezüglich ihrer Aussagen. Jeweils 14% halten den Einsatz in entweder 20 oder sogar schon in fünf Jahren möglich. Weiterhin finden 29% der Befragten diese Methodik für real nicht durchsetzbar. Der Großteil von 43 % bewertet ihn hingegen als zukünftiges Instrument zur

Kommissioniersystem-Planung, welcher jedoch erst in ca. 10 Jahren praxistauglich ist.

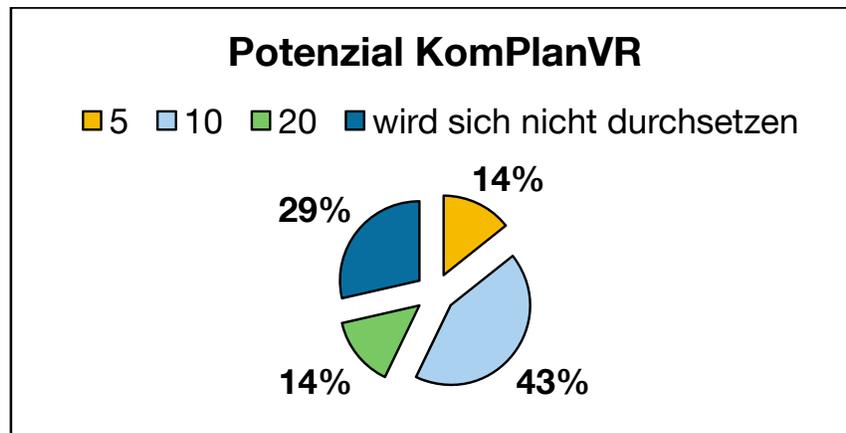


Abbildung 10-15: Potenzial von KomPlanVR

10.3.3 Erkenntnisse

Im Praxistest hat sich gezeigt, dass das entwickelte System zwar einer gewissen Eingewöhnungsphase bedarf, danach – bis auf ein paar wenige Ausnahmen – aber relativ problemlos eingesetzt werden kann. Die Benutzung stellt sich als intuitiv heraus, d.h. die Funktion des Systems wird schnell verstanden. Lediglich die Anpassung an die Dynamik des Gerätes erfordert etwas Übung. Diesbezüglich gilt es zu überlegen, ob das verwendete Prinzip mittels Gürtel-Target die Laufbandregelung zu beeinflussen, zukünftig eventuell durch eine andere Technologie ersetzt wird. Während des Versuchslauf kam es vereinzelt vor, dass sich die Probanden zum Greifen zu weit nach vorne lehnten und durch die damit einhergehende Verlagerung des Gürtel-Targets in den als Beschleunigungszone definierten Trackingbereich ein unbeabsichtigtes Anlaufen der Laufplattform auslösten. Wie bereits in Kapitel 9.1.1 herausgearbeitet, könnte ein Laserscanner – zumindest zur Regulierung der Laufbandgeschwindigkeit – herangezogen werden. Ein Beschleunigungsvorgang würde nur dann freigegeben werden, sobald der Benutzer einen aktiven Schritt nach vorne tätigt, wodurch diese Problematik gelöst wäre.

Die registrierten Zeiten bzw. der Vergleich zwischen der Kommissionierung in realer und virtueller Umgebung konnten Aufschluss im Hinblick auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse geben. Es zeigte sich, dass neben den eingesetzten Interaktionsgeräten zudem die Greifhöhen starken Einfluss auf die Resultate bewirken (v.a. Greifzeit). Wie bereits erläutert, könnte dieser Umstand durch einen anfangs definierten, benutzerbezogenen Faktor berücksichtigt und den Simulationswerten aufgerechnet werden, wodurch die Ergebnisse unverfälscht und zur Auslegung und Bewertung zukünftiger Systeme verwertbar sind.

11 Überarbeitung des Funktionsmusters

Die Evaluierung des Funktionsmusters zeigte, dass die Grundfunktionalität des Demonstrators generell umgesetzt wurde, jedoch in manchen Punkten noch Optimierungsbedarf besteht.

Zu Beginn dieses Abschnitts werden diesbezüglich die von den Probanden bemängelten Aspekte kurz dargestellt. Darauf folgend wird versucht, diese durch entsprechende hard- und softwaretechnische Maßnahmen zu kompensieren bzw. ganz zu eliminieren. Ein erneuter Probandenlauf zeigt anschließend, ob und in welcher Art und Weise die durchgeführten Modifikationen bzw. Neuerungen zur Verbesserung des Funktionsmusters beitragen.

11.1 Handlungsfelder für Optimierungsmaßnahmen

Während der Versuchsreihe für den Versuchsleiter deutlich sichtbar und durch manche Probanden bemängelt wurde die kabelgebundene Anbindung des Datenhandschuhs an den Steuerrechner. Vor allem wegen der Abstützvorrichtung der Laufplattform kam es vereinzelt vor, dass der Greifvorgang aufgrund des Hängenbleibens an dieser in der Ausführung unterbrochen werden musste. Ein optimaler Simulationslauf war aus diesem Grund teils nicht mehr gegeben.

Wie in Kapitel 8 bereits herausgearbeitet wurde, bietet der Hersteller des Datenhandschuhs für den kabellosen Einsatz eine spezielle Zusatzeinrichtung an. Der 5DT - Wireless Kit erlaubt es, den Datenhandschuh über eine am Körper getragene Sendeeinheit mittels Funkübertragung mit dem Rechner zu verbinden. Die äußerst hohen Kosten dieser Erweiterung widersprechen jedoch der Anschaffung des Wireless Kits, weshalb nach bestehenden Alternativen gesucht wurde.

Eine Recherche ergab, dass mittlerweile so genannte Wireless USB-Hubs auf dem Markt verfügbar sind. Gewöhnlich finden diese ihren Einsatz als kabellose Anbindung von Rechnerperipherie wie bspw. Drucker oder Scanner (s. Abbildung 11-1). Im Rahmen eines Funktionstests gilt es zu überprüfen, ob ein derartiges System in

die Simulationsumgebung integriert werden kann und somit zum gewünschten Erfolg führt.



Abbildung 11-1: Wireless USB-Hub [Gol-10]

Mit Hilfe der Fragebögen konnten auch noch vorhandene Defizite bezüglich der Fortbewegung festgestellt werden. Vor allem wenn der Benutzer mit direktem Blick auf die Front einer Regalzeile steht und einen Artikel kommissionieren will, der vom aktuellen Lagerfach lediglich ca. 1 Meter entfernt bereitgestellt wird, reicht das Greifvolumen meist nicht mehr aus, diesen sofort zu erreichen. Es erfordert - gesehen auf den relativ einfachen Umstand - mehr oder minder umfangreiche Navigationseingaben, um sich vor diesen zu positionieren. Hierzu muss zuerst der Blick von der Regalfront weg und entlang der Regalzeile erfolgen, ein Beschleunigen und Verzögern der Laufplattform angestoßen und abschließend die Ansicht wieder zurück auf die Front gerichtet werden. Es wäre vorteilhaft, diese Bewegungsabfolge auf nur mehr eine durchzuführende Aktion zu reduzieren. Mittels einer geeigneten Konstruktion sollte dies problemlos abzubilden sein.

Neben den Ergebnissen der Evaluierung wurden weitere Verbesserungsmöglichkeiten festgehalten. Bisweilen ist keine Bestätigung des virtuellen Entnahmeprozesses vorgesehen. Dies bedeutet, der Benutzer greift einen Artikel, legt diesen auf der Ablagefläche ab und geht über zur nächsten Auftragsposition. Vorgänge wie bspw. das Abhaken einer Position in der Kommissionierliste werden nicht berücksichtigt. In realen Systemen nehmen solcherlei Aktionen in Summe gesehen jedoch eine nicht zu vernachlässigende Zeitdauer in Anspruch. Die virtuelle Kommissionierliste erlaubt es nicht, erledigte Positionen zu markieren. Aus diesem Grund ist es zielführend, ein

entsprechendes Zusatzgerät, z.B. in Form eines Barcode-Scanners, während des Simulationslaufs bereitzustellen.

11.2 Modifikation des Funktionsmusters

Mittels geeigneter Ansätze wird nun versucht, die eingangs erwähnten Optimierungsmöglichkeiten als neue Funktionalitäten der Simulationsumgebung umzusetzen.

11.2.1 Datenhandschuh

Hinsichtlich des Datenhandschuhs ist vorgesehen, das kabelgebundene Interaktionsgerät durch eine entsprechende Vorrichtung kabellos mit dem Rechner zu verbinden. Wie zu Beginn des vorherigen Abschnitts bereits erläutert, wurde diesbezüglich eine Recherche für geeignete Gerätschaften durchgeführt. Als Ergebnis konnte ein Wireless USB-Hub definiert werden. Erste Funktionstests ergaben, dass der funkbasierte Datenaustausch ohne jegliche Einschränkungen umgesetzt wird. Einziges Manko bestand anfangs in der Stromversorgung des Geräts. Gewöhnlich wird der Hub mit Hilfe eines 12-V-Netzteils mit Strom versorgt. Um dieser Problematik zu begegnen wurde die stationäre Stromversorgung des USB-Hubs mittels eines Akku-Packs gelöst. Eine optimale Fixierung des USB-Hubs am Körper vorausgesetzt, erlaubt die Lösung eine freie Bewegung mit dem Datenhandschuh. Die endgültige Ausführung ist in Abbildung 11-2 dargestellt.

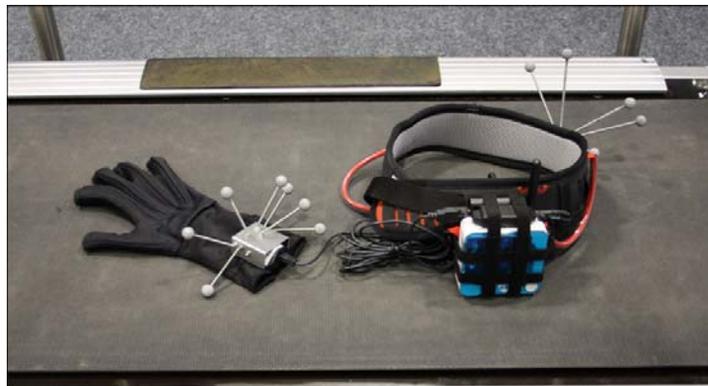


Abbildung 11-2: Integrierte Funkanbindung des Datenhandschuhs

11.2.2 Virtueller Seitwärtsschritt

Der Grund für eine Erweiterung der Laufplattform war die fehlende Möglichkeit, aus dem Stand heraus, einen Schritt nach links bzw. rechts durchzuführen. Zu Beginn der Entwicklung dieser neuen Funktionalität wurden hierzu verschiedene Konzepte erarbeitet.

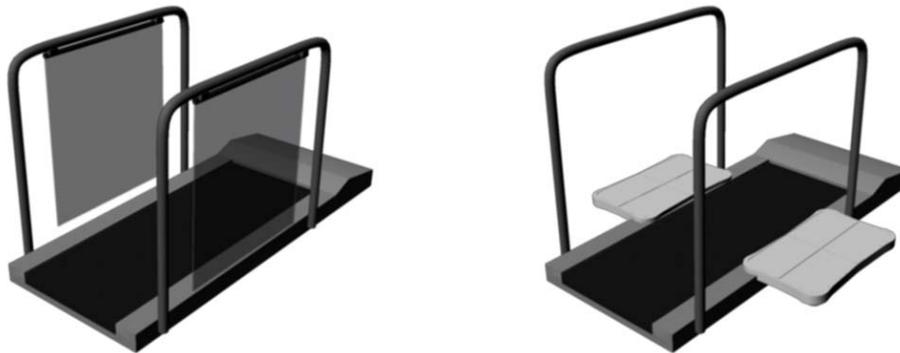


Abbildung 11-3: Konzepte zur Verwirklichung des Seitwärtsschritts

Die in Abbildung 11-3 links dargestellte Variante sieht die Verwendung von hängenden, mit Drehgebern versehenen Plexiglas-Platten vor. Das Prinzip dahinter kann folgendermaßen beschrieben werden. Sobald der Benutzer mit dem Fuß gegen eine der Platten drückt, erfolgt eine Auslenkung dieser um deren Aufhängungspunkt. Der dort befindliche Drehgeber registriert dies und gibt seinerseits den entsprechenden Wert aus. Mittels passender Gerätschaft wird das Signal dem Rechner zugeführt und in der Software zur Neupositionierung der VR-Systemkamera verarbeitet.

Eine weitere, und im Nachhinein die zielführende Möglichkeit ist die Verwendung der Drucksensoren eines Wii Balance Boards. Das Wii Balance Board ist neben der Wii Remote (vgl. 8.2) ein Interaktionsgerät für die Spielkonsole Nintendo Wii. Das Balance Board ist mit insgesamt vier Drucksensoren an den Ecken ausgestattet, welche im Zusammenspiel die Gewichtsverteilung des Körpers erfassen und an die Konsole weitergeben. Im Hinblick auf die Umsetzung des Seitwärtsschritts sieht das Konzept vor, die Werte der Sensoren abzugreifen und abhängig vom Anpressdruck die Systemkamera der virtuellen Umgebung horizontal zur Blickrichtung zu verschieben.

Für die endgültige Version wurde vom Einsatz zweier Balance Boards abgesehen, vielmehr wurden die Sensoren eines Exemplars dazu benutzt um eine eigene Konstruktion mit Drucksensoren auszustatten. Abbildung 11-4 zeigt hierfür im linken Teil die komplette Ausführung integriert in die Laufplattform, rechts kann eine Detailansicht entnommen werden.



Abbildung 11-4: Konstruktion für den virtuellen Seitwärtsschritt

11.2.3 Barcode-Scanner

Bevor auf die Umsetzung und Integration dieses neuen Interaktionsgeräts detaillierter eingegangen wird, sei zu anmerken, dass es sich hierbei nicht um einen echten Barcode-Scanner handelt. Es wird lediglich ein dreidimensionales Abbild eines solchen Geräts erzeugt, welches durch entsprechende Hardwarekomponenten frei steuerbar ist und - einer Überarbeitung der Software vorausgesetzt - in seiner Funktion seinem echten Vorbild in nichts nachsteht.

3D-Modell

Beim Barcode-Scanner verhält es sich ähnlich wie mit dem virtuellen Abbild der Hand. Damit eine optimale Interaktion mit dem System stattfinden kann, benötigt der Benutzer eine visuelle Repräsentation des Geräts. Hierzu wurde in Anlehnung an ein reales Exemplar eines Barcode-Scanners ein entsprechendes 3D-Modell erstellt.

Dieses wurde dermaßen ausgestaltet, sodass zudem eine dynamische Displayänderung möglich ist. Hierfür werden die darzustellenden Buchstaben und Zahlen jeweils einzeln als separate Texturen hinterlegt. Abhängig vom aktuellen Auftrag bzw. der aktuellen Position werden diese dann von der Systemlogik auf dem Display zur Anzeige gebracht. Abbildung 11-5 zeigt im linken Teil den realen Barcode-Scanner, rechts sieht man die Abbildung als 3D-Modell. Zusätzlich sind im Bild zahlreiche Unterobjekte des Scanners erkennbar, u.a. eine kegelförmige Geometrie zur Abbildung des Scan-Volumens, sowie eine Hilfestellung zur Unterstützung des Benutzers während des Scan-Vorgangs.

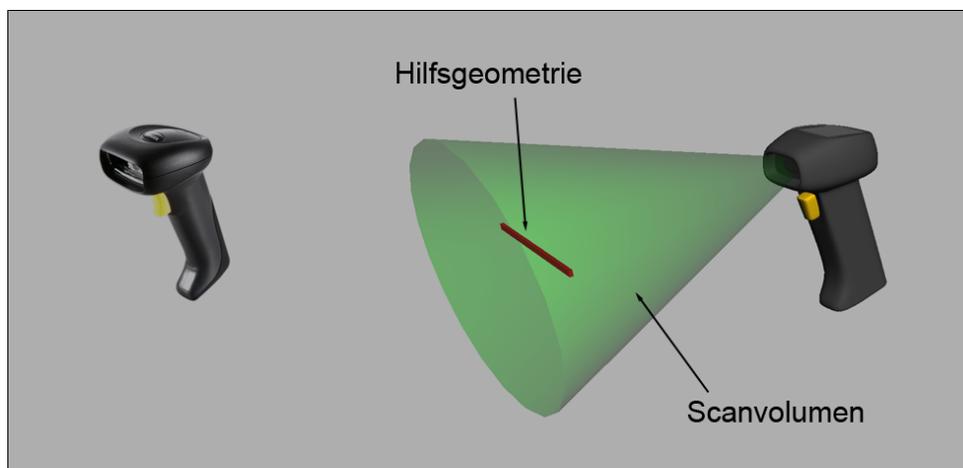


Abbildung 11-5: Barcode-Scanner (Original – 3D-Modell)

Im Rahmen der Integration des Barcode-Scanners wurde die Basiskonfiguration um das neu hinzugekommene 3D-Modell abschließend erweitert.

Wii Remote & Tracking-Target (Barcode-Scanner)

Als reales Interaktionsgerät wurde ebenfalls ein Bestandteil der Spielkonsole Wii verwendet. Das Steuergerät Wii Remote bietet eine ausreichend große Anzahl an Eingabemöglichkeiten und ist damit optimal für den Einsatz als Interaktionsgerät für den Barcode-Scanner ausgelegt. Im Hinblick auf die Positionsverfolgung musste der Spielcontroller zusätzlich mit einem Tracking-Target ausgestattet werden. Hierfür wurde erneut auf eine Eigenkonstruktion zurückgegriffen. Das neue Interaktionsgerät sowie das konzipierte Target mit passender Aufnahme sind in Abbildung 11-6 dargestellt.



Abbildung 11-6: Interaktionsgerät Wii Remote mit Tracking-Target

Regalmarkierungen

Der Einsatz des neuen Interaktionsgeräts erfordert im Hinblick auf die optimale Integration in die bestehende Simulationsumgebung eine Neugestaltung der Regalmarkierungen. In erster Linie wurden hierzu die verwendeten Markierungen in ihrer optischen Erscheinung verändert. Dabei wurde die den Regalmarkierungen zu Grunde liegende Geometrie um eine Textur in Form eines Barcodestreifens erweitert. Die Buchstaben und Zahlen wurden zusätzlich modifiziert und mittels einer 7-Segment Darstellung umgesetzt (s. Abbildung 11-7).



Abbildung 11-7: Modifizierter Regalmarker

Auftragsmanagement

Damit der Scanner in seinem vollen Funktionsumfang nutzbar ist, musste zusätzlich Sorge getragen werden, dass der Simulationskern jederzeit über die abzuleistenden Kommissioniervorgänge informiert ist. Wie zu Beginn bereits erläutert wurde, ist der virtuellen Kommissionierliste keinerlei Logik hinterlegt, sie stellt ausschließlich eine statische, optische Repräsentierung des aktuellen Auftrags dar.

Hierzu sind die Aufträge zusätzlich als XML-Datei bereitgestellt. Während des Initialisierungsvorgangs werden über entsprechende Softwareroutinen die einzelnen Auftragspositionen ausgelesen und stehen anschließend zur Modifikation des Scanner-Displays zur Verfügung. Im Laufe der Kommissionierrundfahrt wird das Anzeigefeld des Scanners situationsbedingt angepasst. Hierzu zählt die Darstellung etwaiger Informationen bezüglich der zu pickenden Position (Regal-Nr, Regal-Ebene, Fachnummer, Anzahl). Abbildung 11-8 zeigt die unterschiedlichen Statusmeldungen des Barcode-Scanners. Die farbliche Codierung wird vom System entsprechend des Kommissionierfortschritts gesteuert und weist folgende Bedeutung auf:

- Gelb: nächste, zu kommissionierende Position im Auftrag
- Rot: der Artikel wurde gegriffen, auf dem Wagen abgelegt und muss mittels Scanvorgang noch bestätigt werden
- Grün: erfolgreicher Scanvorgang



Abbildung 11-8: Statusmeldungen des Barcode-Scanners

11.3 Evaluierung des überarbeiteten Funktionsmusters

Nach Abschluss der Optimierungsmaßnahmen wurden die neuen Funktionalitäten durch eine Versuchsreihe überprüft. Für die Evaluierung wurden erneut insgesamt 7 Probanden herangezogen. Hierbei handelt es sich um die gleichen Kandidaten wie schon in der ersten Versuchsreihe. Dies ist dadurch begründet, da der Fokus auf der Bewertung der Neuerungen lag. Probanden, welchen die Funktionsweise des Systems und der Interaktionsgeräte bereits bekannt war, mussten nicht extra angeleitet werden und konnten sich somit ausschließlich auf die Modifikationen konzentrieren.

11.3.1.1 Aufbau des Labortests

Die Versuchsreihe soll überprüfen, inwiefern die Modifikationen und Neuerungen zur Optimierung des Gesamtsystems KomPlanVR beitragen. Abbildung 11-9 zeigt hierfür die modifizierte Laufplattform mit der Vorrichtung zum Seitwärtsschritt. Weiter ist auf dem Bild das neue Interaktionsgerät „Barcode-Scanner“ sowie der mittels funkbasierter Übertragungstechnik angebundene Datenhandschuh zu erkennen.

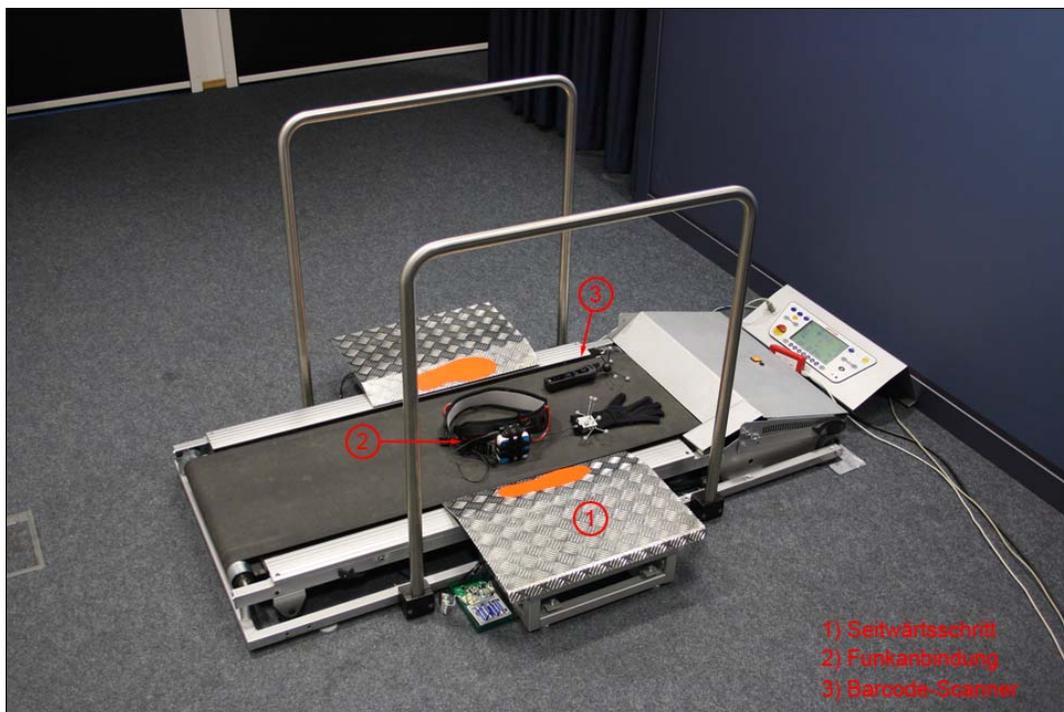


Abbildung 11-9: Optimiertes Funktionsmuster KomPlanVR

Die Evaluierung erfolgt erneut in zwei separaten Abschnitten. Zuerst führen die Probanden einen praktischen Testlauf mit den Zusatzeinrichtungen durch. Anschließend schildern sie mittels eines Fragebogens ihre subjektiven Eindrücke. Der Testlauf wurde ausschließlich im VR-Labor des Lehrstuhls fml durchgeführt. Nachfolgend wird der Versuchsaufbau näher beschrieben.

Die Evaluierung wird mit Hilfe des bereits in der ersten Versuchsreihe verwendeten Testszenarios (vgl. 10.1) durchgeführt. Zu Beginn der Versuchsreihe hat der Proband die Aufgabe, das Szenario einer Artikelentnahme entlang einer Regalzeile durchzuführen. Im konkreten Fall soll er von einem definierten Lagerfach zu einem direkt nebenan, jedoch außerhalb der Griffreichweite, liegenden Lagerfach gehen und dort einen Entnahmevorgang ausführen. Hierzu ist er bereits mit dem kabellos angebotenen Datenhandschuh ausgestattet. Anfangs steht ihm zur Navigation ausschließlich die Laufplattform zur Verfügung. Nachdem er das geforderte Lagerfach erreicht und einen Artikel entnommen hat, bewegt er sich zurück zur Ausgangsposition. Von dort aus soll wiederholt sich der Vorgang, hierbei jedoch unter Zuhilfenahme der Seitwärtsschritt-Konstruktion.

Im Anschluss darauf folgt ein Test mit dem virtuellen Barcode-Scanner. Hierfür nimmt der Proband zuerst einen Auftrag vom Start-Terminal in Empfang. Sobald der Auftrag zugeteilt wurde, wechselt das Status-Display des Scanners und der Proband kann Lagerort und geforderte Entnahmemenge der aktuellen Auftragsposition ablesen. Er begibt sich zum entsprechenden Lagerfach, greift den Artikel und legt ihn auf der Ablagefläche ab. Daraufhin wird er aufgefordert, den Artikel mittels des Barcode-Scanners zu bestätigen.

Nach dem praktischen Lauf füllt jeder Proband einen 5-seitigen Fragebogen (s. Anhang C: Fragebogen Evaluierung der Überarbeitung des Funktionsmusters) aus. Der Fragebogen umfasst die Punkte:

- Umsetzung der neuen Funktionen
- Funktionalität der Zusatzeinrichtungen

11.3.1.2 Durchführung des Labortests

Nach der Begrüßung des Probanden erhielt dieser eine Übersicht über den geplanten Ablauf der Versuchsreihe. Daraufhin wurde dem Probanden das modifizierte System vorgestellt. Der Versuchsleiter führte hierzu die generelle Funktionsweise der Neuerungen und deren grundlegende Bedienung vor. Nachdem erste Fragen geklärt waren, wurde der Proband mit den Interaktionsgeräten u.a. dem Datenhandschuh inklusive Sendeeinheit ausgestattet und begann den Testlauf. Ziel war es, vom Lagerfach 1D01 zum außer Griffreichweite liegenden Lagerfach 1D05 zu wechseln und einen Entnahmevorgang durchzuführen. Um die Startposition (Regal, Fach 1D01) anzulaufen durfte er sich bereits dem Zusatz der Laufplattform bedienen. Nachdem er die Startposition erreicht hatte, begann er die Navigation zum geforderten Lagerfach 1D05. Nach erfolgreicher Entnahme eines Artikels bewegte er sich zurück zu Lagerfach 1D01. Von dort aus erfolgte der gleiche Vorgang, dieses Mal unter Zuhilfenahme der Zusatzeinrichtung. Der Ablauf wurde zu Auswertungszwecken zusätzlich vom Versuchsleiter mit Hilfe eines Videomittschnitts festgehalten.

Im Anschluss führte der Proband einen Scan-Vorgang mit dem neu hinzugekommenen Barcode-Scanner aus (s. Abbildung 11-10).

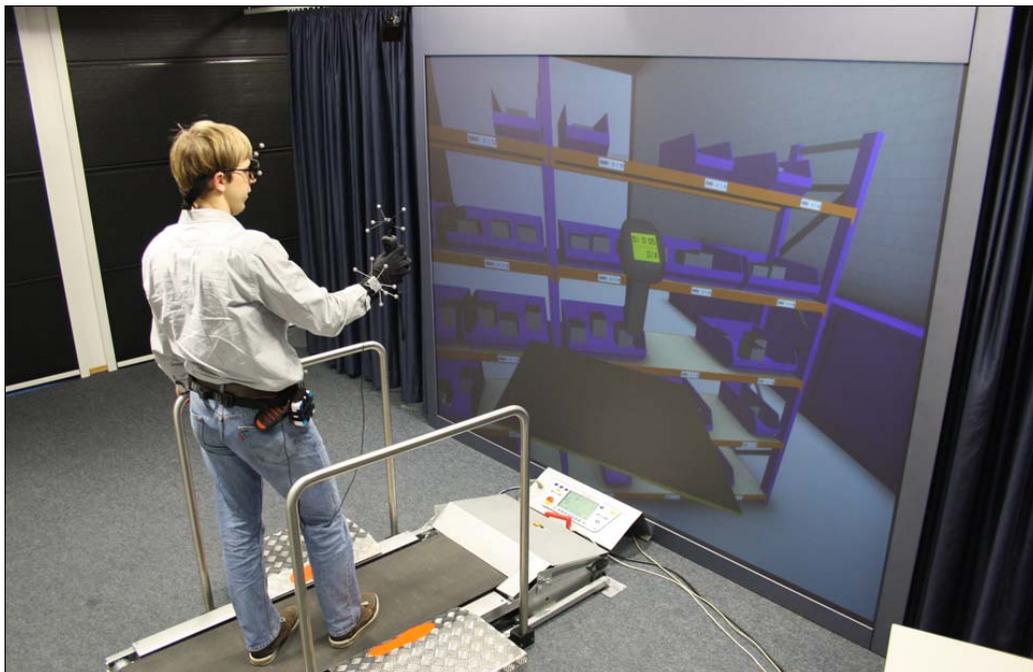


Abbildung 11-10: Proband beim virtuellen Scanvorgang

Hierzu navigierte er anfangs in die Nähe des Start-Terminals, welches ihm nach Kollision mit der virtuellen Hand einen Kommissionierauftrag zuteilte. Die Information über Lage und Anzahl der zu pickenden Artikel konnte der Proband vom Status-Display des Barcode-Scanners ablesen. Nachdem er das entsprechende Lagerfach angelaufen hatte, führte er zunächst den Entnahmeprozess aus, gefolgt von der Bestätigung mit Hilfe des Barcode-Scanners.

Nach Abschluss des praktischen Teils füllte der Proband den Fragebogen aus. Während der Versuchsreihe wurden Fehler beim System oder sonstige Vorkommnisse durch den Versuchsleiter in einem Versuchsprotokoll festgehalten.

11.3.1.3 Ergebnisse der Evaluierung

Das Ergebnis der zeitlichen Auswertung des praktischen Versuchsteils konnte das angestrebte Ziel einer schnelleren und einfacheren Navigation im virtuellen Lager lediglich in einem exemplarischen Szenario überzeugend bestätigen. Wie Abbildung 11-11 zu entnehmen ist, benötigten die Probanden zum Positionswechsel zwischen den beiden Lagerfächern ohne den zusätzlichen Anbau durchschnittlich 18,6 Sekunden.

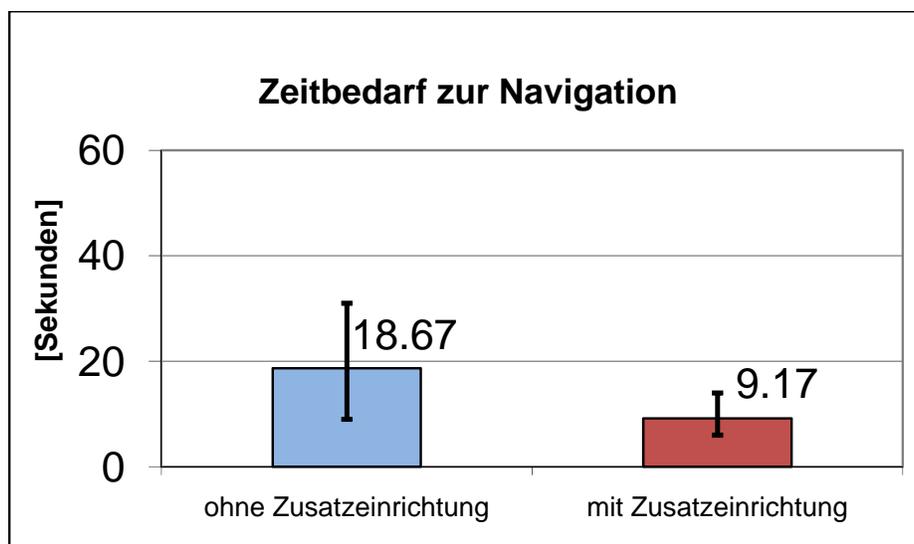


Abbildung 11-11: Zeitbedarf zur Navigation (1D01 nach 1D05)

Unter Zuhilfenahme der neuen Konstruktion konnte dieser Wert merklich unterschritten werden. Mit Unterstützung der Erweiterung zum Seitwärtsschritt lag die benötigte Zeit im Durchschnitt bei ca. 9 Sekunden. Eine erneute VR-Kommissionierung wurde nicht durchgeführt. Im praktischen Einsatz zeigte sich, dass Probanden mit gutem Verständnis hinsichtlich des Gebrauchs der Laufplattform weiterhin nur auf diese als Eingabegerät zur Fortbewegung zurückgriffen. Probanden, welchen die Bedienung der Laufplattform Probleme bereitete, nutzten hingegen mehr oder weniger ausschließlich den neuen Zusatz. Begründet durch eine langsamere Fortbewegung – die maximale erreichbare Geschwindigkeit beim Seitwärtsschritt liegt deutlich unter der der Laufplattform – verblieb die registrierte Wegzeit nahezu auf dem ursprünglich ermittelten Wert der ersten Evaluierung.

Wie die Auswertung der Fragebögen zeigte, stellte sich ein äußerst positives Feedback den Erneuerungen gegenüber ein.

Hinsichtlich der Erweiterung des Datenhandschuhs um die kabellose Rechner-Anbindung schätzen die Probanden mit einem Ergebnis von 90 % die neu hinzugekommene Bewegungsfreiheit beim virtuellen Greifvorgang. Der Tragekomfort der Sendeeinrichtung wird zudem ebenfalls mit einer sehr großen Befürwortung angegeben (86,7%). Vor allem im Anbetracht dessen, dass die gewählte Lösung mit dem Wireless USB-Hub ca. ein Zehntel der Kosten des 5DT Wireless Kit beträgt, kann man von einer optimalen Lösung sprechen.

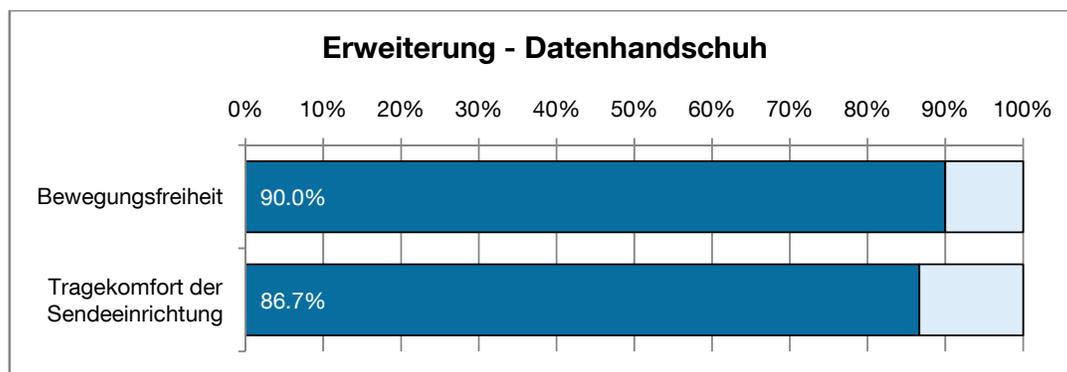


Abbildung 11-12: Erweiterung - Datenhandschuh

Die Umsetzung des virtuellen Barcode-Scanners finden die Befragten mit einer Zustimmung von 83,3% als sehr gut umgesetzt. Die gebotene Funktionalität wird gleichermaßen mit 83,3% bewertet. Im Hinblick auf die modifizierten Regalmarkierungen hatte ein Großteil der Probanden deutliche Schwierigkeiten, diese auf Anhieb zu entziffern. Ein Wert von 46,7% zeigt, dass die verwendete 7-Segment Darstellung wieder entfernt und durch eine normale Beschriftungsart ersetzt werden muss. Den eigentlichen Scan-Vorgang bescheinigten die Probanden als einfach durchführbar (73,3%).

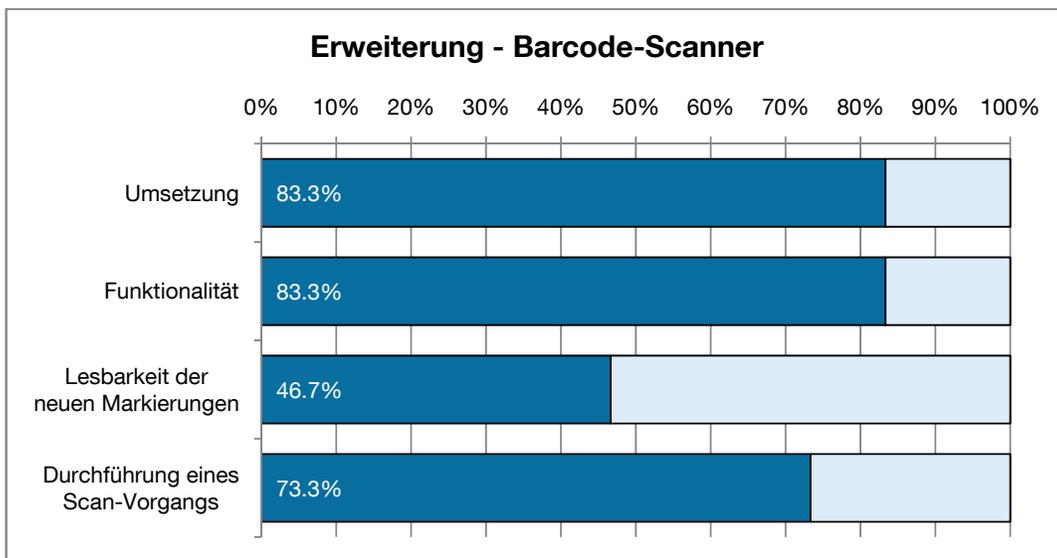


Abbildung 11-13: Erweiterung – Virtueller Barcode-Scanner

Im praktischen Versuch zeichneten sich bereits die Vorteile der neuen Konstruktion zu Seitwärtsschritt ab. Bezüglich der Probandenbefragung konnte diese Erkenntnis bestärkt werden. Mit einem Ergebnis von 93,3% sind die Befragten der Meinung, die Aktion „Seitwärtsschritt,“ wäre optimal umgesetzt worden. Hinsichtlich der konstruktiven Ausgestaltung bestätigen die Probanden, die Erweiterung sei stabil konzipiert (86,7%). Das Ansprechverhalten der verbauten Sensoren wird mit 93,3% ebenfalls sehr gut bewertet. Darüber hinaus bietet die Möglichkeit, aus dem Stand heraus einen Schritt zur Seite zu tätigen eine einfachere Navigation in der virtuellen Welt (80,0%).

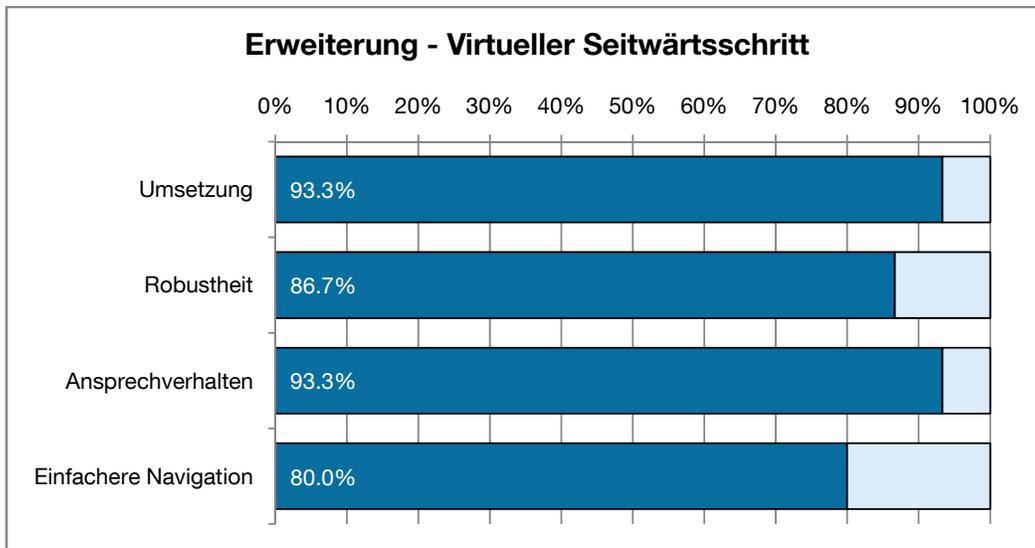


Abbildung 11-14: Erweiterung – Virtueller Seitwärtsschritt

12 Zusammenfassung und Fazit

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer neuen VR-gestützten Methodik zur Planung, Bewertung und Optimierung manueller Kommissioniersysteme. Das auf der Technologie Virtual Reality basierende System soll bestimmte Anforderungen erfüllen, die in Tabelle 12-1 den Ergebnissen gegenübergestellt sind.

Tabelle 12-1: Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen des Forschungsantrags

Ziel	Ergebnis	
Durchgängiger Einsatz in der Kommissioniersystemplanung	KomPlanVR beschreibt alle Tätigkeiten zur optimalen Planung, angefangen von der Erstellung des 3D-Modells bis hin zur Evaluierung der jeweiligen Systemvarianten	✓
Zeit- und Kostenersparnisse sowie erhöhte Qualität bei Planungstätigkeiten	rasche Erstellung unterschiedlicher Planungsvarianten und Evaluierung unter Einbeziehung des Menschen	✓
Verstärkung der Parallellisierung von Arbeitsschritten in der Planung	Verteilung von Arbeitsschritten wie z.B. 3D-Modellerstellung zur Variantenbildung und Evaluierung der Planungen	✓
Realitätsnahe Analyse und Optimierung logistischer Prozesse im Rahmen der Kommissioniersystemplanung	Mensch wirkt nicht als abstrakter Simulationsbaustein, vielmehr ist er zentrale Figur der Simulation	✓
Mensch durch ein VR-System verstärkt in die Planung integrieren	geeignete Interaktionskonzepte erlauben eine Integration menschlicher Bewegungsabläufe in ein VR-System	✓
Kombinationsmöglichkeit mit anderen Werkzeugen (z.B. 3D-CAD, Ablaufsimulation etc.)	3D-CAD nur unidirektionale Verbindung (Dateiexport), Ablaufsimulation aufgrund mangelhafter bidirektionaler Schnittstellen nur bedingt möglich.	○
Basisbildung zur interdisziplinären Kommunikation auch über verschiedene Hierarchieebenen und Organisationseinheiten	Große VR-Projektion erlaubt Zusammenarbeit interdisziplinärer Teams über alle Ebenen des Unternehmens hinweg.	✓
Einfache Interaktionsschnittstellen für intuitives Arbeiten	Datenhandschuh und Laufplattform sind einfach zu bedienen und erlauben optimale Abbildung der Bewegungsabläufe	✓
Ergonomisch optimal auf den Benutzer angepasst	Die Hardwarekomponenten des Funktionsmusters sind ergonomisch ausgelegt	✓
Benutzerfreundliche Handhabung	Intuitive Interaktionsgeräte erlauben eine einfache Handhabung des Systems.	✓
Erweiterbarer Funktionsumfang	Neue Module bzw. Funktionalitäten können jederzeit hinzugefügt werden.	✓
Wirtschaftlicher und kostengünstiger Einsatz	Verwendete Hardware relativ günstig, Softwarelizenzkosten können hoch sein.	○

Der wissenschaftlich-technische Nutzen des Forschungsvorhabens liegt darin begründet, dass zum ersten Mal die Planung manueller Kommissioniersysteme systematisch als Einsatzfeld der Virtual Reality Technologie untersucht wurde. Für die Auslegung derartiger Systeme ergeben sich durch den Einsatz von Virtual Reality zahlreiche Vorteile. Es können noch vor der Umsetzung unterschiedliche Varianten umfangreich überprüft und somit Fehler bereits in einem frühen Stadium der Planung identifiziert und behoben werden. Ein sicherer und schnellerer Entwicklungsprozess ist somit gewährleistet. Gleichzeitig erlaubt es dieser Ansatz, bereits bestehende Systeme hinsichtlich deren Leistungsfähigkeit zu optimieren. Indem das Kommissioniersystem als VR-Simulationsmodell abgebildet wird, können etwaige Modifikationen rasch und ohne großen Aufwand im 3D-Modell durchgeführt und durch Evaluierung in der virtuellen Welt auf deren Zielerfüllung hin bewertet werden. Die Möglichkeiten dieser Methodik wurden ebenso wie vorhandene Restriktionen betrachtet. Im Laufe der Zeit haben sich zahlreiche Ausprägungsformen von Kommissioniersystemen entwickelt. Angefangen von Lagern mit Fachbodenregalen bis hin zu den hochautomatisierten AKLs. Prinzipiell lässt sich feststellen, dass praktisch jede Art von Kommissioniersystem in der VR-Umgebung überprüft werden könnte. Diesbezüglich gilt es jedoch abzuschätzen, wie hoch der Aufwand zur Implementierung einer geeigneten Simulationslogik sein darf. Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden zwei repräsentative Szenarien herausgegriffen und umgesetzt. Hierzu musste vorab eine entsprechende Schnittstelle zum VR-System hergestellt werden, welche die geforderten Aspekte hinsichtlich einer virtuellen Kommissionierung erfüllt. Durch geeignete Interaktionsgeräte wie einem Datenhandschuh oder einem unidirektionalen Laufband zur Fortbewegung war es möglich, die natürlichen Bewegungsabläufe des Menschen wirklichkeitsgetreu in die Simulation mit einfließen zu lassen. Das entwickelte System wurde in mehreren Versuchsreihen erprobt und evaluiert. Hierzu mussten Probanden Kommissionieraufträge sowohl in der virtuellen Umgebung als auch in der Realität durchführen. Die darauf anschließende Befragung stellte wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Umsetzung und Benutzerfreundlichkeit des Systems heraus. Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, dass die Mehrheit der Probanden gut mit dem System zurechtkam. Die registrierten Zeiten während der virtuellen Kommissionierung konnten zudem Aufschluss hin-

sichtlich der Übertragbarkeit der erhobenen Daten auf reale Systeme geben. Wie sich herausstellte, erforderte die VR-Kommissionierung einen deutlich höheren Zeitbedarf als ihr reales Pendant. Dieser zeitliche Unterschied wurde im Rahmen der Arbeit dargelegt, wobei die Berücksichtigung gewisser Faktoren (z.B. Greifhöhe) unabdingbar ist. Durch Kenntnis dieser Zusammenhänge sind die Voraussetzungen gegeben, dass KomPlanVR dem Logistikplaner als ein wertvoller Zusatz in seinem Instrumentarium zur Auslegung zukünftiger Kommissioniersysteme dienen kann.

Der wirtschaftliche Nutzen von KomPlanVR lässt sich momentan noch nicht in Zahlen fassen. Dies ist in erster Linie darin begründet, dass die Technologie aufgrund ihres bisweilen hohen Kostenfaktors (Soft- als auch Hardware) eine Exklusivrolle inne hat und lediglich den großen Firmen – vorwiegend im Automobilsektor - vorbehalten ist. Die zunehmende Kommerzialisierung der 3D-Technologie – man beachte die immer häufiger anzutreffenden 3D-Kinos – wird den Bereich Virtual Reality jedoch grundlegend verändern. Waren beispielsweise entsprechende VR-Projektions-einrichtungen lange Zeit nur zu horrenden Preisen erschwinglich, so erlauben es mittlerweile 3D-fähige Fernseher, bei gut einem Zehntel der Kosten die dreidimensionale Visualisierung mit weitaus besserer Darstellungsqualität zu nutzen. Somit werden zukünftig auch KMUs in der Lage sein, bei geringem Kapitalbedarf, von dieser Technologie zu profitieren.

Projekte wie KomPlanVR zeigen den Firmen neue Möglichkeiten auf, wie Virtual Reality abseits der Verwendung als Visualisierungsmedium zu Präsentationszwecken auch als geeignetes Instrument zur operativen Planung eingesetzt werden kann. Es bleibt zu hoffen, dass die Unternehmen die Chance ergreifen und von dieser Technologie zukünftig Gebrauch machen.

Das Forschungsziel wurde damit erreicht.

Das AIF-Forschungsvorhaben 15769 N/1 wurde im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik e. V. (BVL) durchgeführt und aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) auf Beschluss des deutschen Bundestages gefördert.

Veröffentlichungen

Steghafner, A.; Günthner, W.A.:

Abschlussbericht: KomPlanVR – Kommissioniersystem-Planung mit VR

München, Technische Universität München, 2011

<http://www.logistics.de> (logistics.de – Integrationsplattform Logistik)

Steghafner, A.; Kammergruber, F.; Walch, D.; Günthner, W.A.:

Durchgängige Ermittlung der Mitarbeiterbelastung in der Kommissionierung – von der Virtual Reality Planung bis zur Visualisierung über Augmented Reality

In: Schenk, M. (Hrsg.): „Digitales Engineering und virtuelle Techniken zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme“

Magdeburg: Fraunhofer IFF 2010, ISBN: 978-3-8396-0145-7, S. 172-178

Steghafner, A.:

Internetpräsentation des Forschungsprojekts KomPlanVR

http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=553

Literaturverzeichnis

- [5dt-10] 5DT – Fifth Dimension Technologies
<http://www.5dt.com/products/pdataglove5u.html>
Aufruf: 26.08.2010
- [Ame-97] Ames, A.; Nadeau, D.; Moreland, J.:
VRML 2.0 Sourcebook
John Wiley & Sons Inc., New York u.a., 1997
- [Arn-05] Arnold, D.; Furmanns, K.:
Materialfluss in Logistiksystemen
Berlin, Springer, 2005
- [Arr-10] Augmented Reality Research:
<http://www.arlab.nl/research/?p=179>
Aufruf am 12.08.10
- [Art-09] Advanced Realtime Tracking GmbH:
<http://www.ar-tracking.de/>
Aufruf am 08.08.2009
- [Aut-10] Autodesk Maya
<http://www.autodesk.de/adsk/servlet/pc/index?siteID=403786&id=14657512>
Aufruf am 15.02.2010
- [Avi-10] AVILUS, Innovationsallianz Virtuelle Techniken:
<http://www.avilus.de/index.php?id=62>
Aufruf am 03.08.2010
- [Bit-09] Bito Lagertechnik:
<http://www.bito.de/deDE/loesungen.html>
Aufruf am 20.03.2009
- [Bit-09] Bitmanagement, BS Contact Stereo:
<http://www.bitmanagement.com/en/products/interactive-3d-clients/bs-contact-stereo>
Aufruf am 12.06.2009
- [Bor-94] Bormann, S.:
Virtuelle Realität – Genese und Evaluaton
Bonn, Addison-Wesley, 1994

- [Bra-08] Bracht, U.; Spillner, A.; Reichert, J.:
Stufenweise Einführung von 3D-CAD-basierter Fabrikplanung im Rahmen der digitalen Fabrik
In: ZWF, Jahrgang 103, Heft 1-2, 2008, S. 12-16
- [Bur-94] Burdea, G.; Coiffet, P.:
Virtual Reality Technology
New York, John Wiley & Sons, 1994
- [Con-09] 3Dconnexion GmbH:
<http://www.3dconnexion.de>
Aufruf am 15.10.2009
- [Cyb-10] Cyber Glove Systems
<http://www.cyberglovesystems.com>
Aufu: 26.08.2010
- [Dan-04] Dangelmaier, M.; Stefani, O.:
Menschmodelle in virtuellen Umgebungen einsetzen
In: Werkstattstechnik online, Jahrgang 94, Heft 1/2, 2004, S. 20-22
- [Dav-01] Davide, F., Riva, G.:
Communications through Virtual Technologies
In: Identity, Community and Technology in the Communication Age
Amsterdam, 2001, S. 71-86
- [Däβ-99] Däßler, R.:
Das Einsteigerseminar VRML
Kaarst, bhv Verlag, 1999
- [Dim-10] 3Dims GmbH:
<http://www.3dims.de/>
Aufruf am 20.08.10
- [Dom-01] Dombrowski, U.; Tiedemann, H.; Bothe, T.:
Visionen für die digitale Fabrik
In: ZWF, Jahrgang 96, Heft 3, 2001, S. 96-100
- [Dul-05] Dullinger, K.H.:
Das richtige Kommissionier-Konzept – eine klare Notwendigkeit
In: Jahrbuch Logistik 2005
Düsseldorf, Verlagsgruppe Handelsblatt, 2005, S. 194-198
- [Est-09] EST – Engineering Systems Technologie:
<http://www.est-kl.com>
Aufruf am 03.10.2009

- [For-07] Günthner W. A. (Hrsg.):
ForLog - Bayerischer Forschungsverbund Supra-adaptive Logistiksysteme
München, Erlangen-Nürnberg, Regensburg 2007
- [Gol-10] Golem – IT-News für Profis
<http://www.golem.de/0909/69926.html>
Aufruf am 05.06.2010
- [Gud-05] Gudehus, T.:
Logistik 1 – Grundlagen, Verfahren und Strategien
Berlin, Springer, 2005
- [Gün-08] Günthner W. A.; Blomeyer N.; Reif R.; Schedlbauer M.
Pick-by-Vision: Augmented Reality unterstützte Kommissionierung
Forschungsbericht, München, Technische Universität München, 2008
- [Gün-09] Günthner, W. A.:
Planung technischer Logistiksysteme
Vorlesungsskriptum: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München 2009
- [Ici-09] ICIDO, Visual Decision Platform:
<http://www.icido.de/de/Produkte/VDP/>
Aufruf am 12.06.2009
- [Iff-05] Schenk, M. (Hrsg.):
Virtual Reality und Augmented Reality zum Planen, Testen und Betreiben
technischer Systeme
In: 8.IFF-Wissenschaftstage
Magdeburg, 2005
- [Ipa-06] Fraunhofer IPA: Return on Investment von Virtueller Realität
<http://www.ipa.fraunhofer.de/Arbeitsgebiete/digitalefabrik/vr/>
Aufruf am 06.08.2010
- [Ket-09] Kettler Sport
<http://www.kettlersport.net>
Aufruf am 05.01.2009
- [Kle-88] Klebe, I.:
Durch die Augen in den Sinn
Köln, Aulis, 1988

- [Kom-06] Kompetenznetze – ViVERA
<http://www.centers-of-competence.de/navi/de/Kompetenznetze/vivera.html>
Aufruf am 10.08.2010
- [Kom-09] Kommissioniersysteme.net
<http://www.kommissioniersystem.net>
Aufruf am 15.01.2009
- [Lbm-09] Lehrstuhl für Angewandte Mechanik
<http://www.lbm.mw.tum.de/index.php?id=250&L=0>
Aufruf am 03.10.2009
- [Log-09] Logitech, Cordless Rumblepad 2:
<http://www.logitech.com/de-de/gaming/controllers/devices/287#section=gallery>
Aufruf am 09.10.2009
- [Lol-03] Lolling, A.:
Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten
Aachen, Shaker Verlag, 2003
- [Man-00] Manocha, D.:
Interactive Walkthroughs of Large Geometric Datasets
In: Proc of AMC SIGGRAPH
USA, 2000
- [May-10] MayTec Aluminium Systemtechnik GmbH
<http://www.maytec.org/mainframe.htm>
Aufruf am 15.06.2010
- [Nin-10] Nintendo of Europe GmbH, Wii Interaktionsgeräte:
http://www.nintendo.de/NOE/de_DE/systems/zubehoer_1243.html
Aufruf am 09.06.2010
- [Ong-04] Ong, S.K.; Nee, A.Y.C.:
Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing
London, Springer, 2004
- [Rei-09] Reif, R.:
Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten
Kommissioniersystems
Dissertation, München, Technische Universität München, 2009
- [Rtt-09] RTT AG, Deltagen:
<http://www.realtime-technology.de/software/rtt-deltagen.html>
Aufruf am 12.06.2009

- [Sig-09a] Hiroo Iwata String Walker, SIGGRAPH 2006, Boston, 2006
<http://www.siggraph.org/s2006/main.php?f=conference&p=etech&s=1>
Aufruf am 05.10.2009
- [Sig-09b] Hiroo Iwata String Walker, SIGGRAPH 2007, San Diego, 2007
<http://www.siggraph.org/s2007/main.php?f=attendees&p=etech/s=1>
Aufruf am 05.10.2009
- [Via-09] Viastore systems
<http://www.viastore.de/regalbediengeräte.html>
Aufruf am 20.03.2009
- [VDI2519] VDI 2519 Blatt 1:
Vorgehensweise bei der Erstellung von Lasten-/Pflichtenheften
Beuth, Berlin, 2001
- [VDI3590] VDI 3590:
Kommissioniersysteme
Beuth, Berlin, 1994
- [Vip-02] Integrierte Virtuelle Produktentstehung, Internetauftritt des Leitprojektes
iViP
<http://www.ivip.de>
Aufruf am 10.08.2010
- [Vir-09a] Virtosphere, Inc.
<http://www.virtosphere.com>
Aufruf am 03.10.2009
- [Vir-09b] VWN VR Interface Overviews, String Walker, Powered Shoes
<http://www.virtualworlds.net>
Aufruf am 05.10.2009
- [Vis-09] Visenso, Covise VR:
<http://www.visenso.de/?id=14>
Aufruf am 12.06.2009
- [Viv-06] VIVERA: Kompetenznetzwerk für Technologien zur Virtuellen und Erweiterten Realität
<http://www.vivera.org>
Aufruf am 06.08.2010
- [Vog-97] Vogt, G.:
Das neue Kommissionierhandbuch
In: Sonderpublikation der Zeitschrift Materialfluss
Landsberg, Verlag modern Industrie, 1997

- [Wes-06] Westkämpfer, E; Runde, C.:
Anwendungen von Virtual Reality in der Digitalen Fabrik – eine Übersicht
In: Werkstattstechnik online, Jahrgang 96, Heft 3, 2006, S.99 – 103
- [Wii-10] Wiiyourself!
<http://wiiyourself.gl.tter.org>
Aufruf am 06.05.2010
- [Wul-08] Wulz, J.:
Menschintegrierte Simulation in der Logistik mit Hilfe der virtuellen Realität
Dissertation, München, TU München, 2008

Abkürzungsverzeichnis

1D	eindimensional
2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
AKL	Automatisches Kleinteilelager
AP	Arbeitspaket
AR	Augmented Reality
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
DoF	Degrees of Freedom
EE	Entnahmeeinheit
fml	Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
GUI	Graphical User Interface
HMD	Head Mounted Display
IK	Inverse Kinematik
KLT	Kleinladungsträger
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
LED	Light Emitting Diode
m	Meter
MDT	Mobiles Datenterminal
MM	Mann-Monat
MTM	Methods-Time Measurement
MzW	Mann-zur-Ware
N	Newton
PbL	Pick-by-Light
PbV	Pick-by-Voice
PC	Personal Computer
RBG	Regalbediengerät
SDK	Software Development Kit
USB	Universal Serial Bus
V	Volt

Abkürzungsverzeichnis

VR	Virtual Reality
W	Watt
WzM	Ware-zum-Mann
XML	Extensible Markup Language

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Einwand-Projektionssystem und CAVE-Aufbau ([Dim-10], [Arr-10])	8
Abbildung 3-1: Prinzipdarstellung eines mehrzonigen Kommissioniersystems [Gün-09]	14
Abbildung 3-2: Planungskriterien zur Systemfindung	18
Abbildung 4-1: Reale Vorbilder von Szenario 1 und Szenario 2 ([Bit-09], [Via-09])	28
Abbildung 4-2: Einteilung der Anforderungen an KomPlanVR	30
Abbildung 5-1: Allgemeiner VR-unterstützter Planungsprozess	34
Abbildung 5-2: Aufgabenspezifischer VR-unterstützter Planungsprozess	35
Abbildung 6-1: Vergleich Versuchshalle – Foto vs. VR-Modell	39
Abbildung 6-2: Aufbau des 3D-Modells der Hand	42
Abbildung 6-3: Virtuelle Kommissionierliste	43
Abbildung 6-4: 3D-Modell – Ablagefläche	44
Abbildung 6-5: Start-/ und Stoppterminal	44
Abbildung 6-6: 3D-Modell – Vertikalkommissionierer	45
Abbildung 6-7: Objekte mit zusätzlicher Kollisionsvisualisierung	46
Abbildung 6-8: Graphische Benutzeroberflächen des Plug-Ins	47
Abbildung 6-9: Parameterfenster – Hochregal und Fachbodenregal	48
Abbildung 6-10: Werkzeugleiste des Plug-Ins	49
Abbildung 6-11: Greifbare Objekte verteilt auf Fachbodenregal	50
Abbildung 7-1: XML-Datei der Simulationsergebnisse	55
Abbildung 7-2: Bewertungsprogramm KomPlanVR	56
Abbildung 8-1: 5DT Data Glove / 5DT Ultra Wireless Kit [5dt-10]	63
Abbildung 8-2: CyberGlove II [Cyb-10]	64
Abbildung 8-3: CyberTouch / CyberGrasp [Cyb-10]	64
Abbildung 8-4: A.R.T Fingertracking [Art-10]	65
Abbildung 8-5: A.R.T Flystick 2 / Flystick 3 [Art-10]	66
Abbildung 8-6: Wii Remote [Nin-10]	67

Abbildung 8-7: Virtusphere [Vir-09a]	68
Abbildung 8-8: Prinzip und Ausführung der Omnidirectional Treadmill [Lbm-09]	68
Abbildung 8-9: CyberCarpet [Lbm-09]	69
Abbildung 8-10: String Walker und Powered Shoes [Vir-09b]	70
Abbildung 9-1: Prinzip-Skizze Datenhandschuh / Tracking-Target	76
Abbildung 9-2: VR-Labor des Lehrstuhls fml	77
Abbildung 9-3: Prinzip Laufplattform (1D-2D)	78
Abbildung 9-4: Änderung der Bewegungsgeschwindigkeit und -richtung mit Hilfe eines Laserscaners	79
Abbildung 9-5: 1-dimensionale Bewegung auf einer Laufplattform	80
Abbildung 9-6: Anwendungsfalldiagramm – Szenario 1	82
Abbildung 9-7: Anwendungsfalldiagramm – Szenario 2	82
Abbildung 9-8: Ablaufdiagramm der virtuellen Kommissionierung	84
Abbildung 9-9: Ablaufdiagramm – Greifvorgang / Virtuelle Kommissionierliste	86
Abbildung 9-10: Zeitbausteine der Kommissionierung	87
Abbildung 9-11: Ablaufdiagramm – Laufplattform	89
Abbildung 9-12: Ablaufdiagramm – Fahrzeug	90
Abbildung 9-13: KomPlanVR Gesamtkonzept	91
Abbildung 9-14: Datenhandschuh mit Tracking-Target	92
Abbildung 9-15: Laufband Kettler Marathon HS [Ket-09]	93
Abbildung 9-16: Laufband nach Umbau	94
Abbildung 9-17: Tracking-Target am Gürtel	95
Abbildung 9-18: Gürtel-Target am Klettergurt	95
Abbildung 9-19: Klassendiagramm des Plug-Ins	96
Abbildung 9-20: VR-Basissoftware mit geladenem Plug-In	97
Abbildung 10-1: Testszenario zur VR-Kommissionierung	99
Abbildung 10-2: Versuchsumgebung – Realität vs. Virtuell	100
Abbildung 10-3: Durchschnittliche Gesamtkommissionierzeit	103
Abbildung 10-4: Durchschnittliche Wegzeiten	104
Abbildung 10-5: Durchschnittliche Greifzeiten	105
Abbildung 10-6: Durchschnittliche Totzeiten	106
Abbildung 10-7: Durchschnittliche Greifzeiten (ohne B-Ebene)	108

Abbildung 10-8: Bewertung des Funktionsmusters	109
Abbildung 10-9: Bewertung des Greifvorgangs mittels Datenhandschuh	110
Abbildung 10-10: Bewertung Kommissionierliste / Regalmarkierungen	111
Abbildung 10-11: Bewertung der Laufplattform	112
Abbildung 10-12: Kognitive Belastung (real)	113
Abbildung 10-13: Kognitive Belastung (virtuell)	113
Abbildung 10-14: Augenermüdung	114
Abbildung 10-15: Potenzial von KomPlanVR	115
Abbildung 11-1: Wireless USB-Hub [Gol-10]	118
Abbildung 11-2: Integrierte Funkanbindung des Datenhandschuhs	119
Abbildung 11-3: Konzepte zur Verwirklichung des Seitwärtsschritts	120
Abbildung 11-4: Konstruktion für den virtuellen Seitwärtsschritt	121
Abbildung 11-5: Barcode-Scanner (Original – 3D-Modell)	122
Abbildung 11-6: Interaktionsgerät Wii Remote mit Tracking-Target	123
Abbildung 11-7: Modifizierter Regalmarker	123
Abbildung 11-8: Statusmeldungen des Barcode-Scanners	124
Abbildung 11-9: Optimiertes Funktionsmuster KomPlanVR	125
Abbildung 11-10: Proband beim virtuellen Scanvorgang	127
Abbildung 11-11: Zeitbedarf zur Navigation (1D01 nach 1D05)	128
Abbildung 11-12: Erweiterung – Datenhandschuh	129
Abbildung 11-13: Erweiterung – Virtueller Barcode-Scanner	130
Abbildung 11-14: Erweiterung – Virtueller Seitwärtsschritt	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Ausprägungsmerkmale des Materialflusssystems [VDI3590]	16
Tabelle 3-2: Informationselemente des Informationssystems [VDI3590]	17
Tabelle 3-3: Qualitative Kriterien zur Planung eines Kommissionier-systems [VDI3590]	19
Tabelle 3-4: Basisdaten zur Auslegung eines Kommissionier-systems [VDI3590]	20
Tabelle 3-5: Kosten- und Leistungskennzahlen eines Kommissioniersystems [VDI3590]	21
Tabelle 4-1: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien	26
Tabelle 4-2: Zielerfüllungsgrad der Bewertungskriterien	26
Tabelle 4-3: Nutzwerte der Einsatzszenarien	27
Tabelle 7-1: Typische Fehlerraten für herkömmliche Kommissionier-techniken [Lol-03]	54
Tabelle 8-1: Interaktionsgeräte „Greifen“	72
Tabelle 10-1: Probandenstruktur der Evaluierung	102
Tabelle 12-1: Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen des Forschungsantrags	133

Formelverzeichnis

Formel 7-1: Kommissionierleistung [Pos/h]	53
Formel 7-2: Berechnung der Fehlerquote für einen Kommissionierer	54

Anhang A: Lastenheft

1.	Hardware		
1.1	Visualisierungseinrichtung		
1.1.1	Projektionsgröße	groß	Eine große Darstellung der virtuellen Inhalte fördert eine gute Immersion und dadurch die optimale Integration des Benutzers in die Simulation.
1.1.2	Projektion	stereoskopisch	Erst eine räumliche Darstellung der Inhalte erlaubt die optimale Immersion des Benutzers.
1.1.3	Bildwiederhol- frequenz	mind. 60 Hz	Ein Mindestwert hinsichtlich der Bildwiederhol- frequenz ist wichtig, da es anderweitig zu einer sto- ckenden Darstellung kommt, welche auf Dauer zu Augenermüdung führen kann.
1.2	Trackingsystem		
1.2.1	Genauigkeit	präzise	Das Tracking muss so genau sein, dass der Benutzer gut mit dem System interagieren kann und seine rea- len Eingaben ohne Abweichung verarbeitet werden.
1.2.2	Geschwindig- keit	in Echtzeit	Um eine optimale Interaktion mit dem System zu gewährleisten müssen die Benutzerbewegungen un- verzüglich registriert und verarbeitet werden.
1.2.3	Weiträumig- keit	nein	Der Benutzer befindet sich während der VR- Kommissionierung direkt vor der Projektionsfläche.
1.2.4	Erweiterungs- fähigkeit	vorhanden	Das Trackingsystem soll es gestatten, eigens konzi- pierte Targets zu nutzen.
1.2.5	Peripheriekos- ten	niedrig	Zubehörteile zur Gestaltung eigener Targets sollen kostengünstig sein.
1.3	Interaktionsgerät „Greifen“		
1.3.1	Bedienung	intuitiv	Das Gerät soll sich leicht, schnell und intuitiv bedie- nen lassen, um die Akzeptanz zu erhöhen und eine kurze Einlernphase zu ermöglichen.
1.3.2	Gewicht	gering	Das Interaktionsgerät soll die reale Handbewegung des Benutzers während des Greifvorgangs nicht be- einträchtigen.
1.3.3	Tragekomfort	hoch	Der Benutzer soll den Gebrauch des Interaktionsge- räts als angenehm empfinden.
1.3.4	Bewegungs- freiheit	hoch	Das Gerät soll den Benutzer in seiner Bewegungsfrei- heit nicht einschränken.
1.3.5	Robustheit	hoch	Einem ständigen Wechsel zwischen den Benutzern (v.a. während der Evaluierung) muss das Interakti- onsgerät Stand halten
1.3.6	Genauigkeit	mittel	Es werden kleine bis mittlere Objekte gegriffen. Dies ist bei der Genauigkeit des Interaktionsgeräts zu be- rücksichtigen.
1.3.7	Realitätsnähe	hoch	Das Interaktionsgerät soll die natürlichen Bewe- gungsmechanismen des Menschen beim Greifen optimal abbilden
1.3.8	Kosten	niedrig	Das Interaktionsgerät soll kostengünstig in der An- schaffung sein.
1.3.9	Integration in das System	einfach	Das Gerät muss sich leicht in das Gesamtsystem integrieren lassen.

1.4	Interaktionsgerät „Fortbewegung“ (Szenario 1)		
1.4.1	Bedienung	intuitiv	Das Gerät soll sich leicht, schnell und intuitiv bedienen lassen, um die Akzeptanz zu erhöhen und eine kurze Einlernphase zu ermöglichen.
1.4.2	Gestaltung	Bewegung in der 2D-Ebene	Das Interaktionsgerät soll derart gestaltet sein, damit sich der Vorgang des Gehens in der 2D-Ebene abbilden lässt.
1.4.3	Sicherheit	vorhanden	Entsprechende Anbauten erlauben dem Benutzer sich jederzeit festzuhalten.
1.4.4	Dynamikverhalten	hoch	Das Interaktionsgerät muss auf eine Benutzereingabe unverzüglich reagieren und dem realen Vorgang des Gehens entgegenwirken, damit der Benutzer auf der Stelle verbleibt.
1.4.5	Robustheit	hoch	Das Gerät muss so konstruiert sein, damit es auch einem hohen Körpergewicht des Benutzers Stand hält.
1.4.6	Kosten	niedrig	Das Gerät soll kostengünstig in der Anschaffung/Konstruktion sein.
1.4.7	Abmessungen	definiert	Das Interaktionsgerät muss in die bestehende VR-Anlage integriert werden. Aufgrund der räumlichen Gegebenheiten des Raums darf eine bestimmte Höhe nicht überschritten werden.
1.4.8	Integration in das System	einfach	Das Gerät muss sich leicht in das Gesamtsystem integrieren lassen.
1.5	Interaktionsgerät „Fortbewegung“ (Szenario 2)		
1.5.1	Bedienung	intuitiv	Das Gerät soll sich leicht, schnell und intuitiv bedienen lassen, um die Akzeptanz zu erhöhen und eine kurze Einlernphase zu ermöglichen.
1.5.2	Steuereingaben	umfangreich	Das Steuergerät muss alle Fahrzeugfunktionen (Fahren, Heben der Kabine) ansteuern können.
1.5.3	Kosten	niedrig	Das Interaktionsgerät soll kostengünstig in der Anschaffung sein.
1.5.4	Integration in das System	einfach	Das Gerät muss sich leicht in das Gesamtsystem integrieren lassen.
2.	Software		
2.1	VR-Basissoftware		
2.1.1	Architektur	modular	Die Aufteilung der Software muss modular erfolgen, um wie gewünscht die verschiedenen Module des Systems bei Bedarf nutzen bzw. falls nicht benötigt ohne die Module arbeiten zu können.
2.1.2	Schnittstellen	vorhanden	Die Software muss über eine geeignete Programmierschnittstelle (SDK) verfügen, damit die Funktionalität des Funktionsmusters umgesetzt werden kann.
2.1.3	Erweiterungsfähigkeit	ja	Das System wird über die Zeit um Funktionalitäten erweitert. Die Software muss dies erlauben. Die Schnittstellen sowie der modulare Aufbau unterstützen dies.
2.1.4	Datenformate	vielseitig	Die VR-Basissoftware soll zahlreiche der gängigen 3D-Datenformate unterstützen.
2.1.5	Qualität	hoch	Die Visualisierungsqualität der Objekte und der räumlichen Begebenheiten sollen einen hohen Realitätsgrad aufweisen, damit sich der Benutzer optimal in die Simulation integriert fühlt.

2.2	Trackingsoftware		
2.2.1	Integration in das System	leicht	Das bestehende IR-Trackingsystem soll einfach in das Funktionsmuster integriert werden können.
2.2.2	Schnittstellen	vorhanden	Trackingdaten müssen über geeignete Schnittstellen (SDK) ausgelesen werden können
2.3	3D-Modellerstellung		
2.3.1	Erlernbarkeit	schnell	Das Werkzeug zur Modellerstellung soll für den Nutzer schnell erlernbar sein
2.3.2	Strukturierung	optimal	Die Unterteilung innerhalb der graphischen Oberfläche des Werkzeugs soll strukturiert sein, damit der Planer die benötigten Objekte sofort findet und diese platzieren kann.
2.3.3	Objektauswahl	möglich	Mit Hilfe einer Objektbibliothek an verschiedenen Funktionseinheiten zur Artikellagerung und Bereitstellung soll eine schnelle Auswahl und Platzierung dieser im virtuellen Raum erfolgen können.
2.4	VR-Kommissionierung		
2.4.1	Auftragserstellung		
2.4.1.1	Auftragserstellung	einfach	Der Planer soll ohne großen Aufwand die zur VR-Kommissionierung benötigten Aufträge erstellen können.
2.4.1.2	Integration in VR-System	ja	Die Aufträge sollen auch als virtuelle Objekte dargestellt werden.
2.4.2	Auftragsverwaltung		
2.4.2.1	Auftragsannahme	vorhanden	Durch ein geeignetes Auftragsterminal sollen dem Benutzer die zu kommissionierenden Aufträge bereitgestellt werden.
2.4.2.2	Auftragsdarstellung	jederzeit	Der Benutzer muss im Stande sein, während der VR-Kommissionierung sich jederzeit den aktuellen Auftrag anzeigen zu lassen.
2.4.2.3	Auftragsabgabe	vorhanden	Der abgeschlossene Auftrag muss im 3D-Modell an einer geeigneten Stelle quittiert und abgelegt werden.
2.4.3	Entnahmevorgang		
2.4.3.1	Greifvorgang	vorhanden	In Kombination mit dem Interaktionsgerät „Greifen“ müssen virtuelle Objekte gegriffen werden können.
2.4.3.2	Objektmanipulation	einfache Kollisionsberechnung	Die Berechnung der Kollisionsüberprüfung beim Greifvorgang soll wenig rechenaufwändig umgesetzt sein.
2.4.3.3	Artikelablage	vorhanden	Der Benutzer benötigt eine entsprechende Vorrichtung um die gegriffenen Artikel abzulegen
2.4.4	Fortbewegung (Szenario 1)		
2.4.4.1	Virtuelle Fortbewegung		Die virtuelle Fortbewegung erfolgt durch Verschieben der VR-Systemkamera in Kombination mit den Werten des Interaktionsgeräts „Fortbewegung“ (Szenario 1).
2.4.4.2	Anzahl der Dimensionen	2-dimensional	Der Benutzer bewegt sich gehend im virtuellen Lager. Er verbleibt dabei in der 2D-Ebene.
2.4.5	Fortbewegung (Szenario 2)		
2.4.5.1	Virtuelle Fortbewegung		Die virtuelle Fortbewegung erfolgt durch Verschieben der VR-Systemkamera in Kombination mit den ausgelesenen Werten des Steuergeräts.
2.4.5.2	Anzahl der Dimensionen	3-dimensional	Der Benutzer bewegt sich mit einem Fahrzeug. Dabei kann er durch entsprechende Eingaben die Kabinenhöhe beeinflussen.

2.4.6	Zeiterfassung		
2.4.6.1	Kommissionierzeit	vorhanden	Alle wichtigen Zeitanteile (Greifzeit, Totzeit, Wegzeit) sollen durch eine automatische Zeiterfassung registriert werden.
2.4.6.2	Kommissionierleistung	vorhanden	Die Kommissionierleistung gibt Aufschluss über die Leistung der gewählten Kommissioniersystemvariante.
2.4.6.3	Kommissionierfehler	berücksichtigt	Eventuell auftretende Fehler beim Entnahmeprozess sollen berücksichtigt werden.
2.4.6.4	Ausgabe der Ergebnisse	visuell	Die Ausgabe der ermittelten Ergebnisse/Zeitanteile soll zum einfachen Verständnis des Planers in Form einer graphischen Darstellung erfolgen.
3.	Benutzerakzeptanz		
3.1	Bedienung	intuitiv	Das Funktionsmuster soll intuitiv umgesetzt sein, wodurch eine einfache und schnell erlernbare Bedienung möglich ist.
3.2	Körperliche Belastung	gering	Das Gesamtsystem soll so zu bedienen sein, damit der Benutzer nicht körperlich belastet wird.
3.3	Gefühl der Beherrschung	vorhanden	Der Benutzer soll stets das Gefühl haben, dass er das System beherrscht.
3.4	Eingewöhnungsphase	kurz	Das System sollte nach kurzer Zeit problemlos zu bedienen sein.
4.	Allgemeines		
4.1	Ergonomische Gestaltungsrichtlinien	berücksichtigt	Bei der Entwicklung und Umsetzung des Funktionsmusters sollen ergonomische Gestaltungsrichtlinien berücksichtigt werden, um eine übermäßige Beanspruchung des Nutzers zu vermeiden.
4.2	Arbeitsmedizinische Erfordernisse	berücksichtigt	Die Leistungsfähigkeit der Benutzer soll beim Umgang mit dem System erhalten bleiben und der Körper nicht übermäßig beansprucht werden (v.a. Augen). Cyber-Sickness und andere Beschwerden sind zu vermeiden.

Anhang B: Fragebogen Evaluierung 1



fml - Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
 Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. W. A. Günthner
 Technische Universität München

Fragebogen zur Evaluierung des Funktionsmusters KomPlanVR

Dieser Fragebogen wird im Rahmen des Forschungsprojekts KomPlanVR – Kommissioniersystem-Planung mit VR eingesetzt. Ziel dieses Projekts ist es, eine neue VR-gestützte Methodik zur Planung, Bewertung und Optimierung zukünftiger manueller Kommissioniersysteme zu entwickeln.

Mittels dieser Versuchsreihe wird überprüft, inwiefern der umgesetzte Demonstrator bereits für eine derartige Planung geeignet ist bzw. welche Optimierungspotenziale noch vorhanden sind.

Es soll dabei nicht Ihre Leistung überprüft werden, sondern es interessieren Ihre Erfahrungen und Meinung bzgl. des Funktionsmusters. Die Auswertung des Fragebogens erfolgt völlig anonym. Uns würde es sehr helfen, wenn Sie die Fragen so umfassend und ehrlich wie möglich beantworten. Vielen Dank.

1. Angaben zur Person

- 1.1 Wie alt sind Sie? _____ männlich weiblich
- 1.2 Welchen beruflichen Hintergrund haben Sie? _____
- 1.3 Wie viel Erfahrung können Sie in der Kommissionierung vorweisen?
 keine Erfahrung etwas Erfahrung langjährige/große Erfahrung
- 1.4 Haben Sie bereits Erfahrung mit einer der folgenden Technologien?
- | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 3D-CAD | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| 3D-Visualisierung | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| 3D-Kinofilme | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| Computerspiele | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| Virtual / Augmented Reality | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
- 1.5 Benötigen Sie eine Sehhilfe? ja, Brille ja, Kontaktlinsen nein

Dipl.-Ing. Andreas Steghafner
 089 / 289-15927

Fragen zum Funktionsmuster

	stimmt über- haupt nicht	stimmt weitge- hend nicht	stimmt eher nicht	stimmt ein wenig	stimmt weitge- hend	stimmt genau
Die virtuelle Kommissionierung ist realitätsnah umgesetzt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Gewöhnung an den Demonstrator fiel mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Arbeit mit dem Demonstrator erfordert Übung.	<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 Schulung empfehlen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Notizen zu den oben genannten Punkten:

Motivation und Akzeptanz (reale Kommissionierung)

	stimmt über- haupt nicht	stimmt weitge- hend nicht	stimmt eher nicht	stimmt ein wenig	stimmt weitge- hend	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"/>
Die Tätigkeit machte mir großen Spaß	<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"/>

Motivation und Akzeptanz (virtuelle Kommissionierung)

	stimmt über- haupt nicht	stimmt weitge- hend nicht	stimmt eher nicht	stimmt ein wenig	stimmt weitge- hend	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"/>
Die Tätigkeit machte mir großen Spaß	<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"/>

Notizen zu den oben genannten Punkten:

Datenhandschuh

Wie empfanden Sie die Genauigkeit des Datenhandschuhs beim Greifen?

äußerst ungenau sehr genau

Wie bewerten Sie den Tragekomfort des Datenhandschuhs?

äußerst unangenehm sehr angenehm

Der Greifvorgang geschieht ohne aktive Krafrückkopplung. Empfanden Sie diesen „Griff ins Leere“ als störend?

äußerst störend keinesfalls störend

Ein Datenhandschuh ohne Krafrückkopplung kann keinerlei Artikelgewicht vermitteln. Wie störend ist dieser Umstand?

äußerst störend keinesfalls störend

Die Umsetzung der greifbaren Objekte als 3D-Würfel ist ausreichend für eine Simulation des Kommissioniervorgangs.

sehr zutreffend keinesfalls zutreffend

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen:

Kommissionierliste und Regalmarkierungen

Der aktuelle Auftrag wird mittels einer Geste als virtuelle Kommissionierliste dargestellt. Ist dies ausreichend oder halten Sie den zusätzlichen Einsatz z.B. eines virtuellen Barcodescanners oder mobilen Datenterminals für erstrebenswert?

völlig ausreichend keinesfalls ausreichend

Wie bewerten Sie die Lesbarkeit der virtuellen Kommissionierliste?

sehr gut lesbar äußerst schlecht lesbar

Wie bewerten Sie die Lesbarkeit der virtuellen Regalmarkierungen?

sehr gut lesbar äußerst schlecht lesbar

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen:

Laufband

Wie empfanden Sie die Lösung eines motorkraftbetriebenen Laufbands als Interaktionsgerät zur Fortbewegung?

sehr gut mangelhaft

Wie bewerten Sie das Beschleunigungsverhalten der Laufplattform?

sehr gut mangelhaft

Wie bewerten Sie das Verzögerungsverhalten der Laufplattform?

sehr gut mangelhaft

Wie beurteilen Sie die Navigationsmöglichkeiten mittels der Laufplattform?

sehr gut mangelhaft

Wie sicher fühlten Sie sich auf dem motorkraftbetriebenen Laufband?

sehr sicher sehr unsicher

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen:

Visualisierungsqualität

Wie beurteilen Sie die Gesamtqualität der Darstellung?	sehr gut	gut	ausreichend	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Traten bei Ihnen Augenermüdung oder Augenschmerzen bei der Betrachtung der 3D-Bilder auf?	ja	etwas	nein	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geschah die Berechnung der Visualisierung schnell genug oder stockten die Bilder?	sehr gut	gut	ausreichend	keine Aussage
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen:

Kognitive Belastung (reale Kommissionierung)

Wie viel geistige und psychische Aktivität wurde gefordert (z.B. Denken, Entscheiden, Suchen, Anschauen, etc.)? Das heißt, war die Tätigkeit zu kommissionieren leicht oder anspruchsvoll?

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

Wie gestresst fühlten Sie sich während der Tätigkeit zu kommissionieren?

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

Wie viel Anstrengung mussten Sie aufbringen, um sich mit dem Kommissionierwagen durch das reale Lager zu bewegen?

keinerlei Anstrengung	<input type="checkbox"/>	sehr viel Anstrengung					
-----------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------

Wie viel Anstrengung mussten Sie aufbringen, um sich im realen Lager zurechtzufinden?

keinerlei Anstrengung	<input type="checkbox"/>	sehr viel Anstrengung					
-----------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------

Kognitive Belastung (virtuelle Kommissionierung)

Wie viel geistige und psychische Aktivität wurde gefordert (z.B. Denken, Entscheiden, Suchen, Anschauen, etc.)? Das heißt, war die Tätigkeit zu kommissionieren leicht oder anspruchsvoll?

leicht anspruchsvoll

Wie gestresst fühlten Sie sich während der Tätigkeit zu kommissionieren?

überhaupt
nicht ge-
stresst sehr ge-
stresst

Wie viel Anstrengung mussten Sie aufbringen, um sich auf dem Laufband in der virtuellen Umgebung zu bewegen?

keinerlei
Anstrengung sehr viel An-
strengung

Wie viel Anstrengung mussten Sie aufbringen, um sich im virtuellen Lager zurechtzufinden?

keinerlei
Anstrengung sehr viel An-
strengung

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen:

Potenzial von KomPlanVR

In wie vielen Jahren wird dieser Ansatz ein gängiges Instrument zur Kommissioniersystem-Planung darstellen?

5 10 20 wird sich nicht durchsetzen

Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

Dipl.-Ing. Andreas Steghafner
089 / 289-15927
steghafner@fml.mw.tum.de

10 von 10

Anhang C: Fragebogen Evaluierung 2



fml - Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
 Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. W. A. Günthner
 Technische Universität München

Fragebogen zur Evaluierung der Überarbeitung des Funktionsmusters KomPlanVR

Dieser Fragebogen wird im Rahmen des Forschungsprojekts KomPlanVR – Kommissioniersystem-Planung mit VR eingesetzt. Ziel dieses Projekts ist es, eine neue VR-gestützte Methodik zur Planung, Bewertung und Optimierung zukünftiger manueller Kommissioniersysteme zu entwickeln.

Mittels dieser Versuchsreihe wird überprüft, inwiefern die umgesetzten Funktionen zu einer Optimierung des Simulationslaufs beitragen.

Es soll dabei nicht Ihre Leistung überprüft werden, sondern es interessieren Ihre Erfahrungen und Meinung bzgl. des Funktionsmusters. Die Auswertung des Fragebogens erfolgt völlig anonym. Uns würde es sehr helfen, wenn Sie die Fragen so umfassend und ehrlich wie möglich beantworten. Vielen Dank.

1. Angaben zur Person

- 1.1 Wie alt sind Sie? _____ männlich weiblich
- 1.2 Welchen beruflichen Hintergrund haben Sie? _____
- 1.3 Wie viel Erfahrung können Sie in der Kommissionierung vorweisen?
 keine Erfahrung etwas Erfahrung langjährige/große Erfahrung
- 1.4 Haben Sie bereits Erfahrung mit einer der folgenden Technologien?
- | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 3D-CAD | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| 3D-Visualisierung | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| 3D-Kinofilme | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| Computerspiele | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
| Virtual / Augmented Reality | nein <input type="checkbox"/> | etwas <input type="checkbox"/> | viel <input type="checkbox"/> |
- 1.5 Benötigen Sie eine Sehhilfe? ja, Brille ja, Kontaktlinsen nein

Dipl.-Ing. Andreas Steghafner
 089 / 289-15927
 steghafner@fml.mw.tum.de

1 von 5

Laufband - Seitwärtsschritt

Wie bewerten Sie konstruktive Umsetzung der Zusatzeinrichtung?

sehr gut mangelhaft

Ist die Konstruktion hinsichtlich Robustheit optimal ausgelegt?

sehr gut
ausgelegt mangelhaft
ausgelegt

Wie bewerten Sie das Ansprechverhalten der Sensoren in der Zusatzeinrichtung?

sehr gut mangelhaft

Ermöglicht die Zusatzeinrichtung eine leichtere Navigation in der Virtuellen Umgebung?

völlig zutref-
fend überhaupt
nicht zu-
treffend

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen:

Kognitive Belastung

Wie viel Anstrengung mussten Sie aufbringen, um die neue Zusatzeinrichtung zu bedienen?

keinerlei Anstrengung sehr viel Anstrengung

Wie gestresst fühlten Sie sich während der Bedienung der Zusatzeinrichtung?

überhaupt nicht gestresst sehr gestresst

Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen:

Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

Dipl.-Ing. Andreas Steghafner
089 / 289-15927
steghafner@fml.mw.tum.de

5 von 5