

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19087 N

Thema

Kommissionierarmband zur Validierung von Pickingprozessen - ValidKomm

Berichtszeitraum

01.04.2016 - 31.05.2018

Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik BVL

Forschungseinrichtung(en)

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS

TU München Lehrstuhl fml

Nürnberg 05.10.2018

Ort, Datum



Andreas Hölczli, Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19087 N

Thema

Kommissionierarmband zur Validierung von Pickingprozessen - ValidKomm

Berichtszeitraum

01.04.2016 - 31.05.2018

Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik BVL

Forschungseinrichtung(en)

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS

TU München Lehrstuhl fml

Nürnberg 05.10.2018


Andreas Hölczi, Professor Dr.-Ing. Johannes
Fottner

Ort, Datum

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ValidKomm

Vorhaben Nr. 19087 N

Kommissionierarmband zur Validierung von Pickingprozessen

Abschlussbericht

Beginn der Arbeiten: 01.04.2016
Ende der Arbeiten: 31.05.2018
Zuschussgeber: BMWi / IGF-Nr. 19087 N
Forschungseinrichtungen: Fraunhofer IIS
Leiter: Prof. Dr. Albert Heuberger
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Leiter: Prof. Johannes Fottner
Bearbeiter und Verfasser: M. Sc. Andreas Hölczli
Dipl.-Ing. Christopher Ludwig
Dipl.-Ing. Tobias Dräger
M. Sc. Kai Rieger

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 19087 N „ValidKomm – Kommissionierarmband zur Validierung von Pickingprozessen“ der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. - BVL, Schlachte 31, 28195 Bremen wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
1.1	Einführung.....	7
1.2	Wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Problemstellung.....	7
1.3	Forschungsziel	8
1.3.1	Angestrebte Forschungsergebnisse	8
1.3.2	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	10
1.3.3	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	10
2	Grundlagen.....	12
2.1	Kommissioniersysteme.....	12
2.1.1	Materialflusssystem.....	12
2.1.2	Organisationssystem.....	12
2.1.3	Informationssystem	13
2.2	Schlüsselfaktoren erfolgreicher Kommissionierung.....	13
2.2.1	Kommissionierzeit	14
2.2.2	Flexibilität	15
2.2.3	Kommissionierkosten	15
2.2.4	Kommissionierqualität.....	15
2.3	Informationsbereitstellungssysteme.....	17
2.3.1	Stationäre und mobile Terminals	18
2.3.2	Pick-by-Voice	18
2.3.3	Pick-by-Light.....	19
2.3.4	Pick-by-Vision.....	20
2.3.5	Einfluss der Systeme auf die Kommissionierfehlerquote.....	20
2.4	Systeme zur Fehlerreduzierung.....	21
2.4.1	Abgleichssysteme.....	21
2.4.2	Klappensteuerungssysteme	22
2.4.3	Eingriffsüberwachungssysteme	22
2.4.4	Systemvergleich	23
2.5	Induktive Nahfeldortung.....	25
3	Mögliche Einsatzszenarien der induktiven Nahfeldortung in der manuellen Kommissionierung	27
4	Definition von Anforderungen an das neue Eingriffsüberwachungssystem	29
4.1	Gliederung der Anforderungen	29
4.2	Beschreibung der verwendeten Informationsquellen.....	29
4.2.1	Arbeitskreis im Rahmen des ersten Projekttreffens	29
4.2.2	Normen und Richtlinien	30
4.2.3	Expertenbefragungen	31

4.3	Bewertung der Anforderungen	33
4.4	Technische Anforderungen	33
4.5	Testprozeduren und Abnahmebedingungen	34
5	Konzeptionierung des ValidKomm-Systems	35
5.1	Logistisches Konzept.....	35
5.1.1	Konzept 1: Konventionelle Mann-zu-Ware-Kommissionierung.....	41
5.1.2	Konzept 2: Kommissionierung entlang einer AKL Regalfront.....	42
5.1.3	Konzept 3: Manuelle Kommissionierung mit Bahnhöfen	43
5.1.4	Wahl des Konzepts für den Demonstrator	44
5.1.5	Mögliche Probleme beim Einsatz des ValidKomm-Systems	44
5.1.6	Weitere Anwendungsmöglichkeiten des ValidKomm-Systems.....	45
5.2	Technisches Konzept und Umsetzung einer Funktionsbasis	46
5.2.1	ValidKomm Basisstation	46
5.2.2	Primär- und Empfangsantennen	46
5.2.3	Lokalisierungsobjekt „Wearable“.....	47
6	Anpassung der induktiven Nahfeldortung an das Lagerumfeld	49
6.1	Umsetzung der Hardware-Komponenten.....	49
6.1.1	ValidKomm Basisstation	49
6.1.2	Primär- und Empfangsantennen	50
6.1.3	Lokalisierungsobjekt „Wearable“.....	51
6.2	Durchgeführte Systemtests.....	54
6.2.1	Versuchsplan.....	55
6.2.2	Versuchsaufbau.....	57
6.2.3	Versuchsdurchführung.....	58
6.2.4	Versuchsergebnisse	61
7	Entwicklung des aktiven Kommissionierarmbands.....	69
8	Anwendungsprogrammierung.....	72
8.1	Ziele hinter der Entwicklung einer ValidKomm Integrations- und Anwendungsplattform	73
	Anbindung der Daten des Rahmensystems und des WD an Auftragsdaten eines WMS/ERP	73
	Vergleich der Daten auf der IAP	73
	Kommunikation mit dem WD	73
	Flexibilität und einfache Erweiterbarkeit.....	73
	System Evaluierung.....	73
8.2	Systemkomponenten der ValidKomm Integrations- und Anwendungsplattform	74
8.3	Primäre Funktionen der Validkomm Integrations- und Anwendungsplattform	74
8.4	Umsetzung der ValidKomm Integrations- und Anwendungsplattform.....	75
9	Probanden- und Feldtests.....	81

9.1	Erster Feldtest	81
9.1.1	Aufbau	81
9.1.2	Durchführung.....	82
9.1.3	Ergebnisse	82
9.1.4	Zusammenfassung	89
9.2	Zweiter Feldtest.....	90
9.2.1	Aufbau	90
9.2.2	Durchführung.....	92
9.2.3	Ergebnisse	92
9.2.4	Zusammenfassung	97
9.3	Probandtest	98
9.3.1	Aufbau	98
9.3.2	Durchführung.....	99
9.3.3	Ergebnisse	100
9.3.4	Zusammenfassung	102
9.4	Fragebogenauswertungen FML.....	103
9.4.1	Zweiter Feldtest.....	103
9.4.2	Probandentest	104
9.5	Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit IIS.....	106
10	Zusammenfassung und Ausblick IIS	107
10.1	Zusammenfassung IIS	107
10.2	Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten sowie Ausblick.....	109
10.3	Verwendung der zugewendeten Mittel	110
10.4	Ergebnistransfer in Wirtschaft und Forschung IIS.....	111
11	Literaturverzeichnis	115
12	Tabellenverzeichnis	118
13	Abkürzungsverzeichnis	119
14	Anhang	121
14.1	Anhang A - Interviewleitfaden	121
14.2	Anhang B - Gesamtanforderungsliste.....	126
14.3	Anhang C – Ergebnisse Systemtests	139
14.4	Anhang D – Untersuchung zeitliches Auftreten der Systemfehler.....	143
14.5	Anhang E - Fragebogen des zweiten Feldtests	147
14.6	Anhang F - Fragebogen des Probandentests.....	149
14.7	Anhang G – Ergebnisse der Fragebogenauswertungen	153
14.7.1	Ergebnisse zweiter Feldtest.....	153
14.7.2	Ergebnisse Probandentest	156

1 Einleitung

1.1 Einführung

Kommissionieren bezeichnet das Zusammenstellen von Teilmengen bzw. Gütern aus einer Gesamtmenge für einen Auftrag [VDI-3590-1, S. 2]. Dieser Prozess wird klassisch in der Produktion oder Montage zur Versorgung mit Rohstoffen und Halbfertigteilen sowie in der Distribution zur Zusammenstellung von Fertigteilen für den Versand verwendet [Gün-2016, S. 5-1]. Da vom Prozess des Kommissionierens zahlreiche Logistikziele wie Leistung, Qualität und Kosten beeinflusst werden, handelt es sich beim Kommissionieren um einen der wichtigsten Bestandteile der innerbetrieblichen Logistik [Hom-2011, S. 3].

Bei der Ausführung des Kommissionierprozesses kann zwischen manueller und automatischer Kommissionierung unterschieden werden. Bei ersterer werden Menschen eingesetzt, welche die Identifikation, Entnahme und Ablage der Güter übernehmen. Diese Form zeichnet sich durch geringe Investitionskosten sowie eine hohe Flexibilität aus, denn Mitarbeiter können je nach Bedarf beschäftigt werden und können sich aufgrund ihrer Tast- und Greiffähigkeiten einfach an unterschiedliche Artikel anpassen [Arn-2008, S. 241]. Zudem können sie durch ihre kognitive Fähigkeiten Informationen schnell aufnehmen, sich auf geänderte Abläufe einstellen und selbst Fehler erkennen. Leider verursachen Menschen dabei jedoch Fehler. Bei der automatischen Kommissionierung übernehmen Maschinen die Ausführung des Prozesses. Diese müssen zuvor auf die vorhandenen Artikel sowie den Prozessablauf eingestellt werden, wodurch zum einen hohe einmalige Kosten und zum anderen starre Lösungen entstehen. Vorteile sind hohe Kommissionierleistungen¹ sowie geringe Fehlerquoten.

Da in den meisten Anwendungsfällen niedrige Kosten sowie eine hohe Flexibilität gefordert sind, wird auch in Zeiten zunehmender Automatisierung immer noch hauptsächlich manuell kommissioniert. Untersuchungen gehen dabei von einem Anteil der manuellen Kommissionierung von bis zu 80% aus [Kos-2007; Bak-2008; Nap-2012].

1.2 Wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Problemstellung

Aufgrund von Menschen verursachter Fehler entstehen in der manuellen Kommissionierung zahlreiche Kommissionierfehler. Diese können je nach Branche sowie ihrem Entdeckungszeitpunkt mehr oder weniger großen Aufwand und damit Kosten nach sich ziehen. Entdeckt der Kommissionierer selbst einen seiner Fehler ist der Schaden vernachlässigbar gering. Wird der Fehler erst in der Produktion oder beim Kunden nach Erhalt der Sendung festgestellt, kann dies hohe Aufwände bedeuten [Ram-2012].

Als mögliche Folgen können Produktionsstillstände, Nachsendungen sowie Rücksendungen entstehen, welche nicht nur Kosten für die Fehlerbehebung verursachen, sondern auch nicht monetäre Schäden wie Verschlechterung des Lieferanten-Kunden-Verhältnisses, Kundenverlust oder Imageschäden hervorrufen [Men-1999, S. 2][Ram-2012].

Um diese Probleme zu minimieren sind Unternehmen bestrebt, Kommissionierfehler entweder nach dem Kommissionierprozess durch Nachkontrollen aufzuspüren oder direkt im Prozess zu reduzieren. Nachkontrollen werden dabei meist vor dem Transport zur Produktion oder vor dem Versand zum Kunden durchgeführt. Nachkontrollen gestalten sich jedoch aufgrund des hohen Aufwands als kostenintensiv [Ram-2012]. Einfacher ist es Fehler direkt beim Prozess des Kommissionierens zu reduzieren, indem zum Beispiel dem Kommissionierer die notwendigen Kommissionierinformationen möglichst einfach und unmissverständlich mitgeteilt werden oder der Kommissionierer während seiner Tätigkeit durch technische Systeme überwacht wird und diese ihn bei Bedarf auf einen Fehler hinweisen.

Im Bereich der Informationsbereitstellung sind unterschiedliche Systeme verfügbar, welche die Kommissionierinformationen über akustische oder optische Signale mitteilen. Dabei kann die Fehlerquote durch eine intuitive sowie vereinfachte Form der Mitteilung, wie zum Beispiel über

¹ Als Kommissionierleistung wird die Anzahl an entnommenen Artikel in einer gewissen Zeiteinheit bezeichnet.

verschiedenfarbige Lichter, signifikant gesenkt werden [Gün-2012b, S. 41]. Reduzierungen der Fehlerquote sind außerdem durch weitere Prozessschritte wie das Scannen von Ware nach der Entnahme oder die Eingabe von Prüfwerten möglich.

Eine signifikante Reduzierung der Kommissionierfehler ohne Reduzierung der Kommissionierleistung durch weitere Prozessschritte ist mit technischen Zusatzsystemen wie Eingriffsüberwachungssystemen erreichbar. Diese überwachen Eingriffe des Kommissionierers in bestimmte Entnahmeorte und melden falsche Eingriffe über optische, akustische oder haptische Signale. Dadurch werden, dem Poka-Yoke-[Shi-2006]Gedanken folgend, Fehler direkt am Entstehungsort reduziert. Im Idealfall wird der Kommissionierer gewarnt, bevor er einen falschen Artikel entnehmen kann und somit ein Kommissionierfehler entsteht.

Derzeit verwendete Systeme weisen jedoch folgende Schwachstellen auf:

- Sie sind kostenintensiv, da die Systeme entweder für jeden Entnahmeort einzeln angeschafft und installiert werden müssen oder weil sie komplexe Technik erfordern.
- Sie sind während des Betriebs stör- bzw. fehleranfällig, da jegliche Durchdringung der Überwachungsebene vor einem Entnahmeort als Eingriff gewertet wird. Dies kann zum Beispiel der Fall sein, wenn Teile der Hand oder der Kleidung in den Entnahmeort oder den Behälter hineinragen. Zudem sind einige der eingesetzten Sensoren oder Kameras licht- und/oder temperaturabhängig. Es kann daher bei Änderungen der Bedingungen am Entnahmeort zu Falschmeldungen kommen.
- Die Systeme sind aufgrund der separaten Installation je Entnahmeort wenig flexibel und müssen bei Änderungen der Bereitstellung (z. B. neue Aufteilung der Entnahmeorte) aufwendig angepasst werden.
- Keines der bestehenden Systeme kann Kommissionierer voneinander unterscheiden, wodurch je Kommissionierbereich nur maximal eine Person arbeiten kann.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass Fehler in der manuellen Kommissionierung große Auswirkungen auf den Unternehmenserfolg haben können und daher soweit wie möglich reduziert werden sollten. Mit einer einfachen und intuitiven Mitteilung der für den Prozess notwendig Kommissionierinformationen können Fehlerquoten bereits in gewissem Umfang gesenkt werden. Eine signifikante Reduzierung ist mit Eingriffsüberwachungssystemen zu erreichen, welche derzeit jedoch teuer, unflexibel und wenig zuverlässig sind. Außerdem kann immer nur ein Kommissionierer je Kommissionierbereich arbeiten, da Kommissionierer nicht unterschieden werden können.

1.3 Forschungsziel

1.3.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Ziel des vorliegenden Forschungsprojekts ist die Entwicklung eines neuartigen Eingriffsüberwachungssystems „ValidKomm“, welches die Probleme und Schwachstellen der derzeit verfügbaren Systeme nicht aufweist und dadurch in vielen Unternehmen eingesetzt werden kann. Verwendet werden soll dazu die Technologie der induktiven Nahfeldortung. Diese wurde bereits erfolgreich im Fußballsport zur Erfassung von Torlinienübertretungen des Balls eingesetzt [Fra-2018].

Abbildung 1 zeigt den geplanten Aufbau des ValidKomm-Systems. Um die Entnahmeorte, in diesem Beispiel ein Fachbodenregal, wird eine Leiterschleife (Nr. 1) gelegt, welche in der von ihr aufgespannten Eingriffsebene ein elektromagnetisches Feld erzeugt. Zusätzlich sind in diesem Rahmen, der nachfolgend „Eingriffsrahmen“ (ebenfalls Nr. 1) genannt wird, mehrere Antennen (Drahtspulen) verbaut, die das in der Eingriffsebene erzeugte Magnetfeld vermessen können. Der Kommissionierer trägt während seiner Tätigkeit ein Armband (Nr. 2) mit integrierter passiver Eingriffsspule (keine eigene Stromversorgung). Wird diese bei einem Eingriff in die Eingriffsebene eingebracht, so wird durch das vorherrschende Magnetfeld ein Strom in die Eingriffsspule induziert. Dadurch bildet sich um diese Spule ebenfalls ein Magnetfeld, welches sich mit dem Magnetfeld der Leiterschleife überlagert. Die Überlagerung kann von den

Antennen im Eingriffsrahmen erkannt und so der Ort des Eingriffs innerhalb des Eingriffsrahmens bestimmt werden. Wird dieser Ort mit den Soll-Koordinaten der zu kommissionierenden Artikel aus dem Warehouse-Management-System WMS verglichen, kann festgestellt werden, ob der Eingriff korrekt war und ob ein Fehler gemeldet werden soll. Als besonderen Mehrwert kann das Armband des Kommissionierers über ein Display zur Anzeige bestimmter Zusatzinformationen verfügen. Für welche Einsatzbereiche und Informationen dies sinnvoll ist, wird im Laufe des Projekts ermittelt.

Um das System einfach und aufwandsarm in bestehende Kommissionierbereiche integrieren zu können, wird eine Integrations- und Anwendungsplattform IAP erstellt, welche als eine Art Middleware zwischen dem ValidKomm-System und dem Lagerverwaltungssystem der Anwender fungiert.

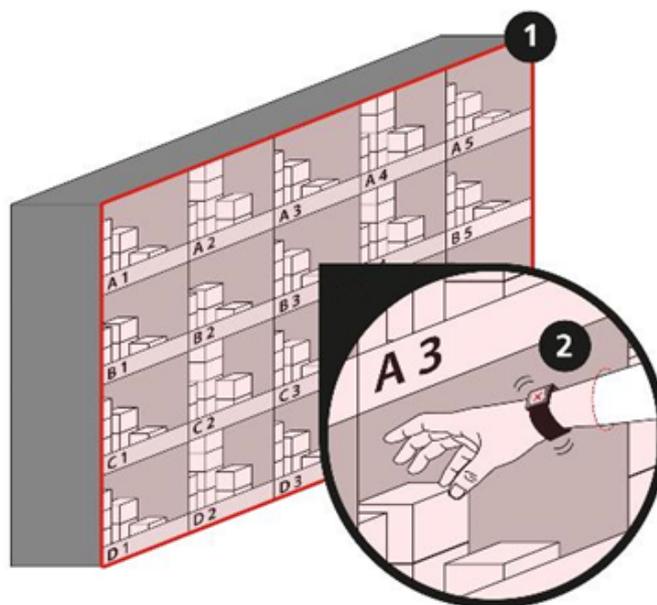


Abbildung 1: Aufbau des System ValidKomm

Da Leiterschleife, Antennen sowie die Eingriffsspule an der Hand des Kommissionierers aus einfachem Kupferdraht hergestellt werden können und das System mehrere Entnahmeorte auf einmal überspannen kann, werden geringe Herstellkosten erwartet. Die Installation des Systems soll durch verschieden groß gefertigte Eingriffsrahmen, welche an z. B. Regalen einfach angebracht werden können, ebenfalls aufwandsarm und somit kostengünstig erfolgen. Aufgrund der geringen Ströme und Spannungen sowie des einfachen Aufbaus werden auch im Betrieb und der Wartung keine hohen Kosten vorausgesagt und damit niedrige Gesamtkosten erreicht.

Aufgrund der Tatsache, dass nur Eingriffe vom System erkannt werden, wenn die Eingriffsspule am Arm des Kommissionierers die Eingriffsebene vollständig durchstößt, können viele der Fehlerkennungen bestehender Eingriffsüberwachungssysteme beim ValidKomm-System ausgeschlossen werden. Dadurch werden eine hohe Zuverlässigkeit bei der Erkennung von Eingriffen sowie eine hohe Robustheit gegenüber Umgebungseinflüssen erwartet.

Weitere Ziele für einen erfolgreichen Einsatz des Systems sind eine einfache Anbindung an gängige Warehouse-Management-Systeme, die Skalierbarkeit der Eingriffsrahmen für verschiedene Entnahmeorte sowie eine hohe Flexibilität bei Änderungen des Kommissionierbereichs. Letztere soll durch die softwareseitig frei einstellbaren Grenzen zwischen den Entnahmeorten ermöglicht werden.

Ein Alleinstellungsmerkmal des ValidKomm-Systems soll die Unterscheidung mehrerer Kommissionierer durch verschiedene Eingriffsspulen sein, wodurch es erstmals möglich sein soll

mehr als einen Kommissionierer gleichzeitig in einem Kommissionierbereich mit einem Eingriffsüberwachungssystem arbeiten zu lassen.

Zusätzlich soll geprüft werden, ob und welche Zusatzfunktionen am Armband des Kommissionierers realisiert werden können. Diese sollen einen Mehrwert für den Kommissionierer sowie den gesamten Prozess bieten und somit die Kommissionierleistung sowie die Ergonomie verbessern.

1.3.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Derzeit ist kein System zur Eingriffsüberwachung in der manuellen Kommissionierung verfügbar, welches niedrige Gesamtkosten, eine hohe Flexibilität sowie eine hohe Zuverlässigkeit bei der Erkennung von Eingriffen aufweist. Zudem kann keines der Systeme Kommissionierer voneinander unterscheiden, wodurch je Kommissionierbereich maximal ein Kommissionierer arbeiten kann. Aus den genannten Gründen werden Eingriffsüberwachungssysteme im Moment nur in wenigen Branchen sowie meist in Großunternehmen eingesetzt [Pro-2016].

Mit dem ValidKomm-System wird ein kostengünstiges, flexibles und zuverlässiges System entwickelt, das für verschiedene Kommissioniersysteme verwendet werden kann. Damit wird es auch kleinen und mittleren Unternehmen KMU ermöglicht ein Eingriffsüberwachungssystem in der manuellen Kommissionierung einzusetzen.

1.3.3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Die angeführten Inhalte werden in 3 Teilpaketen, welche sich in 8 aufeinander aufbauenden Arbeitspakete (APs) unterteilen, erarbeitet (vgl. Abbildung 2). Die Kapitel des vorliegenden Berichts, welche die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete enthalten, werden jeweils in Klammer angegeben.

Zunächst wird in AP1 der Stand der Technik im Bereich der manuellen Kommissionierung durch Literaturrecherchen aufgenommen (Kapitel 2). Dadurch sollen Ausprägungen der Kommissioniersysteme identifiziert und Vor- sowie Nachteile bestehender Informationsbereitstellungen und Eingriffsüberwachungssysteme aufgezeigt werden. In einem weiteren Schritt sollen daraus erste mögliche Einsatzszenarien für das ValidKomm-System abgeleitet werden (Kapitel 3). In AP2 werden anschließend über Literatúrauswertungen und Expertenbefragungen Anforderungen an das neu zu entwickelnde Eingriffsüberwachungssystem gesammelt und strukturiert (Kapitel 4). Sie müssen später bei der Entwicklung des Funktionsdemonstrators berücksichtigt werden. Anschließend werden im Rahmen von AP3 mehrere logistische Konzepte erstellt, welche die Funktionsumfänge des Systems für verschiedene Einsatzszenarien spezifizieren (Kapitel 5). Mit Hilfe des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) wird daraus ein Konzept ausgewählt, für das die technische Umsetzung in Form eines technischen Konzepts festgelegt wird. In AP4 erfolgt die Anpassung der induktiven Nahfeldortung für den vorliegenden Einsatzfall der manuellen Kommissionierung (Kapitel 6). Dafür müssen die einzelnen Komponenten weiterentwickelt werden. Dies beinhaltet die Erstellung des Kommissionierarmbands mit Eingriffsspule und möglichen Zusatzfunktionen in AP5 (Kapitel 7). Die Anbindung des ValidKomm-Systems an bestehende Warehouse-Management-Systeme wird in AP6 realisiert (Kapitel 8). Dazu wird eine Middleware-Plattform programmiert. In AP7 finden umfangreiche Tests des entwickelten Demonstrators statt (Kapitel 9). Zum einen werden im Labor des Fraunhofer IIS Probandentests durchgeführt und zum anderen wird das ValidKomm-System im realen Kommissionierablauf bei Industriepartnern eingesetzt. Dadurch sollen Aussagen zur Zuverlässigkeit, Ergonomie und Akzeptanz des Systems getroffen werden können. Das Projekt schließt mit AP8 durch die Dokumentation der Ergebnisse.

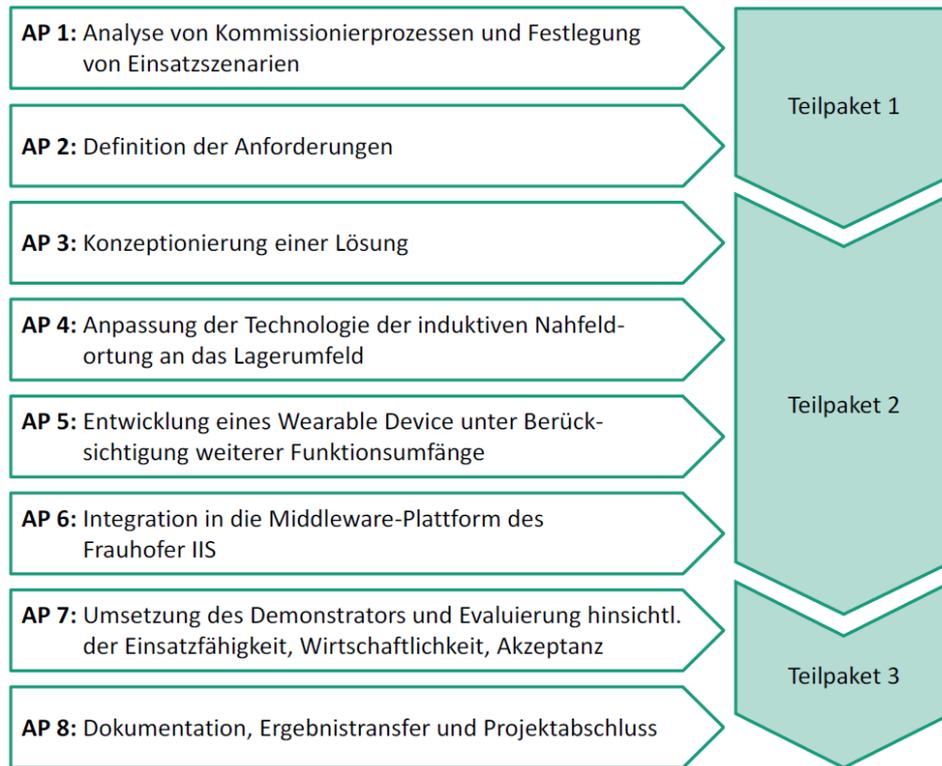


Abbildung 2: Arbeitspakete des Forschungsprojekts

2 Grundlagen

In den folgenden Abschnitten wird eine Wissensbasis für die späteren Arbeiten im Projekt gelegt. Dazu werden zunächst Ausprägungen manueller Kommissioniersysteme aufgezeigt sowie deren Potenziale und Fehleranfälligkeiten beschrieben. Anschließend werden bestehende Informationsbereitstellungs- und Eingriffsüberwachungssysteme diskutiert, um Probleme sowie Forschungsbedarfe deutlich zu machen und das ValidKomm-System einzuordnen. Abschließend wird die Ausgangstechnologie des Systems, die sogenannte „induktive Nahfeldortung“, näher beschrieben.

2.1 Kommissioniersysteme

Ein Kommissioniersystem stellt die Kombination von Einzeltätigkeiten zur Auftragszusammenstellung unter Zuhilfenahme spezieller Techniken und Strategien dar [Hom-2011, S. 6]. Nach VDI 3590 Blatt 1 unterteilen sich Kommissioniersysteme in drei Subsysteme: das Informationssystem, das Materialflusssystem und das Organisationssystem [VDI-3590-1, S. 1]. Für jedes einzelne Teilsystem existieren eine Vielzahl von Realisierungsmöglichkeiten, welche in je einem morphologischen Kasten dargestellt werden können (siehe VDI 3590-1) und die Beschreibung aller praxisrelevanten Kommissioniersysteme erlauben. Nachfolgend werden jene Realisierungsformen näher beschrieben, die Relevanz bezüglich der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit aufweisen. Zusatzprozesse wie zum Beispiel Nachschub- oder Entsorgungsaufgaben, Inventuren, Verpacken oder Kennzeichnung von Waren werden nicht berücksichtigt.

2.1.1 Materialflusssystem

Das Materialflusssystem beschreibt die Bewegung der Artikel sowie der Kommissionierer und die Art der Bereitstellung, der Entnahme sowie der Abgabe während des Kommissioniervorgangs. Folgende Grundfunktionen beinhaltet das Materialflusssystem nach VDI-Richtlinie 3590 daher [VDI-3590-1, S. 6]:

- Transport der Güter zur Bereitstellung
- Bereitstellung
- Bewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung
- Entnahme der Güter durch den Kommissionierer
- Transport der Güter zum Abgabeort
- Abgabe
- Rücktransport angebrochener Einheiten

Finden Transporte und Bewegungen statt, so können diese ein-, zwei- oder dreidimensional erfolgen, wobei dazu bei Bedarf mechanische Hilfsmittel genutzt werden. Die Bereitstellung sowie die Abgabe bezeichnen die Art in der dem Kommissionierer die Artikel zur Entnahme bereitgestellt werden bzw. wie dieser die Artikel am Ende des Prozesses abgibt. Dies kann statisch oder dynamisch, zentral oder dezentral und geordnet oder ungeordnet der Fall sein. Unter statisch und dynamisch ist hier die Bewegung der Artikel für die Entnahme oder bei der Abgabe zu verstehen. Zentral bedeutet an einem Ort und dezentral an mehreren verschiedenen Orten. Eine statische, dezentrale Bereitstellung würde der in der Praxis häufig verwendeten Kommissionierung Mann-zu-Ware entsprechen. Ein Ware-zu-Mann-System hat eine dynamische und zentrale Bereitstellung. Geordnet und ungeordnet beschreiben die räumliche Anordnung der Artikel am Entnahmeort, also ihre Lage und Orientierung. Diese Informationen sind vor allem für automatische Kommissioniersysteme wichtig. Die Entnahme erfolgt in den nachfolgenden Betrachtungen ausschließlich manuell. Rücktransporte angebrochener Einheiten sind für diese Arbeit nicht relevant.

2.1.2 Organisationssystem

Das Organisationssystem beschreibt den Vorgang der Auftragsbearbeitung, wobei der Schwerpunkt dabei auf der Abwicklung der Aufträge liegt. Es wird weiter unterteilt in die drei

Teilsysteme Aufbau-, Ablauf- und Betriebsorganisation. Die Aufbauorganisation bezieht sich auf die Zoneneinteilung des Kommissionierbereichs. Dieser ist entweder ein- oder mehrzonig, je nachdem ob der technische und organisatorische Aufbau im Kommissionierbereich durchgängig identisch ist oder verschiedene Zonen bestehen. Die Ablauforganisation beschreibt das Vorgehen beim Sammeln, der Entnahme und der Abgabe. Diese Abläufe sind wichtig, wenn zur Effizienzsteigerung mehrere Aufträge auf einmal kommissioniert werden (artikelorientiertes Kommissionieren). Werden Aufträge einzeln und nacheinander kommissioniert, spricht man von auftragsorientierter Kommissionierung. Die Betriebsorganisation gibt an, ob die Auftragseinstellung zeitlich optimiert abläuft oder nicht. Sie wird mangels Relevanz nicht weiter berücksichtigt.

2.1.3 Informationssystem

Das Informationssystem beinhaltet die Teilsysteme Auftragserfassung, Auftragsaufbereitung, Weitergabe und Quittierung. Da die ersten beiden Bereiche heutzutage vollständig automatisiert erfolgen [Höl-2016, S. 23], werden sie in dieser Arbeit nicht näher behandelt. Interessant sind hingegen die Weitergabe von Informationen sowie die Quittierung, weil hier Interaktionen zwischen Mensch und System bzw. Maschinen stattfinden.

Die Weitergabe, auch Informationsbereitstellung genannt [Gün-2016, S. 5], beschreibt die Mitteilung von für den Kommissionierprozess notwendigen Informationen an den Kommissionierer. Dies ist im einfachsten Fall die Artikelbezeichnung oder die Artikelnummer, die Entnahmemenge sowie der Entnahmeort [VDI-3590-1, S. 3]. Zusätzlich können dem Kommissionierer je nach Kommissioniersystem weitere Informationen wie zum Beispiel der Ablageort oder Arbeitsanweisungen mitgeteilt werden. Für die Informationsbereitstellung wird allgemein in beleggebundene (auch: papiergebundene) und beleglose (auch: papierlose) Systeme unterschieden. Auf sie wird in Kapitel 2.3 näher eingegangen.

Die Quittierung bezeichnet nach VDI-Richtlinie 3590 die Bestätigung des Entnahmevorgangs [VDI-3590-1, S. 4]. Sie kann manuell, manuell und automatisch oder nur automatisch erfolgen. Eine manuelle Quittierung ist zum Beispiel das schriftliche Abhaken einer Position² auf einer Liste nach der Entnahme. Bei einer automatischen Quittierung erfolgt diese ohne Zutun des Kommissionierers. Sie wird häufig eingesetzt, wenn der Kommissionierprozess über technische Systeme überwacht wird und das Ende des Entnahme- oder Ablagevorgangs somit automatisch erkannt werden kann. Quittiert werden die aktuelle Position und/oder der abgeschlossene Auftrag.

Zur Abbildung, Steuerung und Organisation des innerbetrieblichen Material- und Informationsflusses werden heutzutage elektronische Datenverarbeitungssysteme in Form von Warehouse-Management-Systemen (WMS) eingesetzt. Diese verwalten die Artikel im Lager (Artikelinformationen, Lagerorte, Mengen usw.) und verfügen über Schnittstellen zu den technischen Systemen wie Informationsbereitstellungs- oder Eingriffsüberwachungssystemen. Auf diese Weise können die genannten Systeme Daten für den Kommissionierprozess abrufen oder an das WMS zurückgeben. [Ram-2017, S. 16]

2.2 Schlüsselfaktoren erfolgreicher Kommissionierung

Nach Reif sollte das in der Logistik häufig verwendete „magische Dreieck“, bestehend aus den Faktoren Zeit, Qualität und Kosten, für die Kommissionierung um den Faktor Flexibilität erweitert werden. Grund hierfür sind die in den letzten Jahren stark gestiegenen Anforderungen bezüglich Umschlagsleistung sowie hohe Auftragschwankungen. [Rei-2009, S. 11]

² Eine Position entspricht einer Zeile in einem Kommissionierauftrag und gibt alle Informationen für den Kommissioniervorgang eines Artikels an [VDI-3590-1, S. 3].

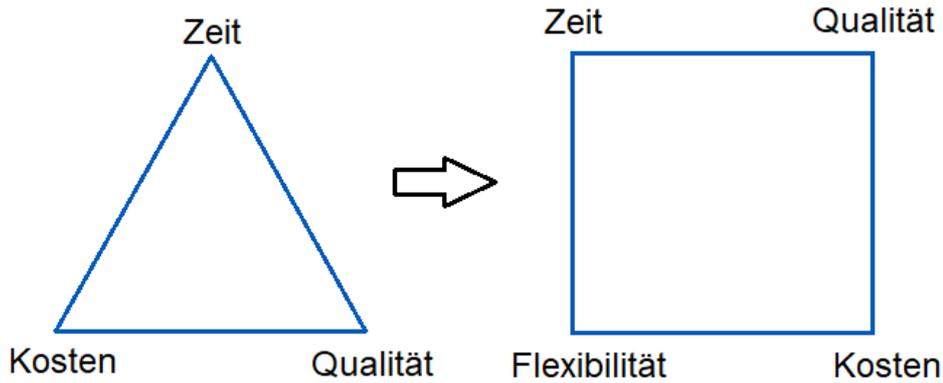


Abbildung 3: Erweiterung des magischen Dreiecks der Logistik zum Viereck, nach Reif [Rei-2009, S. 11]

Die genannten Faktoren werden nachfolgend im Kontext der manuellen Kommissionierung näher beleuchtet.

2.2.1 Kommissionierzeit

Die Zeit, die während des Kommissionierprozesses verstreicht, wird Kommissionierzeit genannt und unterteilt sich in Basiszeit, Wegzeit, Totzeit und Greifzeit.

Die Basiszeit ist die Zeit, in der sich der Kommissionierer an der Basis aufhält, also vor Beginn und nach Abschluss eines Kommissionierauftrags. Sie ist somit nicht von der Anzahl an kommissionierten Positionen abhängig. Arbeitsinhalte an der Basis sind zum Beispiel die Entgegennahme von Aufträgen, die Aufnahme des Kommissionierbehälters oder die Anbringung von Etiketten am Kommissionierbehälter [Arn-2007, S. 218]. Die Basiszeit hat einen Anteil von ca. 5 bis 10 % an der Gesamtzeit und ist vom Kommissioniersystem und der eingesetzten Technik abhängig [Koe-2008, S. 344]. Bei der beleglosen Kommissionierung entfallen beispielsweise Tätigkeiten wie die Annahme, das Ordnen und die Abgabe von Kommissionieraufträgen [Koe-2008, S. 344; Gud-2010, S. 743].

Die Wegzeit beschreibt die Zeiteile, die entstehen, wenn der Kommissionierer sich zu den Entnahmeorten und am Ende zur Abgabe bewegen muss [Arn-2007, S. 218]. Sie hängt stark vom Kommissioniersystem ab und kann bei Mann-zu-Ware-Systemen Anteile bis zu 60 % an der Gesamtzeit aufweisen [Koe-2008, S. 344].

Unter der Greifzeit sind alle Zeiträume für die physische Materialbewegung, also die Aufnahme und Ablage von Artikeln an einem Entnahme- bzw. Ablageort, zu verstehen [Arn-2007, S. 218]. Wichtig ist an dieser Stelle eine Unterscheidung zwischen den Begriffen Abgabe und Ablage. Eine Ablage findet nach jeder Entnahme eines Artikels oder einer Position z. B. in einem Sammelbehälter statt. Ein fertig kommissionierter Auftrag wird nach Abschluss der nötigen Entnahmen zur Abgabe gebracht und dort abgegeben. Der Zeitbedarf der Greifzeit ist abhängig von den vier Teilvorgängen Hinlangen, Aufnehmen, Befördern und Ablegen und wird entweder über Versuche bestimmt oder durch Verfahren wie Methods-Time-Measurement (MTM) berechnet. Laut Gudehus beträgt die Greifzeit durchschnittlich zwei bis zehn Sekunden pro Entnahme [Gud-2010, S. 739]. Insgesamt hat sie üblicherweise einen Zeitanteil von 15 bis 35 % an der Kommissionierzeit [Koe-2008, S. 344].

Die Totzeit ist jener Zeitbedarf, den ein Kommissionierer am Entnahmeort neben der Greifzeit benötigt. Sie beinhaltet Vor- und Nachbereitungen wie zum Beispiel Lesen, Suchen, Zählen, Quittieren [Arn-2007, S. 218]. Ihr Anteil an der Kommissionierzeit beträgt zwischen 20 und 30 % [Koe-2008, S. 344].

Die Kommissionierzeit wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Eine Auswahl wird nachfolgend aufgelistet [Arn-2007, S. 217]:

- Artikelgröße, Artikelstruktur und räumliche Verteilung des Bestandes

- Größe und Artikelstruktur des Kommissionierauftrags
- Art des Kommissioniersystems
- Technische Einrichtungen des Kommissioniersystems
- Art der Informationsbereitstellung
- Organisation des Kommissioniervorgangs (Strategien)

2.2.2 Flexibilität

Die Flexibilität von Kommissioniersystemen beschreibt die Fähigkeit des Systems sich auf geänderte Abläufe, Artikelausprägungen sowie Entnahmeorte schnell und einfach einzustellen. Dies ist in Zeiten kleinerer Losgrößen, größerer Produktvielfalt wegen steigenden Produktpassungsmöglichkeiten und reduzierten Produktlebenszyklen unerlässlich [Kos-2007].

2.2.3 Kommissionierkosten

Die Kommissionierkosten werden meist unterschätzt und häufig bei weitreichenden Entscheidungen übergangen [Gün-2012a]. Dabei können die Kosten einen enormen Anteil des Umsatzes eines Unternehmens einnehmen. In der Literatur liegen verschiedene Werte vor. Nach *Pulverich und Schietinger* können sich die Kommissionierkosten auf bis zu 5% des Unternehmensumsatzes belaufen (vgl. Abbildung 4) [Pul-2009, S. 17].

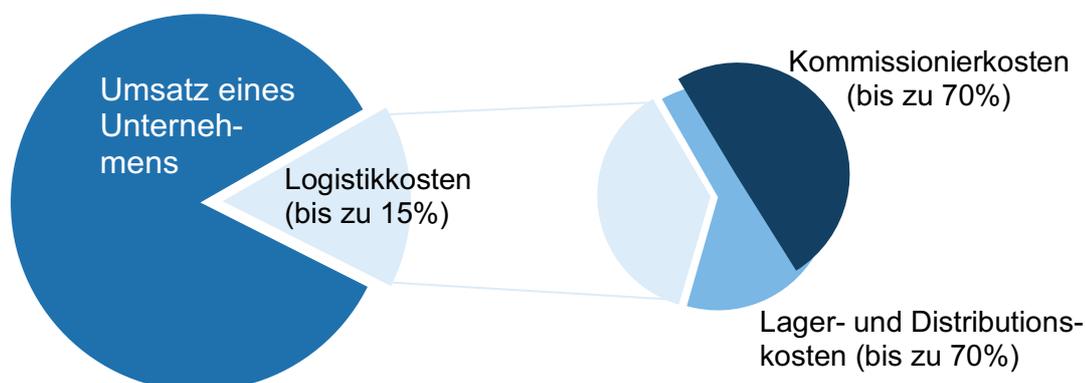


Abbildung 4: Anteil der Kommissionierkosten am Umsatz eines Unternehmens in Anlehnung an Pulverich und Schietinger [Pul-2009, S. 17]

Die Kosten eines Kommissioniersystems setzen sich grundsätzlich aus Personalkosten, Technikkosten, Materialkosten, Raum- und Energiekosten, sonstigen Gebäudekosten, Instandhaltung und Kapitalkosten zusammen [Hom-2011, S. 213]. Ihre Höhe sowie Verteilung auf die einzelnen Bereiche hängen stark von den Ausprägungen des jeweiligen Kommissioniersystems ab.

Ein weiterer Kostenpunkt in der Kommissionierung, welcher oft vernachlässigt wird, sind die Fehlerkosten. Diese entstehen zum einen durch den zusätzlichen Aufwand, der betrieben werden muss, um Fehler zu beheben und zum anderen durch mögliche zeitliche Verzögerungen, da der Kunde sein Produkte verspätet erhält. Die Fehlerkosten können somit zu einem weitreichenden Problem werden. Es wird angenommen, dass je 1% an Kommissionierfehlern die Kosten für die Kommissionierung um 10% ansteigen. Im Umkehrschluss kann davon ausgegangen werden, dass bei Reduzierung der Fehlerquote auch die entstehenden zusätzlichen Kosten um ein Vielfaches reduziert werden können. [Fis-1994]

2.2.4 Kommissionierqualität

Die Kommissionierqualität ist definiert als die Anzahl an korrekt und termingerecht kommissionierten Positionen oder Aufträge in Relation zur Gesamtzahl in einer Periode [Gud-2010, S. 693]. Eine erhöhte Qualität spart Zeit, Kosten und sichert ein gutes Kunden-Lieferanten-Verhältnis. Sie wird erreicht, wenn Aufträge rechtzeitig bearbeitet werden und dabei wenige

Kommissionierfehler entstehen. Da die termingerechte Bearbeitung nach *ten Hompel et al.* von den beiden Faktoren Einlastung und Freigabe von Kommissionieraufträgen abhängt [Hom-2011, S. 110, 214] und diese nicht Teil der Betrachtungen dieser Arbeit sind, wird dieser Qualitätsaspekt nicht weiter behandelt. Es wird weiter angenommen, dass sich die richtigen Artikel in den Entnahmeorten befinden und somit keine Fehler bei der Einlagerung passiert sind.

Kommissionierfehler werden mit der sogenannten Fehlerquote gemessen. Sie berechnet sich aus dem Verhältnis von fehlerhaft kommissionierten Positionen zur Anzahl aller kommissionierten Positionen in Prozent. In der Literatur sind verschiedene Fehlerquoten von Kommissioniersystemen verfügbar [Lol-2003, S. 18; Gud-2010, S. 694]. Diese unterscheiden sich teilweise stark, da sich auch die zu Grunde liegenden Kommissioniersysteme stark voneinander unterscheiden können. Es wird jedoch von einem üblichen Bereich zwischen 0,1 und etwas mehr als einem Prozent ausgegangen [Ram-2017, S. 27].

In der Praxis werden Kommissionierfehler nach *Menk* und *Lolling* in vier Fehlertypen unterteilt [Men-1999, S. 19; Lol-2003, S. 28]:

- Typfehler: falscher Artikel oder richtiger Artikel und zusätzlich falscher Artikel
- Mengenfehler: falsche Artikelmenge
- Auslassungsfehler: Artikel fehlt generell
- Zustandsfehler: Artikel weist nicht den gewünschten Zustand auf, z. B. beschädigt oder Serviceleistung fehlt

Einer Untersuchung zahlreicher Kommissioniersysteme in unterschiedlichen Branchen nach *Lolling* teilen sich diese Fehlertypen durchschnittlich wie in Abbildung 5 gezeigt auf [Lol-2003, S. 48]. Typ- und Mengenfehler haben somit den größten Anteil an der Gesamtfehlerquote von Kommissioniersystemen.

Nach *Günthner* und *Rammelmeier* können die Ursachen bei den vier Fehlertypen auf die vier Einflussfaktoren Mensch, Methode, Umfeld/Milieu und Sonstiges zurückgeführt werden [Gün-2012b, S. 32]. Die Fehleranfälligkeit des Menschen ist bedingt durch seine Erfahrung, seine Motivation, seinen Ermüdungszustand, den vorherrschenden Zeitdruck sowie die Gestaltung seiner Umgebung [Gün-2012b, S. 27]. Die Methode umfasst alle Ursachen, die auf die Ausprägung des Kommissionierprozesses und der dabei eingesetzten technischen Systeme zurück zu führen sind. Der Einflussfaktor Umfeld beschreibt die Umgebungsbedingungen wie zum Beispiel die Gestaltung des Kommissionierbereichs und unter Sonstiges werden alle restlichen Ursachen eingeteilt.

Zusätzlich zu den vier beschriebenen Fehlern können bei der artikelorientierten sowie der mehrzonigen Kommissionierung zwei weitere Fehlertypen auftreten. Ablagefehler treten auf, wenn die entnommenen Artikel bei der Ablage auf die falschen Ablageorte verteilt werden und Abgabefehler geschehen, wenn Unteraufträge nach dem Kommissionieren falsch zusammengeführt werden.

Durch eine Optimierung der genannten Einflussfaktoren können Fehler stark reduziert, jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden, da Menschen immer Fehler begehen können und auch technische Systeme nicht zu hundert Prozent zuverlässig arbeiten. Vielmehr geht es in der Kommissionierung darum mit Fehlern umzugehen, in dem diese frühestmöglich erkannt und beseitigt werden [Gud-2010, S. 695; Fis-1994, S. 17].

Dazu können Informationsbereitstellungssysteme in Kombination mit Eingriffsüberwachungssystemen eingesetzt werden. Welche Systeme dabei im Moment verfügbar sind und welche Stärken sowie Schwächen diese aufweisen, wird in den nachfolgenden beiden Kapiteln beschrieben.

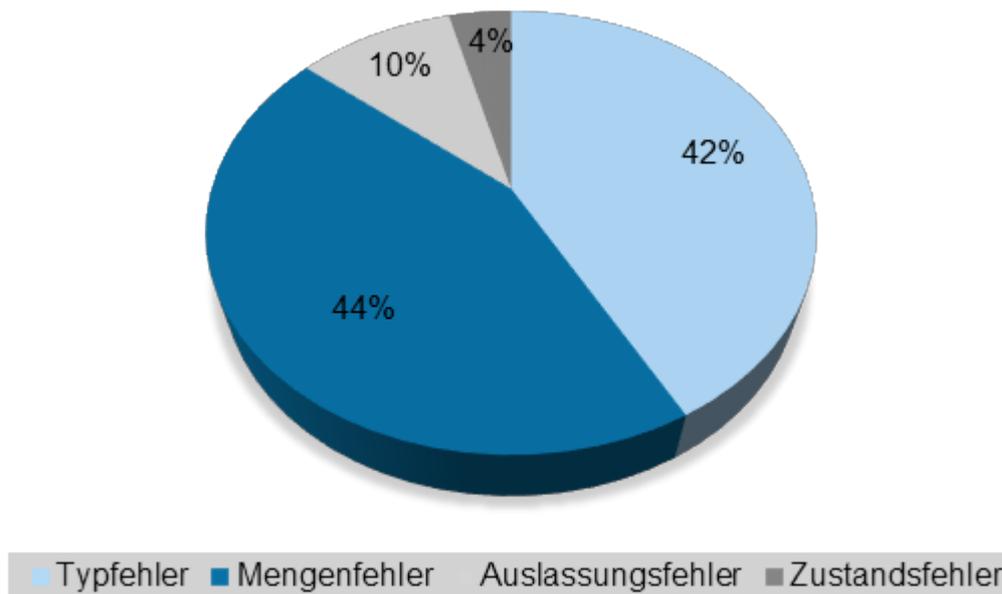


Abbildung 5: Aufteilung Fehlertypen in Anlehnung an Lolling [Lol-2003, S. 48]

2.3 Informationsbereitstellungssysteme

Informationsbereitstellungssysteme übermitteln die für den Kommissionierprozess relevanten Informationen an den Kommissionierer. In der Literatur findet sich häufig die grobe Unterscheidung zwischen papiergebundenen und papierlosen Systemen, welche anschließend noch weiter unterteilt werden können. Die papiergebundene Informationsübermittlung kann ohne oder auch mit technischer Unterstützung geschehen, wohingegen die papierlose Darstellung der Informationen immer mit Hilfe von technischen Mitteln gewährleistet wird. Diese kann sowohl on- als auch offline und mobil oder stationär betrieben werden. [Gün-2016, S. 5]

In diesem Unterkapitel werden Informationsbereitstellungssysteme, die in der Praxis eingesetzt werden, näher beschrieben und in einer Übersichtstabelle (Tabelle 1) dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht bestehender Informationsbereitstellungssysteme und deren Einteilung in Anlehnung an Günthner [Gün-2016, S. 5]

Informationsbereitstellungstechnologien		
Beleggebunden	Beleglos	
	Mobil (online oder offline)	Stationär (online)
<ul style="list-style-type: none"> • Kommissionierliste • Lieferschein • Etikett 	<ul style="list-style-type: none"> • Mobiles Datenterminal • Terminal am Fördermittel • Pick-by-Voice • Pick-by-Vision 	<ul style="list-style-type: none"> • Stationärer Monitor • Pick-by-Light/Put-to-Light/Pick-by-Point

Beleggebundene Informationsbereitstellung

Die einfachste und auch kostengünstigste Informationsbereitstellungsart ist die beleggebundene, welche ausschließlich offline zur Verfügung steht. Dabei können die Informationen durch eine klassische Kommissionierliste, einen Lieferschein oder ein Etikett übermittelt werden. Problematisch ist hierbei unter anderem die fehlende Aktualität des Warehouse-Management-Systems, denn der Auftrag kann erst nach dessen Abschluss im System als erledigt verbucht werden. Für die Zeit der Abarbeitung ist das WMS nicht auf dem neuesten Stand und dies

kann zu Problemen führen. Die Übersichtlichkeit der Daten wird durch die Notwendigkeit eine gewisse Datenmenge darzustellen behindert und somit benötigt der Kommissionierer meist viel Zeit, die für ihn relevanten Informationen zu finden (hohe Totzeiten). Ebenso als störend wird das ständige Mitführen der Liste empfunden, da diese häufig zur Teileaufnahme abgelegt werden muss, um beide Hände frei zu haben, und somit vergessen bzw. verloren werden kann. Quittiert wird durch Abhaken von Positionen auf der Liste. Dazu wird zusätzlich ein Schreibgerät mitgeführt. Meldungen an das WMS wie zum Beispiel Fehlmengen müssen zuerst handschriftlich notiert und später an der Basis ins System übertragen werden. Diese und weitere Punkte unterbrechen oder stören den Kommissioniervorgang und führen zu einem weniger effizienten Prozess. Die Folge sind geringe Kommissionierleistungen und eine mäßige Kommissionierqualität. Beleggebundene Informationsbereitstellungen werden häufig in kleinen und mittleren Unternehmen eingesetzt. [Lol-2003, S. 13; Rei-2009, S. 35]

Beleglose Informationsbereitstellung

Bei der beleglosen Informationsbereitstellung werden die Kommissionierinformationen entweder über Text auf einem Bildschirm, optische Signale oder akustische Mitteilungen von Nummern und Wörtern übermittelt. Die notwendigen Daten beziehen die Systeme dabei aus dem Warehouse-Management-System. Vorteile der beleglosen Kommissionierung sind die Beseitigung des Papierverbrauchs sowie eines Druckers, Reduzierung der Totzeiten durch einfache und intuitive Informationsübermittlung, höhere Kommissionierleistungen und niedrigere Fehlerquoten. [VDI-3311, S. 6; Gud-2010, S. 693]

Die mobilen Informationsbereitstellungen verfügen entweder über eine dauerhafte Funkverbindung zum WMS, werden also online betrieben, oder stehen nur jeweils zu Beginn und am Ende jedes Auftrags an der Basis mit dem WMS in Kontakt (Offline-Betrieb). Beim Offline-Betrieb ergeben sich dieselben Nachteile wie bei der beleggebundenen Kommissionierung, weshalb diese Form weniger häufig eingesetzt wird.

2.3.1 Stationäre und mobile Terminals

Bei mobilen Terminals sowie stationären Monitoren handelt es sich um Bildschirme, welche die Kommissionierinformationen ähnlich der Kommissionierliste als Text darstellen. Ein Vorteil dieser digitalen Listen ist die Möglichkeit Positionen einzeln und nacheinander anzuzeigen und so die zu lesenden Informationen auf das Wesentliche zu reduzieren. Dadurch können Totzeiten verringert werden. Bei mobilen Terminals sind Bildschirme an Fördermitteln (z. B. Kommissionierwägen) und Handgeräte wie Mobile Datenterminals MDTs weit verbreitet. Beide Systeme verfügen entweder über eine Tastatur oder einen Touchscreen zur Dateneingabe und Quittierung. Bei MDTs ist zudem meist ein Scanner für Barcodes enthalten, welcher für Artikelkontrollen genutzt werden kann. [Ram-2017, S. 18f.] Einige MDTs haben wie die beleggebundenen Informationsbereitstellungen das Problem, dass sie mindestens eine Hand des Kommissionierers belegen, daher oft abgelegt werden müssen und am Entnahmeort vergessen werden können. Abhilfe können hier Geräte, die am Arm des Kommissionierers befestigt sind, schaffen. Stationäre Monitore werden für räumlich begrenzte Kommissionierbereiche eingesetzt, da der Kommissionierer nach jeder Entnahme wieder zur Basis, dem Aufstellungsort des stationären Monitors, zurückkehren muss.

2.3.2 Pick-by-Voice

Pick-by-Voice-Systeme sind mobile Systeme, bei denen der Kommissionierer ein Headset oder eine Weste, bestehend aus Kopfhörer, Mikrofon und einem mobilen Mini-PC, trägt. Die Daten können zwischen dem Mini-PC und dem Headset bzw. der Weste sowohl mit Hilfe eines Kabels als auch durch eine Bluetooth-Schnittstelle übertragen werden. Der Kommissionierer erhält die Kommissionierinformationen in Form eines vorgegebenen sprachlichen Befehls (akustische Informationsbereitstellung). Dieser kann ebenso durch definierte sprachliche Eingaben Informationen erneut abfragen, eigene Informationen mitteilen und Positionen quittieren. Nachteil des Systems sind die monotonen Sprachanweisungen, auf die der Kommissionierer während der Ausübung seiner Tätigkeit achten muss. Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass diese mit der Zeit die Motivation und Fehleranfälligkeit des Kommissionierers

negativ beeinflussen [Höl-2016, S. 18]. Weitere Probleme sind Störungen der Aus- und Eingabe durch Umgebungsgeräusche (z. B. andere Kommissionierer mit Pick-by-Voice), fehlende Sprachkenntnisse der Mitarbeiter oder ausgeprägte Dialekte, welche meist durch technische Lösungen behoben werden können [Hom-2011, S. 58f.]. In diesem Zusammenhang können jedoch auch sicherheitstechnische Probleme entstehen, wenn zum Beispiel Kommissionierer in Bereichen mit Fördermittelverkehr eingesetzt werden, da diese durch das System die Umgebungsgeräusche nur mehr eingeschränkt wahrnehmen. Da das System mobil ist, wird es hauptsächlich für die Mann-zu-Ware-Kommissionierung eingesetzt. Hier können die ohnehin unproduktiven Wegzeiten für Sprachverständigungen mit dem System genutzt werden [Föl-2009].

2.3.3 Pick-by-Light

Pick-by-Light kann als Überbegriff für zahlreiche Informationsbereitstellungssysteme verstanden werden, die dem Kommissionierer den Entnahmeort über optische Signale (Lampen oder Lichtpunkte) anzeigen. Die Systeme sind dabei stationär an den Entnahmeorten befestigt und verfügen über eine online Verbindung zum WMS.

Bei einem klassischen Pick-by-Light-System wird je Entnahmeort mindestens eine Signallampe montiert. Ein Aufleuchten der Signallampen weist den Kommissionierer auf zu tätige Entnahmen an den jeweiligen Entnahmeorten hin. Zusätzlich können noch ein Display für die Anzeige der Entnahmemenge oder sonstiger Informationen, eine Quittier-Taste oder weitere Tasten für Dateneingaben verbaut werden. Zusammengefasst werden alle Komponenten an einem Entnahmeort als Fachanzeige bezeichnet. Um die Komponenten mit Strom zu versorgen und mit der Basiseinheit zu verbinden, muss jede Fachanzeige mit einer Stromquelle sowie mit der Basiseinheit verkabelt werden. Dies führt zu einem hohen Installationsaufwand sowie einer geringen Flexibilität. Zudem sind die einzelnen Fachanzeigen teuer in der Anschaffung, wodurch sich das Gesamtsystem in Folge der großen Menge an notwendigen Anzeigen, des Installationsaufwands und der nötigen Software insgesamt als sehr kostenintensiv gestaltet. Vorteil des Systems ist die intuitive Informationsübermittlung durch simple Lichtsignale. Totzeiten werden reduziert und hohe Kommissionierleistungen bei geringen Fehlerquoten erreicht. Zudem hat der Kommissionierer bei seiner Arbeit beide Hände frei. Sollen mehrere Kommissionierer gleichzeitig in einem Bereich arbeiten, so können verschiedenfarbige Signallampen eingesetzt werden, wobei jeder Kommissionierer eine Farbe zugewiesen bekommt. [Hom-2011, S. 54]

Als Put-to-Light-Systeme werden Pick-by-Light-Systeme mit umgekehrtem Prozess bezeichnet. Sie weisen den Kommissionierer über Lichtsignale auf Ablageorte für Artikel hin. Dies wird zum Beispiel benötigt, wenn mehrere Aufträge auf einmal kommissioniert werden (artikelorientierte Kommissionierung) und die entnommenen Artikel auf verschiedene Ablageorte verteilt abgelegt werden müssen. [Hom-2011, S. 55]

Pick-by-local-Light ist der Name eines neu entwickelten Pick-by-Light-Systems mit drahtlosen Fachanzeigen. Durch die Funkverbindung zur Basisstation und die eingebauten Batterien ist keine Verkabelung der Fachanzeigen mehr nötig, weshalb der Installationsaufwand gering ist und der Montageort der Anzeigen einfach geändert werden kann (hohe Flexibilität). Die Auswechslung bzw. Ladung der Batterien ist nur einmal pro Jahr notwendig [Höl-2016, S. 12f.]. Die Kosten für die Fachanzeigen sind jedoch auch bei dieser Pick-by-Light-Variante hoch.

Seit kurzem ist auch eine mobile Variante von Pick-by-Light verfügbar. Dabei wird ein an Regalen verfahrbarer Rahmen mit fest installierten Pick-by-Light-Fachanzeigen eingesetzt. Dieser kann durch einen Motor oder per Hand zu den Entnahmeorten gebracht werden und die Entnahmeorte über seine Fachanzeigen kennzeichnen. [Saf-2018]

Eine weitere Form von Pick-by-Light sind Systeme bei denen der Entnahmeort über einen projizierten Lichtpunkt anstatt einer Signallampe markiert wird. Dazu werden entweder stationäre Lichtquellen [KBS-2018a; KBS-2018c] an den Entnahmeorten eingesetzt oder es wird eine verfahrbare Lichtquelle mit Lokalisierungs-komponente [Saf-2018] verwendet, die nur leuchtet, wenn sie sich am richtigen Entnahmeort befindet. Probleme bei den Varianten mit

Lichtpunkten sind die Sichtbarkeit der Lichtpunkte bei hellen Umgebungen (z. B. starke Sonnenlichteinstrahlung oder Hallenbeleuchtung) und die Gefahr der Unterbrechung des Lichtstrahls durch den Kommissionierer oder Objekte, wodurch dieser nicht mehr bis zu den Entnahmeorten gelangt und eine Markierung ausbleibt.

Nachteile der verfahrenbaren Pick-by-Light-Varianten sind die gleichzeitige Anzeige eines nur kleinen Bereichs von Entnahmeorten, die Notwendigkeit der Befestigungsmöglichkeit der Fahrschiene sowie insgesamt der Raumbedarf dazu.

2.3.4 Pick-by-Vision

Als relativ junges System gilt das Pick-by-Vision-System, welches ebenso zu den optischen und online betriebenen Informationsbereitstellungssystemen zählt. Das System besteht aus einer Datenbrille, einem Mini-PC und einem Eingabegerät (Mikrofon oder Schaltknöpfe). Die relevanten Informationen werden dem Kommissionierer über die Brille direkt ins Sichtfeld eingeblendet. Es wird hier von „Augmented Reality“ gesprochen. Der Kommissionierer hat so beide Hände frei und muss seinen Blick für die Informationsaufnahme nicht auf spezielle Anzeigen richten. Für unerfahrene Picker kann dieses System zusätzlich als Navigationssystem durch das Lager dienen und somit das Anlernen verkürzen.

Während die eben beschriebene Pick-by-Vision-Variante (ohne Tracking der Blickrichtung) grundsätzlich einem mobilen Terminal im Sichtfeld des Kommissionierers entspricht, ist die nachfolgende Variante einem mobilen Pick-by-Light-System ähnlich [Hom-2011, S. 61]. Dabei wird die Blickrichtung des Kommissionierers über ein Tracking-System erfasst und bei einem Blick auf die Entnahmeorte werden die Orte der ausstehenden Auftragspositionen über Einblendungen markiert. Problem bei diesem System ist das aufwendige Tracking, wofür im Moment noch keine praxistauglichen Verfahren verfügbar sind [Rei-2009, S. 45; Wöl-2014, S. 23].

Allgemeine Schwierigkeiten bei Pick-by-Vision sind im Moment die Energieversorgung der Datenbrillen über mindestens acht Stunden (eine Arbeitsschicht) sowie die Ergonomie [Hom-2011, S. 62]. Hier sind vor allem das Gewicht der getragenen Komponenten sowie die starke Ermüdung bei langzeitiger Arbeit mit dem System zu nennen. Letzteres Problem führt zu einer geringen Akzeptanz der Mitarbeiter und erklärt auch die geringe Verbreitung in der Praxis.

2.3.5 Einfluss der Systeme auf die Kommissionierfehlerquote

Abschließend zeigt Abbildung 6 einen Vergleich der zu erwartenden Fehlerquoten bei Informationsbereitstellung mit Kommissionierliste, Pick-by-Voice und klassischem Pick-by-Light. Es ist zu erkennen, dass die beleglosen Verfahren eine niedrigere Fehlerquote aufweisen. Wie bereits erwähnt, kann die tatsächlich in der Praxis erreichte Fehlerquote aufgrund der zahlreichen möglichen Ausprägungen von Kommissioniersystemen stark unterschiedlich von den hier gezeigten Werten sein. Die Fehlerquoten sollten daher in erster Linie als Richtwerte gesehen werden.

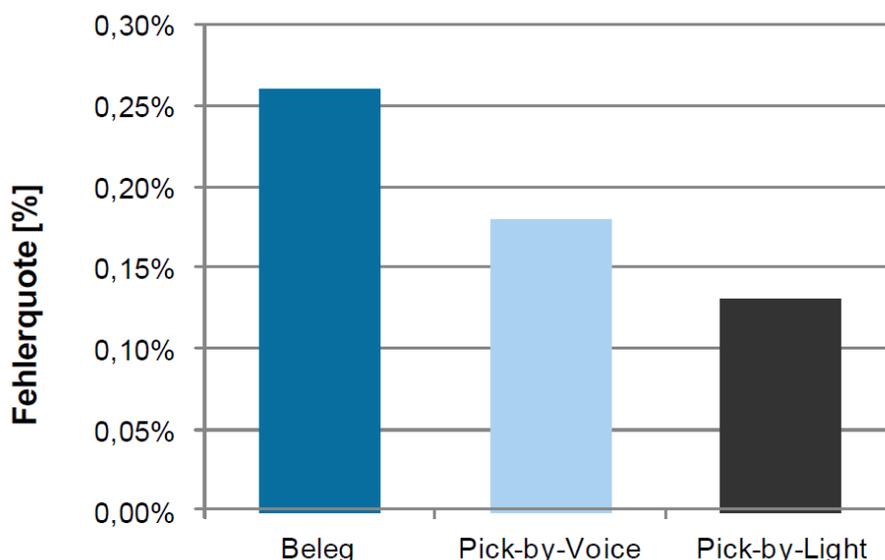


Abbildung 6: Fehlerquoten unterschiedlicher Informationsbereitstellungen nach Günthner und Rammelmeier [Gün-2012b, S. 41]

2.4 Systeme zur Fehlerreduzierung

Um die Fehlerquote im Vergleich zu den verschiedenen Informationsbereitstellungssystemen noch weiter zu reduzieren, können Zusatzsysteme eingesetzt werden.

Es wird eine Einteilung in drei Gruppen vorgeschlagen:

- Abgleichssysteme
- Klappensteuerungssysteme
- Eingriffsüberwachungssysteme

Da die Vorgehensweisen der einzelnen Systeme bei der Entnahme sowie der Ablage nahezu gleich sind, wird nachfolgend nur der Fall der Entnahme beschrieben.

2.4.1 Abgleichssysteme

Bei Abgleichssystemen muss der Kommissionierer aktiv Informationen des derzeitigen Entnahmeorts oder der entnommenen Artikel an das übergeordnete System melden, das dann einen Soll-Ist-Vergleich durchführt. Bei einer Abweichung wird dem Kommissionierer ein Fehler über optische (z. B. Anzeige auf Display oder Signallampen), akustische (z. B. Signalton oder Sprachansage) und/oder haptische Signale (z. B. Vibration) mitgeteilt. Sehr geringe Fehlerquoten werden dabei beim Abgleich der einzelnen Artikel erreicht. Wenn lediglich der Entnahmeort abgeglichen wird, ist nach dessen Prüfung immer noch eine Entnahme aus falschen Entnahmeorten nebenan möglich. Somit ist in diesem Fall die Fehlerreduzierung geringer. Beim Artikelabgleich können Typ-, Auslassungs- und Mengenfehler reduziert werden. Ein Abgleich des Entnahmeortes verringert nur Typ- und Auslassungsfehler. Bei Aufnahme der Abgleichsinformationen über eine Kamera (z. B. Pick-by-Vision) wäre über Bildauswertungen zusätzlich eine Erkennung von Zustandsfehlern denkbar.

Methoden zum Abgleich von Entnahmeorten sind das Scannen eines Codes (häufig Scannen eines Barcodes mittels MDT oder Kamera), die Eingabe von Prüfziffern (üblich bei Pick-by-Voice) oder die Auswahl eines Prüfbildes auf einem Display (stationäres oder mobiles Terminal). Die dazu notwendigen Informationen sind direkt an den Entnahmeorten über Aufkleber vermerkt. Der Kommissionierer muss die Informationen aufnehmen und an das System zur Prüfung weitergeben. Beim Artikelabgleich sind die Informationen direkt am Artikel angebracht. Hier sind ebenfalls das Scannen eines Codes oder die Eingabe von Prüfziffern möglich.

Nachteil der beschriebenen Maßnahmen ist die niedrigere Kommissionierleistung, da für den Abgleich zusätzliche Prozessschritte nötig sind und dadurch die Greif- und Totzeiten steigen.

Vor allem die Variante des Artikelabgleichs ist vergleichsweise langsam und wird daher nur selten eingesetzt. Die Anbringung der für den Abgleich nötigen Informationen an den Entnahmeorten oder an den Artikeln kann zudem aufwendig sein. Letzteres ist auch nicht bei allen Artikeln möglich (z. B. Kleinteile).

2.4.2 Klappensteuerungssysteme

Eine weitere Möglichkeit bestimmte Fehler in der manuellen Kommissionierung zu reduzieren sind Klappensteuerungssysteme. Bei diesen werden vor den Entnahmeorten Türen oder Klappen montiert, welche sich manuell öffnen lassen oder sich automatisch öffnen, wenn die dahinterliegenden Artikel Teil des aktuellen Auftrags sind. Auf diese Weise erhält der Kommissionierer nur selektiven Zugriff auf Artikel. Typfehler werden reduziert. Nachteil ist der hohe technische Aufwand, da je eine Klappe mit Schließmechanismus an jedem Entnahmeort benötigt wird. Bisher wurden Klappensteuerungssysteme nur von einzelnen Unternehmen in Eigenentwicklung realisiert.

2.4.3 Eingriffsüberwachungssysteme

Bei Eingriffsüberwachungssystemen wird der Griff des Kommissionierers automatisch über Sensoren überwacht und ebenfalls ein Soll-Ist-Vergleich des übergeordneten Systems durchgeführt. Dadurch können bestimmte Fehlertypen stark reduziert werden. Welche dies sind, hängt vom verwendeten System ab (siehe auch Tabelle 2). Die Möglichkeiten der Fehlermitteilung sind identisch denen der Abgleichssysteme.

Für die Unterscheidung von Eingriffsüberwachungssystemen werden vier Kategorien definiert:

- optoelektronische Systeme
- photogrammetrische Systeme
- mechanische Systeme
- elektromagnetische Systeme

Zu den **optoelektronischen Systemen** zählen Systeme mit Lichtschranken, Laserscannern und Infrarotsensoren. Diese werden unmittelbar vor den Entnahmeorten montiert und überwachen diesen Bereich.

Infrarotsensoren müssen dabei aufgrund der geringen Erkennungsreichweite an jedem Entnahmeort verbaut werden [KBS-2018b]. Sie messen die Änderung der Umgebungswärme und können so bei einem Eingriff des Kommissionierers dessen Körperwärme erkennen. Problematisch sind hier das Tragen von dunklen Handschuhen, weil dies zu einer Wärmeabschirmung führt, sowie Hände von starken Rauchern, da diese wenig durchblutet und daher kälter sind [Bec-2016].

Lichtschranken und Laserscanner können je Entnahmeort einzeln oder für mehrere Entnahmeorte gleichzeitig vorgesehen werden. Bei ihnen können jedoch Eingriffe fälschlicherweise erkannt werden, wenn Objekte in den Überwachungsbereich hineinragen. Beispiele hierfür sind hervorstehende Artikel in den Entnahmeorten, hineinragende Teile von Fördermitteln (z. B. Kommissionierwagen) oder des Kommissionierers (z. B. Kleidung oder Teile der Hand). Zudem muss gewährleistet werden, dass eventuelle Stöße oder Erschütterungen die Position der Systemkomponenten nicht verändern, ansonsten kann ein robuster Betrieb nicht sichergestellt werden.

Unter **photogrammetrischen Systemen** sind Systeme mit einer oder mehreren Kameras sowie einer Bildauswertungseinheit zu verstehen. Sie überwachen die Entnahmeorte visuell, indem die aufgenommenen Bilder auf Bewegungen oder Muster analysiert werden. Eine Kamera überwacht dabei mehrere Entnahmeorte gleichzeitig. Die entsprechenden Größen sowie die Lage der Entnahmeorte können individuell angepasst werden. Probleme der photogrammetrischen Systeme sind eine hohe Anzahl an benötigten Kameras aufgrund der Verdeckung der Sichtbereiche durch die Kommissionierer, der Kalibrierungsaufwand sowie der hohe Rechenaufwand. Derzeit werden photogrammetrische Systeme nur für Ware-zu-Mann-

Kommissioniersysteme eingesetzt. Systeme für die Mann-zu-Ware-Kommissionierung können durch aktuelle Entwicklungen jedoch in naher Zukunft erwartet werden.

Als Beispiele sind hier *Amazon Go*, *Standard Cognition* und *BODEGA* aus dem Einzelhandel genannt, bei denen, ähnlich der manuellen Kommissionierung, Eingriffe von Kunden in Regale erfasst werden. Dadurch sollen entnommene Artikel automatisch erkannt und vom Kundenkonto abgebucht werden. So kann der Bezahlvorgang an der Kasse entfallen. [Bod-2018; Ama-2018; Sta-2018]

Mechanische Eingriffsüberwachungssysteme können mit Waagen oder Hebeln realisiert werden. Bei der ersten Variante wird an jedem Entnahmeort unter den Artikeln eine Waage platziert, die Gewichtsänderungen bei Entnahmen registriert. Auf diese Weise können neben Typ- und Auslassungsfehler auch Mengenfehler erkannt werden. Voraussetzung sind hier wieder Daten zu Artikelmassen im WMS sowie gleichbleibende Massenwerte. Hebel sind aus einem elastischen Material gefertigt und werden im Eingriffsbereich montiert. Bei einem Eingriff werden sie durch die Hand des Kommissionierers bewegt bzw. zur Seite geschoben, wodurch ein Signal ausgelöst und ein Eingriff erkannt wird. Durch sie lassen sich Typ- und Auslassungsfehler erkennen. Nachteile beider Systeme sind hohe Kosten, da je Entnahmeort eine Einheit verbaut und verkabelt werden muss. Bei Hebeln besteht zudem die Gefahr, dass dieser bei der Artikelentnahme die Artikel zerkratzt und somit beschädigt. Des Weiteren werden Eingriffe nicht immer zuverlässig erkannt (z. B. bei zu geringer Hebelbewegung). [Bec-2016]

Eine weitere Kategorie der Eingriffsüberwachungssysteme sind **elektromagnetische Systeme**. Dazu zählen Systeme mit RFID-Transpondern. Bei den RFID-Transpondern, auch Pick-by-RFID genannt, wird entweder ein Transponder an jedem Entnahmeort oder an jedem Artikel befestigt. Über eine Leseinheit am Arm des Kommissionierers können die Transponder bei einem Eingriff gelesen und ausgewertet werden. Die Varianten sowie der Ablauf sind im Grunde gleich wie jene der Abgleichssysteme. Einziger Unterschied ist die automatische Informationsweitergabe ohne Zutun des Kommissionierers. Auch die reduzierbaren Kommissionierfehler sowie die Nachteile der Systeme sind gleich. Hinzu kommt bei den Pick-by-RFID Systemen jedoch die Problematik einer geringen Zuverlässigkeit bei der Eingriffserkennung [Wöl-2014, S. 175f.]. Grund hierfür sind unbeabsichtigte Lesungen von Transpondern, welche sich entweder in der Umgebung des Handschuhs befinden oder durch Reflexionen von RFID-Signalen entstehen.

Alle beschriebenen Eingriffsüberwachungssysteme können Typ- und Auslassungsfehler reduzieren. Mechanische Systeme mit Waagen können zusätzlich auch Mengenfehler erfassen. Bei allen anderen Systemen sind Mengenfehler ausschließlich bei Entnahmen von nur einem Artikel je Eingriff feststell- oder reduzierbar (Einzelentnahme). Diese Form der Entnahme ist vergleichsweise langsam und wird daher selten eingesetzt. Die Ausnahme hiervon sind gewisse Branchen, wie zum Beispiel der Automobilbereich, in denen ohnehin meist nur ein Artikel je Position kommissioniert werden muss. Eine Erkennung von Zustandsfehlern ist bei photogrammetrischen Systemen denkbar, jedoch derzeit noch nicht umgesetzt.

2.4.4 Systemvergleich

Tabelle 2 zeigt eine Zusammenfassung der reduzierbaren Fehlertypen³ durch die beschriebenen Zusatzsysteme sowie eine qualitative Einschätzung der Zuverlässigkeit der Systeme. Diese Faktoren sind wichtig für eine hohe Kommissionierqualität.

Das zu entwickelnde ValidKomm-System ist als elektromagnetisches System einzuordnen. Es ist mit seinen geplanten Systemeigenschaften ebenfalls in Tabelle 2 enthalten.

³ Mengenfehler könnten bei allen Zusatzsystemen auch über ein Wiegen aller Artikel nach der Entnahme erkannt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Artikelgewichte im WMS hinterlegt sind und bei diesen keine größeren Schwankungen bestehen.

Weitere wichtige Punkte bei allen Zusatzsystemen zur Fehlerreduzierung sind die Möglichkeit zum gleichzeitigen Betrieb mit mehreren Kommissionieren, die automatische Quittierung von Positionen, die Kosten, die Flexibilität sowie die Kommissionierzeit.

Der Einsatz mehrerer Kommissionierer ist derzeit nur bei den Abgleichssystemen möglich, wobei die Zuverlässigkeit der Fehlerreduzierung beim Abgleich des Entnahmeorts gering ist und der Artikelabgleich wenig praxistauglich ist. Das ValidKomm-System soll diese Funktionalität somit erstmalig aufwandsarm möglich machen. Eine Erkennung und Unterscheidung verschiedener Kommissionierer wäre in Zukunft wahrscheinlich auch mit photogrammetrischen Systemen oder Pick-by-RFID realisierbar, ist aber am Markt so nicht verfügbar.

Eine automatische Quittierung verringert Totzeiten sowie die Kommissionierzeit und erhöht dadurch die Kommissionierleistung. Sie ist grundsätzlich bei allen Abgleichs- und Eingriffsüberwachungssystemen möglich, wobei die Auftragsposition der letzten Entnahme ohne Detektion der Entnahmemenge erst mit dem Eingriff in die darauffolgende Auftragsposition quittiert wird. Ansonsten kann die aktuelle Auftragsposition nach Entnahme des letzten Artikels sofort quittiert werden.

Um die fehlenden drei Bereiche des Quadrats der Logistik (siehe Kapitel 2.2) Kosten, Zeit und Flexibilität für die Systeme zur Fehlerreduzierung greifbar zu machen, werden qualitative Angaben zur Einordnung gegeben (vgl. Tabelle 2). Dabei beziehen sich die Angaben auf Kosten für Anschaffung sowie Installation, die Flexibilität bei Umstrukturierungen des Kommissionierbereichs und die Reduzierung der Kommissionierleistung. Die Kommissionierzeit sowie die Kommissionierleistung bleiben bei allen Eingriffsüberwachungssystemen unbeeinflusst, da diese Systeme automatisch arbeiten und somit den Kommissionierer nicht in seiner Arbeit behindern (keine zusätzlichen Prozessschritte).

Tabelle 2: Vergleich von Systemen zur Fehlerreduzierung

Systemvergleich Fehlerreduzierung										
	Qualität					Zusatznutzen		Kosten	Flexibilität	Zeit
	Zuverlässigkeit der Systeme	Fehlertypen				mehrere Kommissionierer im selben Bereich	automatische Quittierung	Anschaffung und Installation	Umstrukturierungen im Kommissionierbereich	Reduzierung der Kommissionierleistung
		Typfehler	Auslassungsfehler	Mengenfehler	Zustandsfehler					
Abgleichssysteme										
Entnahmeort	niedrig	X	X			X	X	niedrig	mittel	mittel
Artikel	hoch	X	X	X	(X)	X	X	mittel	hoch	hoch
Klappensteuerungssysteme										
manuell	hoch	X						hoch	niedrig	mittel
automatisch	hoch	X						hoch	niedrig	-

Eingriffsüberwachungssysteme										
optoelektrisch	mittel	X	X	O			X	hoch	niedrig	-
photogrammetrisch	hoch	X	X	O	(X)	(X)	X	hoch	hoch	-
mechanisch (Waage)	mittel	X	X	X			X	hoch	niedrig	-
mechanisch (Hebel)	mittel	X	X	O			X	hoch	niedrig	-
elektromagnetisch (Pick-by-RFID)	niedrig	X	X	O		(X)	X	mittel	mittel	-
elektromagnetisch (ValidKomm)	hoch	X	X	O		X	X	mittel	hoch	-
Legende: X möglich, (X) möglich aber noch nicht realisiert, O nur bei Einzelentnahme der Artikel										

2.5 Induktive Nahfeldortung

Die induktive Nahfeldortung basiert technologisch auf der Auswertung eines schwachen magnetischen Wechselfeldes. Für die Überwachung eines begrenzten Volumens wird ein Primärmagnetfeld erzeugt. Das Ortungsobjekt ist mit einer passiven, resonant abgestimmten Spule versehen und erzeugt basierend auf Induktion ein entsprechendes Sekundärmagnetfeld zu dem ursprünglichen Primärmagnetfeld im Überwachungsbereich. Diese Sekundärmagnetfelder der Ortungsobjekte können vom ValidKomm-System ausgewertet werden. Mit einem entsprechenden Aufbau aus räumlich verteilten Empfangsantennen und der zugehörigen Signalauswertung ist die Bestimmung der Position eines Ortungsobjektes im überwachten Volumen möglich.

Ursprünglich wurde die Technologie als System zur Torlinienentscheidung im Fußball entwickelt. Das überwachte Volumen ist dabei das Fußballtor, das Ortungsobjekt mit passiven, resonanten Spulen der Fußball selber. Bei dem Torliniensystem wird jedoch eine einfache ja/nein Entscheidung getroffen, die angibt ob der Fußball die Torlinie vollständig überquert hat und damit ein gültiges Tor erzielt wurde. Hinzu kommt die Richtung der Linienüberschreitung (von innen nach außen oder von außen nach innen). Das Torliniensystem des Fraunhofer IIS ist dabei mit einer Genauigkeit von +/- 3 cm innerhalb der Torebene für die Verwendung im Profifußball spezifiziert.

Für das ValidKomm Projekt ist die Funktionalität dieses induktiven Ortungssystem so erweitert worden, dass nicht nur das Überqueren einer Linie erfasst wird, sondern im überwachten Volumen eine genaue Position der zu ortenden Objekte ermittelt werden kann. Das System wird zunächst an ein Holzregal installiert, um erste Versuche mit der 3D Ortung von Objekten im Regalszenario durchzuführen.

Im weiteren Projektverlauf wird das Ortungssystem in ein kommerzielles Durchlaufregal mit Rohrsteckelementen integriert. Dazu müssen hauptsächlich Lösungen für die Integration der nötigen Antennenstrukturen in die Regalelemente gefunden werden. Im Falle des Durchlaufregals können diese Antennen in die Rohrstruktur der Regalfront integriert werden. Dazu werden kommerziell verfügbare Glasfaserrohre passend zu den sonst verwendeten Metallrohren der Regalsysteme für die Elemente mit integrierter Antenne verwendet. Für die gewünschte Systemfunktion – Ortung eines Kommissionierarmbandes müssen optimale Positionen und Anordnung der Empfangsantennen am Regal bzw. in den Regalelementen gefunden werden.

Ein weiterer technologischer Aspekt ist die Entwicklung des Kommissionierarmbandes, das vom Kommissionierer getragen werden soll, um dessen Bewegungen in Bezug auf das Regal

zu verfolgen. Neben den Überlegungen dieses Armband mit Zusatzfunktionen wie zum Beispiel Signal- und Feedbackelementen auszustatten, sind für die Entwicklung anwendungsbezogene Aspekte (z.B. Tragekomfort für Anwender) und funktionale Aspekte (v.a. optimales Ortungssignal, hohe Genauigkeit) zu beachten. Durch die gegebene Technologiewahl basierend auf magnetischen Feldern erzeugt durch Spulen, ergeben sich dabei folgende Randbedingungen:

1. Spulen am Ortungsobjekt zur Erzeugung von Sekundärfeldern können nicht beliebig verkleinert werden. Signalqualität und Signalstärke einer Spule für das Ortungssystem sind u.a. abhängig von Bauform und geometrischer Größe
2. Spulen erzeugen gerichtete Signale. D.h. das Sekundärfeld einer Spule am Ortungsobjekt zeigt immer in Richtung der Spulenöffnung. Sind die Spulen des Primärfeldes (Integriert im Regalsystem) und des Sekundärfeldes (am Ortungsobjekt bzw. Kommissionierarmband) zueinander parallel so werden optimale Ergebnisse erzielt. Sind beide Spulen zueinander orthogonal so wird das Ortungsergebnis am schlechtesten bis nicht mehr detektierbar. Für beliebige Winkel dazwischen wird das Ortungsergebnis proportional zum Winkel zwischen beiden Spulen verfälscht.

Beide Aspekte sind für die Entwicklung im Projekt ValidKomm wesentlich. Die Sekundärspule und damit das Kommissionierarmband muss so konzipiert werden, dass es den Kommissionierer nicht wesentlich in seinem normalen Arbeitsablauf stört. Dies ist nur mit geometrisch möglichst kleinen Spulen, integriert in das Armband, erreichbar. Gleichzeitig müssen diese Spulen ausreichend groß sein, um ein gut zu detektierendes Sekundärsignal zu erzeugen, welches als Grundlage für die Positionsermittlung dient. Auch ist es nicht tolerierbar, dass nur gerade Eingriffe (Ein Griff im 90 Grad Winkel zur Regalöffnung) erfasst werden können, da bei einem geraden Eingriff die Sekundär- und Primärspulen des Systems optimal zueinander positioniert sind. Eine solche Einschränkung wäre für die Anwender nicht akzeptierbar. In der Vergangenheit wurde diese Problematik bei induktiven Ortungssysteme durch Verwendung von drei orthogonalen Spulen (3D Spulen) auf der Sekundärseite gelöst. Diese sind jedoch nicht beliebig miniaturisierbar. Im Rahmen des Projektes werden beide Randbedingungen in verschiedenen Entwicklungsstufen untersucht und gelöst. Im Vordergrund der technischen Entwicklung innerhalb des Projektes stehen deshalb die Erprobung verschiedener Lösungen für die Integration der Sekundärspulen in das Wearable und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit und Genauigkeit des Ortungssystems. Parallel dazu ist die Integration der Technologie in ein Durchlaufregal eine weitere technische Aufgabe.

3 Mögliche Einsatzszenarien der induktiven Nahfeldortung in der manuellen Kommissionierung

Die Technologie der induktiven Nahfeldortung bietet zahlreiche Potenziale für den Einsatz in der manuellen Kommissionierung. In diesem Kapitel soll bestimmt werden für welche Kommissioniersysteme diese besonders gut genutzt werden könnten.

Durch die zahlreichen möglichen Ausprägungen bei Kommissioniersystemen (siehe Kapitel 2.1, 2.3, 2.4) sind grundsätzlich sehr viele verschiedene manuelle Systeme denkbar. Nur wenige davon haben praktische Bedeutung. [Gud-2010, S. 679]

Aus diesem Grund werden nachfolgend die von *ten Hompel et al.* als „klassisch“ bezeichneten manuellen Kommissioniersysteme betrachtet und die Einsatzfähigkeit der induktiven Nahfeldortung bewertet⁴. Die Bewertung findet dabei dreistufig statt. Zuerst wird ermittelt, ob beim vorliegenden System Bedarf für eine Eingriffsüberwachung besteht (mehr als ein Entnahme- oder Ablageort). Anschließend wird die technische Einsatzfähigkeit (z. B. Anbringung eines Eingriffsrahmens) überprüft. Zuletzt wird analysiert, ob der gleichzeitige Einsatz mehrerer Kommissionierer im selben Bereich genutzt werden kann.

Die Ergebnisse der Bewertung sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Es ist ersichtlich, dass Eingriffsüberwachungssysteme bei nahezu allen Kommissioniersystemen benötigt werden. Einzig bei Kommissionierstationen mit Fördertechnikbindung ist dies nicht immer der Fall, da hier Entnahmen und Ablagen bei mehr als einem Entnahme- bzw. Abgabeort oder bei Positionen mit mehr als einem zu entnehmenden Artikel überwacht werden müssen. Aus technischer Sicht ist die induktive Nahfeldortung ebenfalls für fast alle Systeme einsetzbar. Schwierigkeiten können bei Bereitstellungen auf Paletten (Hochregal, Kommissioniertunnel) entstehen. Hier sind die Entnahmeorte vergleichsweise groß. Um die Vorteile der induktiven Nahfeldortung vollumfänglich nutzen zu können, sollte der Eingriffsrahmen, wie auch bei den anderen Kommissioniersystemen, über möglichst viele Entnahmeorte gespannt werden. Dies würde Rahmen mit beachtlichen Ausdehnungen zur Folge haben. Die Größe der Rahmen ist jedoch durch die Größe der Eingriffsspulen sowie der maximal zulässigen magnetischen Feldstärke limitiert (siehe Kapitel 2.5), wodurch nicht sicher ist, ob dieses Ziel erreicht werden kann. Alternativ müsste die Technologie für diese Einsatzszenarien kaskadiert werden. So können mit mehreren Einzelsystemen auch größere Areale überwacht werden. Systeme für den Betrieb mit mehreren Kommissionierern in einem Bereich sind das konventionelle Mann-zu-Ware-Kommissionieren, Kommissioniertunnel, manuelle Kommissionierung mit Bahnhöfen sowie die Kommissionierung an der Regalfront von Automatischen Kleinteilelagern AKL. In Kommissioniernestern, Hochregalen und allen Ware-zu-Mann-Systemen wird jeweils nur ein Kommissionierer eingesetzt. Bei zweistufiger Kommissionierung und beim inversen Kommissionieren können ein oder mehrere Kommissionierer je Bereich eingesetzt werden, wobei erstere die übliche Form darstellt.

Insgesamt sind das konventionelle Mann-zu-Ware-Kommissionieren, das Kommissionieren mit Bahnhöfen, sowie das Kommissionieren entlang einer AKL Regalfront am besten für den Einsatz der induktiven Nahfeldortung geeignet. Diese Kommissioniersysteme werden für den weiteren Projektverlauf bzw. die Erstellung des Funktionsdemonstrators in den nachfolgenden Kapiteln verwendet.

⁴ Eine nähere Beschreibung der betrachteten Kommissioniersysteme ist in *ten Hompel et al.* [Hom-2011, S. 66ff.] zu finden.

3 Mögliche Einsatzszenarien der induktiven Nahfeldortung in der manuellen Kommissionierung

Tabelle 3: Bewertung klassischer Kommissioniersysteme für den Einsatz der induktiven Nahfeldortung; Kommissioniersysteme nach ten Hompel et al. [Hom-2011, S. 66ff.]

Verfahren	Bedarf an Eingriffsüberwachung	technische Machbarkeit	Bedarf mehrere Kommissionierer gleichzeitig
Mann-zu-Ware-Kommissioniersysteme			
Konventionelles (Mann-zu-Ware) Kommissionieren	+	+	+
Kommissioniernest	+	+	-
Kommissioniertunnel	+	O	+
Kommissionieren im Hochregal	+	O	O
Manuelle Kommissionierung mit Bahnhöfen	+	+	+
Ware-zu-Mann-Kommissioniersysteme			
Kommissionierstation mit Anbindung an Fördertechnik	O	+	-
Umlaufregale und Liftsysteme	+	+	-
Hybride Kommissioniersysteme			
Zweistufige Kommissionierung	+	+	O
Kommissionierung entlang einer AKL Regalfront	+	+	+
Inverses Kommissionieren	+	+	O
Legende: + hoher Bedarf/realisierbar, O geringer Bedarf/schwer realisierbar, - kein Bedarf/nicht realisierbar			

4 Definition von Anforderungen an das neue Eingriffsüberwachungssystem

In diesem Kapitel werden logistische, technische und wirtschaftliche Anforderungen an das neue zu entwickelnde Eingriffsüberwachungssystem ValidKomm gesammelt, bewertet und in Listen für die weitere Verwendung zusammengefasst. Als Informationsquellen dienen dabei Normen und Richtlinien, neun Expertengespräche mit Planern, Herstellern und Anwendern von Kommissioniersystemen sowie eigene Recherchen und Analysen. Zusätzlich wurde im Rahmen des ersten Treffens des Projektbegleitenden Ausschusses ein Workshop zur Anforderungsdefinition abgehalten. Durch die erstellten Anforderungslisten soll sichergestellt werden, dass das neue System den Bedürfnissen des Marktes bzw. der Anwender gerecht wird.

Dazu wird zunächst eine Gliederung, mit der die gesammelten Anforderungen gruppiert werden, erstellt. Anschließend wird auf die wichtigsten Informationsquellen sowie die Vorgehensweisen bei der Anforderungsidentifikation eingegangen. Die Anforderungen werden dann nach Relevanz gewichtet und in Listen aufbereitet. Abschließend werden diese Listen zu einem Lastenheft für den zu entwickelnden Funktionsdemonstrator ausgebaut. Das Lastenheft beinhaltet auch die Testprozeduren und Abnahmebedingungen für die Erfolgsüberprüfung am Ende des Entwicklungsprozesses.

4.1 Gliederung der Anforderungen

Die aus zahlreichen Quellen bezogenen Anforderungen werden, wie in Abbildung 7 ersichtlich, in vier Hauptgruppen Kommissionierarmband, Eingriffsrahmen, Integrations- und Anwendungsplattform und Gesamtsystem eingeteilt. In jeder Gruppe wird anschließend zwischen funktionalen (aktive Funktionen) und nicht funktionalen Anforderungen (Eigenschaften) unterschieden.

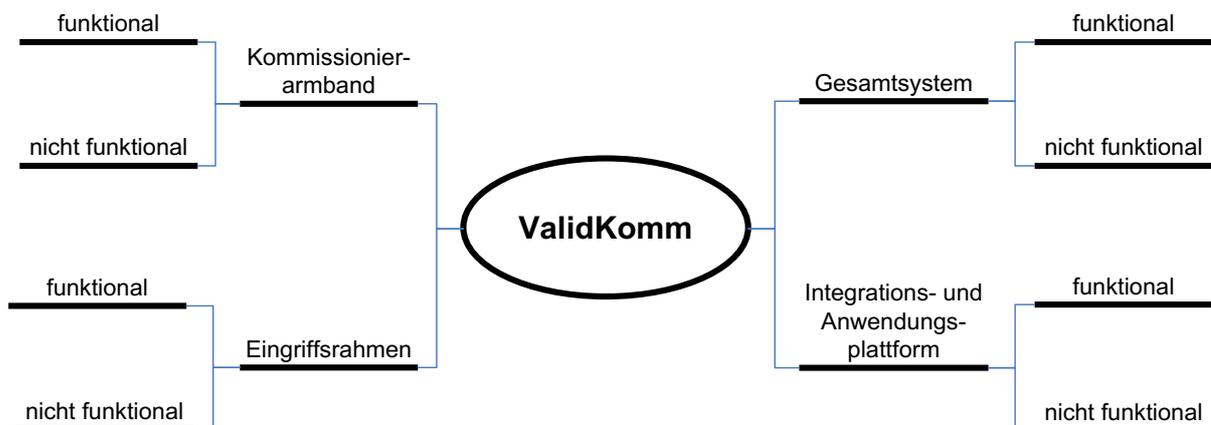


Abbildung 7: Gliederung der gesammelten Anforderungen

4.2 Beschreibung der verwendeten Informationsquellen

4.2.1 Arbeitskreis im Rahmen des ersten Projekttreffens

Am Ende des ersten Treffens des Projektbegleitenden Ausschusses wurde ein Arbeitskreis mit allen Teilnehmern zur Ermittlung erster relevanter Anforderungen für das ValidKomm-System veranstaltet. Es waren sechs Personen von fünf verschiedenen Unternehmen sowie jeweils zwei Personen der zwei Forschungsstellen anwesend. Aus diesem Personenkreis wurden zwei gemischte Gruppen gebildet, die Anforderungen an das Kommissionierarmband (Anzeige, Bedienelemente, Eigenschaften) sowie an das Gesamtsystem (logistisch, technisch, wirtschaftlich) ermitteln sollten.

Es folgt eine Übersicht der wichtigsten Ergebnisse:

Kommissionierarmband – funktional

- Es soll grundsätzlich die Möglichkeit geben Alarme und Sondermeldungen anzuzeigen.

- Bei niedrigem Batteriestand soll eine Warnmeldung erscheinen.
- Quittierungen sollen auch manuell über Tasten möglich sein.
- Für beidhändiges Kommissionieren soll je Hand ein Armband getragen werden.

Kommissionierarmband – nicht funktional

- Die Anzeige von Informationen sollte nur über Zahlen und Symbole erfolgen. Alternativ sollten Texte in verschiedenen Sprachen angezeigt werden können.
- Das Kommissionierarmband soll möglichst klein, leicht und robust sein.
- Das Display soll auch unter Sonnenlicht gut lesbar sein.
- Die Möglichkeit des induktiven Ladens wäre wünschenswert.
- Die Akkulaufzeit soll mindestens eine Schicht, also 8 Stunden, betragen.
- Aus hygienischen Gründen sollte jeder Mitarbeiter ein eigenes Armband erhalten. Die Anzeigeeinheit könnte gemeinsam genutzt werden, wenn sich diese vom Armband trennen lässt.

Gesamtsystem – funktional

- Die Einstellung der Grenzen zwischen den Entnahmeorten könnte über eine „Teach-In“-Funktion erfolgen, bei der ein Kommissionierer die Grenzen mit dem Armband abfährt.
- Fehlerkorrekturen sollen vom Kommissionierer selbst durchführbar sein.

Gesamtsystem – funktional

- Das Gesamtsystem soll eine hohe Flexibilität aufweisen. Dies beinhaltet leicht änderbare Größen der Entnahmeorte sowie eine einfache Anbringbarkeit des Eingriffsrahmens an den Entnahmeorten.
- Um den Installationsaufwand gering zu halten, soll das System einfach in bestehende IT- und Kommissioniersysteme integrierbar sein.
- Das Gesamtsystem sollte weitgehend wartungsfrei sein und eine hohe Zuverlässigkeit bei der Eingriffserkennung aufweisen.
- Die Gesamtkosten je Entnahmeort (Fach) sollten unter 150€ liegen.

4.2.2 Normen und Richtlinien

Über eine ausführliche Literaturrecherche werden zunächst mögliche Regelwerke gesammelt und anschließend bezüglich passender Anforderungen analysiert. Die Normen und Richtlinien, aus denen Anforderungen übernommen werden, sind nachfolgend angegeben:

Kommissionierarmband – nicht funktional

- DIN 1450 [DIN-1450] „Schriften – Leserlichkeit“: Lesetexte sollten mindestens Schriftgröße 9pt bzw. 3,5mm Höhe aufweisen.
- DIN EN ISO 9241-125 [DIN-9241-125] „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Empfehlungen zur visuellen Informationsdarstellung“: Wenn möglich sollten Bildschirmsymbole einsetzen werden, da diese sprachungebunden sind. Es gilt maximal 6 verschiedene Farben zu verwenden, wobei auf Sehschwächen bei Farben zu achten ist. Ein hoher Leuchtdiodenkontrast verbessert die Lesbarkeit.
- DIN EN ISO 9241-303 [DIN-9241-303] „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Anforderungen an elektronische optische Anzeigen“: Sicherheitsfarben, z. B. Rot ist Farbe des Verbots, sind zu beachten. Der ideale Sehabstand hängt vom Alter der Person ab (altersabhängiger Nahpunkt).

Gesamtsystem – funktional

- VDI 3311 [VDI-3311] „Beleglose Kommissioniersysteme“: Die Kommissionierer müssen sich am System an- und abmelden können. Bei einem Stromausfall muss es einen Alternativvorgang geben. Bei Ausfall einzelner Systemkomponenten soll die Ursache schnell auffindbar sein und die entsprechende Komponente einfach ausgetauscht werden können.

Gesamtsystem – nicht funktional

- VDI 3590-1/2/3 [VDI-3590-1; VDI-3590-2; VDI-3590-3] „Kommissioniersysteme“: Das System sollte bezüglich Auftragsschwankungen und Artikeländerungen flexibel sein. Ein modularer Aufbau des Systems ermöglicht eine schnellere Ausbau- und Anpassungsphase. Die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Systems müssen hoch sein.
- VDI 3657 [VDI-3657] „Ergonomische Gestaltung von Kommissionierarbeitsplätzen“: Es ist von einem Kommissionierer mit körperlichen Durchschnittsmaßen auszugehen. Für eine bessere Ergonomie sollten die Systeme an die Bedürfnisse der Kommissionierer anpassbar sein. Das System muss auch über den ergonomisch idealen Umgebungsbedingungen von 24°C und einer relativen Luftfeuchte von 70% zuverlässig arbeiten können.
- DGUV 103-014 (BGR B11) [DGU-103-014] „Elektromagnetische Felder“: Die maximal zulässigen Werte in Anlage 1 Seite 35 dürfen nicht überschritten werden. Gefahrenbereiche müssen entsprechend gekennzeichnet und Mitarbeiter vor Arbeitsbeginn über die Gefahr unterrichtet werden. Gefahr durch elektromagnetische Felder besteht insbesondere bei Personen mit Herzschrittmacher, mechanischen Herzklappen, Cochlea-Implantaten (Hörprothese), Hüftimplantaten und Insulinpumpen.

4.2.3 Expertenbefragungen

Im Rahmen der Expertenbefragungen wurden vier Anwender, vier Hersteller sowie ein Logistikberater von Kommissioniersystemen befragt. Für die Gespräche wurde ein Interviewleitfaden erstellt, welcher Fragen zu unterschiedlichen Aspekten bestehender Kommissioniersysteme sowie dem ValidKomm-System beinhaltet. Nachfolgend wird nur auf die hier relevanten Anforderungen für das ValidKomm-System eingegangen. Die Informationen zu üblichen Ausprägungen bestehender manueller Kommissioniersysteme werden in Kapitel 5 für die Entwicklung von logistischen und technischen Konzepten verwendet.

Bei der Formulierung der Fragen des Interviewleitfadens wurde auf Klarheit, Neutralität und Offenheit der Fragestellung geachtet, um die Objektivität zu wahren und die Gesprächspartner zu ausführlichen Antworten zu bewegen [Glä-2010, S. 131ff.]. Der Leitfaden wurde aufgrund der unterschiedlichen Kompetenzfelder für Anwender und Hersteller leicht angepasst. Er ist in vollständiger Form in Anhang A enthalten. Die Befragung des Logistikberaters wurde ohne Leitfaden als narratives Interview durchgeführt.

Der Ablauf der Befragungen verlief grundsätzlich bei allen Teilnehmern ähnlich. Nach einer kurzen Vorstellung der Interviewpartner sowie der Forschungseinrichtungen erfolgte eine Projektvorstellung. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Gesprächspartner über den Zweck und die Ziele der Gespräche informiert sind. Bei den Herstellern sowie den Anwendern von Kommissioniersystemen erfolgte danach eine Führung durch die verfügbaren bzw. verwendeten Anlagen. Dabei wurde vor allem auf die eingesetzte Technik sowie die Prozessabläufe eingegangen. Im Anschluss wurde gemeinsam der Interviewleitfaden bearbeitet.

Nach der erfolgreichen Durchführung aller neun Befragungen wurden die Ergebnisse anhand einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Diese besteht nach *Gläser* aus den vier Schritten: Kategoriensystem erstellen, Extraktion, Aufbereitung und Verdichtung der relevanten Informationen, Interpretation [Glä-2010, S. 199ff.]. Als Kategoriensystem wurde die in Kapitel 4.1 beschriebene Gliederung verwendet.

Identifizierte Anforderungen an das ValidKomm-System sind:

Kommissionierarmband – funktional

- Es sollen frei belegbare Tasten am Armband verfügbar sein, um unternehmensspezifische Funktionen realisieren zu können.
- Für eine bessere Artikelidentifikation soll das Artikelbild am Display angezeigt werden.
- Über eine Taste oder Funktion soll eine Nachbestellung von Ware für die aktuelle Position ausgelöst werden können.
- Es soll zwischen den Fehlermitteilungsformen Vibration, Ton, Licht und/oder einer Anzeige auf dem Display gewählt werden können.
- Am Ende eines Auftrags soll eine entsprechende Mitteilung (Text, Ton, Licht, Vibration) erfolgen.
- Bei automatischen Quittierungen soll ein Feedbacksignal über Ton und/oder Licht eingestellt werden können.
- Das Armband sollte ggf. über einen Scanner oder eine Kamera verfügen, womit Barcodes oder QR-Codes gelesen werden können.

Kommissionierarmband – nicht funktional

- Es sollen so wenige Informationen wie möglich und so viel wie nötig angezeigt werden.
- Das Armband sollte austauschbar sein.
- Das Kommissionierarmband soll nicht zu anderen Zwecken als dem Kommissionieren genutzt werden können (z. B. kein Internetzugriff, keine Spiele).

Eingriffsrahmen – nicht funktional

- Der Eingriffsrahmen soll so aufgebaut sein, dass keine Bereitstellplätze verloren gehen.
- Es sollen feste Modulgrößen passend für übliche Entnahmeorte (z. B. Regale) verfügbar sein.
- An bestehenden Strukturen (z. B. Regalen) soll für die Installation des Eingriffsrahmens keine Änderung notwendig sein.
- Der Eingriffsrahmen soll auch mit Akkumulator betrieben werden können (z. B. an einem Kommissionierwagen)

Integrations- und Anwendungsplattform – funktional

- Alle erkannten Aktionen sollen für spätere Fehlersuchen in einer Log-Datei gespeichert werden.
- Es sollen keine personenbezogenen Daten ausgewertet werden.
- Es soll eine Ruffunktion zwischen Vorarbeiter und Kommissionierer verfügbar sein.
- Es sollte einstellbar sein, ob Fehler vom Kommissionierer aktiv über Tasten quittiert werden müssen.
- Ist bei einer Abmeldung des Kommissionierers vom System noch ein Auftrag aktiv, so soll dieser automatisch abgebrochen werden.

Integrations- und Anwendungsplattform – nicht funktional

- Die Anbindung an das WMS soll über eine XML/SOAP-Schnittstelle erfolgen.

Gesamtsystem – funktional

- Es soll eine automatische An- und Abmeldung des Kommissionierers am System durch Eingreifen in einen beliebigen Entnahmeort (besondere Methodik zur Unterscheidung von gewöhnlichen Eingriffen benötigt) oder einen speziellen Eingriffsrahmen (An-/Abmelderahmen) möglich sein.

Gesamtsystem – nicht funktional

- Die Reaktionszeit des Gesamtsystems bei Erkennung und Rückmeldung eines Eingriffs sollte unter einer Sekunde betragen.
- Für Funkübertragungen sollte kein Bluetooth genutzt werden.
- Das ValidKomm-System sollte eine hohe Benutzerfreundlichkeit aufweisen, da diese ausschlaggebend für die Akzeptanz des Systems unter den Mitarbeitern ist.
- Durch den Einsatz des ValidKomm-Systems sollen sehr geringe Kommissionierfehlerquoten erreichbar sein. Zu diesem Zweck muss das System mit hoher Zuverlässigkeit, ähnlich jener automatischer Kommissioniersysteme, arbeiten.⁵

4.3 Bewertung der Anforderungen

Da nicht alle gesammelten Anforderungen gleich wichtig sind und zudem nicht alle Anforderungen bei der Entwicklung des Demonstrators berücksichtigt werden können, werden sie in ihrer Relevanz nach der MoSCoW-Methode gewichtet. Die Methode legt zwar keine Rangfolge für die Anforderungen innerhalb derselben Priorität fest, ist aber ein geeignetes Hilfsmittel zur Einordnung. Das Akronym beinhaltet dabei die vier verschiedenen Kategorien [Pin-2004, S. 23ff.]:

- M(ust) – Muss-Anforderungen: Diese Anforderungen haben die höchste Priorität und sind zwingend notwendig.
- S(hould) – Soll-Anforderungen: Sofern keine Muss-Anforderungen durch die Soll-Anforderungen gemindert werden, sind die Soll-Anforderungen ebenfalls zu erfüllen.
- C(ould) – Kann-Anforderungen: Diese Anforderungen haben nur eine niedrige Priorität und sind für den Projekterfolg nicht zwingend notwendig. Zumeist dienen sie zur Darstellung von optionalen Zusatzfunktionen.
- W(on't) – Nicht-Anforderungen: Anforderungen mit der niedrigsten Priorität. Diese sind möglich und sinnvoll, werden aber für das betrachtete Projekt nicht umgesetzt.

Die Gesamtanforderungsliste mit den gesammelten und bewerteten Anforderungen aus allen Informationsquellen ist im Anhang B zu finden.

4.4 Technische Anforderungen

Das ValdiKomm-System erfordert eine Integration der induktiven Ortungstechnologie in gängige Regalsysteme zur Kommissionierung. Für eine einfache Multiplizierbarkeit der Ergebnisse soll sich auf sogenannte Durchlaufregale konzentriert werden in die die entsprechenden Komponenten der Primärseite für das Ortungssystem integriert werden. Daraus ergeben sich folgende technische Anforderungen an technische Komponenten am Regal (Primärseite):

- Antennen und Verkabelung sollen mechanisch robust integrierbar an Durchlaufregalsysteme sein.
- Beim System dürfen keine störende Komponenten verbaut werden (Verletzungsgefahr, Beschädigung).
- Basisstation und andere elektronische Komponenten geeignet für den industriellen Einsatz (Stromversorgung, Berühr- und Staubgeschützt)
- Das Lokalisierungssystem soll kompatibel / nachrüstbar zu bestehenden Regalsystemen sein.
- Die Echtzeit-Verarbeitung der Lokalisierungsdaten und Systemreaktion auf Anwenderaktionen soll innerhalb der Reaktionszeit des Anwenders erfolgen. Das Regalsystem soll daher innerhalb einer Zeitspanne von unter einer Sekunde auf eine Anwenderaktion reagieren.

⁵ Nach *ten Hompel et al.* sind in der automatischen Kommissionierung Systemfehlerquoten von ca. 0,01% zu erwarten [Hom-2011, S. 84].

Um die Bewegungen eines Arbeiters beim Kommissionieren mit dem induktiven Ortungssystem verfolgen zu können, muss der Mitarbeiter ein Armband mit mindestens einer resonant abgestimmten Spule mit sich führen. Diese dient als Sekundärseite für das induktive Ortungssystem. Daraus ergeben sich folgende Anforderungen für die Sekundärspule:

- Die Spule soll klein und leicht ausgeführt werden, um die Bewegungen des Arbeiters während der Kommissionierung nicht zu beeinträchtigen
- Das Armband soll robust ausgeführt werden und dementsprechend tolerant gegenüber Beschädigungen sein
- Die Ausführung soll preiswert sein, um zu gewährleisten, dass jedem Arbeiter ein eigenes Exemplar zur Verfügung gestellt werden kann (Gewährleistung von Hygiene-Aspekten).

4.5 Testprozeduren und Abnahmebedingungen

Damit sichergestellt werden kann, dass das ValidKomm-System gemäß der Anforderungen eingesetzt werden kann, müssen Testprozeduren und Abnahmebedingungen definiert werden. Weiterhin muss die Möglichkeit bestehen, das System bei Fehlverhalten systematisch zu untersuchen, um so schnellstmöglich die defekten Komponenten zu finden und zu ersetzen. Idealerweise erfolgen solche Systemtests automatisch.

Entscheidend für die optimale Funktion des induktiven Ortungssystems ist die Einhaltung von mechanischen und elektrischen Systemparametern. Auf diese Parameter muss bereits bei der Auslegung und dem Aufbau des ValidKomm-Systems geachtet werden. An dieser Stelle sollen nur die wichtigsten zu testenden Systemparameter genannt werden. Sehr wichtig ist ein geringes Signalrauschen des Stromes in der Primärspule sowie ein geringes Rauschen in den Empfangskanälen. Weiterhin muss überprüft werden, ob die Empfangsantennen eine ausreichende Größe und eine dazu passende Wicklungszahl besitzen. Andernfalls sind die empfangenen Signale zu klein. Wie bereits angesprochen ist darauf zu achten, dass die Empfangsantennen korrekt ausgerichtet sind. Die zu detektierenden Spulen werden mit Hilfe von Kondensatoren resonant abgestimmt. Die Abstimmung erfolgt händisch, da sowohl die Spule als auch die Kondensatoren Toleranzen besitzen. Es ist jedoch notwendig, dass die Resonanzfrequenzen bei allen zu detektierenden Spulen gleich sein müssen. Zur Überprüfung der Resonanzfrequenz der Spulen wird ein Spektrumsanalysator verwendet. Als Kenngröße der resonant abgestimmten Spulen dient die Güte, die den Zusammenhang zwischen Primär- und Sekundärmagnetfeld darstellt.

Um das ValidKomm-System im Betrieb zu testen, sind zwei Möglichkeiten in der Software gegeben. Mit Hilfe des Debugfensters lassen sich die empfangenen Antennensignale untersuchen. Daneben besteht die Möglichkeit einen automatischen Test der einzelnen Empfangskanäle durchzuführen. Bei dem Test wird ein bekanntes internes Referenzsignal eingespeist. Anhand dessen das System beurteilt, ob ein Empfangskanal funktioniert oder defekt ist.

5 Konzeptionierung des ValidKomm-Systems

Ziel dieses Kapitels ist die Entwicklung mehrerer logistischer Konzepte für die in Kapitel 3 identifizierten sinnvollen Einsatzszenarien des ValidKomm-Systems. Die logistischen Konzepte beinhalten die Funktionsumfänge und Ausprägungen des neuen Eingriffsüberwachungssystems, die Informationsbereitstellung sowie mögliche Zusatzfunktionen. Anschließend wird ein geeignetes Konzept für die Entwicklung des Demonstrators ausgewählt. Darauf aufbauend gilt es, ein technisches Konzept zu erstellen. In diesem werden die technologischen Bestandteile (Armband, Eingriffsrahmen usw.) für das Anwendungsszenario konzipiert.

5.1 Logistisches Konzept

Wie in Kapitel 2.1 bereits beschrieben, besteht ein Kommissioniersystem aus einem Materialflusssystem, einem Organisationssystem und einem Informationssystem. Die in Kapitel 3 behandelten Kommissioniersysteme beinhalten bisher nur Angaben zum Materialflusssystem und Teilen des Organisationssystems. Um daraus nun vollständige Kommissioniersysteme für die Konzipierung des ValidKomm-Systems zu erstellen, müssen weitere Angaben zur Organisation sowie geeignete Informationssysteme ergänzt werden.

Da die Ablage von Artikeln an verschiedenen Ablageorten der Entnahme aus unterschiedlichen Entnahmeorten sehr ähnlich ist, wird in den weiteren Betrachtungen die Entnahme fokussiert. Das ValidKomm-System ist dennoch grundsätzlich auch zur Ablageüberwachung (z. B. bei der artikelorientierten Entnahme und auftragsorientierten Ablage) einsetzbar.

In Kapitel 4.2.3 wurden übliche Ausprägungen bestehender manueller Kommissioniersysteme im Rahmen der Expertenbefragungen aufgenommen. Diese können nun als Randbedingungen für die Konzepterstellung verwendet werden:

Übliche Ausprägungen von Kommissioniersystemen/Randbedingungen für Konzepte

- Die Auftragserfassung und -verarbeitung erfolgt automatisch.
- Es wird artikelorientiert und einzonig kommissioniert.
- Möglichkeiten zur An- und Abmeldung am System sind die Eingabe einer User-Nummer, Spracheingaben und das Scannen eines RFID-Tags oder Barcodes.
- Aufträge werden automatisch oder manuell über eine Taste, eine Eingabe an einem Terminal oder über das Scannen eines Barcodes gestartet.
- Falls eine Verheiratung des Zielbehälters mit dem System nötig ist, wird dies über das Scannen eines Barcodes am Behälter realisiert.
- Kommissionierfehler werden bei Terminals über Fehlermeldungen, bei Pick-by-Light-System über ein gleichzeitiges Blinken aller Lampen und bei Pick-by-Voice-Systemen über Sprachmeldungen realisiert.
- Bei Kommissionieraufträgen mit je einem Artikel je Position wird bei einem Eingriff automatisch quittiert (z. B. in Automobilbranche). Ansonsten kann die Quittierung manuell über Tasten oder automatisch bei Eingriff in die darauffolgende Position erfolgen.
- Manuell zu kommissionierende Artikel weisen üblicherweise Massen und Abmessungen auf, die von Menschen einfach und ohne Hilfsmittel handhabbar sind. Die allermeisten Artikel wiegen unter einem Kilogramm und haben Abmessungen von unter einem halben Meter.
- Als Lagermittel werden Fachbodenregale, Durchlaufregale und Palettenregale eingesetzt.
- Bei der Mann-zu-Ware-Kommissionierung kann ohne Fördermittel oder mit Kommissionierwagen, Niederflurförderer oder Hochregalstapler gearbeitet werden.
- Ladehilfsmittel können bei der Bereitstellung und/oder als Zielbehälter verwendet werden. Üblich sind Behälter oder Paletten.
- Systemwartungen müssen vom Betreiber durchgeführt werden.

- Für Einschulungen neuer Mitarbeiter werden Mentoren und Schulungsunterlagen eingesetzt.
- Änderungen am Kommissioniersystem betreffen meist nur Belegungen der Entnahmorte mit neuen Artikeln. Die Regale bleiben unverändert.
- Mengenkorrekturen⁶ und Nulldurchgangsbestätigungen⁷ werden, wenn gewünscht, über das Informationsbereitstellungssystem abgewickelt.

In Kapitel 3 wurden folgende Kommissioniersysteme als besonders geeignet für den Einsatz des ValidKomm-Systems identifiziert:

- Konventionelles (Mann-zu-Ware-)Kommissionieren
- Kommissionierung entlang einer AKL Regalfront
- Manuelle Kommissionierung mit Bahnhöfen

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt die Materialflusssysteme dieser Kommissioniersysteme anhand des morphologischen Kastens nach VDI 3590 [VDI-3590-1, S. 6]. Diese unterscheiden sich in den Transporten der Güter, der Bewegung des Kommissionierers sowie der Art der Bereitstellung und Abgabe. Die Entnahme erfolgt bei allen Systemen manuell, wobei je Eingriff jeweils ein oder mehrere Artikel auf einmal entnommen werden können. Die Ordnung der Artikel am Entnahme- und Abgabeort sowie der Rücktransport angebrochener Ladeeinheiten sind für diese Arbeit nicht relevant.

Bei der konventionellen Mann-zu-Ware-Kommissionierung (grüne Markierung) findet kein Transport der Artikel zur Bereitstellung statt. Die Artikel lagern statisch und dezentral an den Entnahmeorten (meist in Regalen). Daher muss sich der Kommissionierer zu den einzelnen Orten bewegen, wobei dies eindimensional und entweder manuell oder mit einem mechanischen Hilfsmittel (z. B. Kommissionierwagen, Niederflurförderer) möglich ist. Eine zweidimensionale Bewegung mit mechanischem Hilfsmittel (z. B. Hochregalstapler) wird aufgrund der großen Regalabmessungen, welche große Eingriffsrahmen erfordern, nicht betrachtet. Der Transport der entnommenen Artikel zum Abgabeort entspricht der Bewegung des Kommissionierers zu den Entnahmeorten. Die Abgabe ist bei Mann-zu-Ware-Kommissioniersystemen üblicherweise statisch und zentral ausgeprägt.

Wird entlang einer AKL-Regalfront kommissioniert (rote Markierung), so werden die Artikel eines Auftrags automatisch und zweidimensional zu den Entnahmeorten im unteren Bereich des Regals transportiert und dort bereitgestellt. Die Bereitstellung erfolgt somit dynamisch und dezentral. Der Kommissionierer bewegt sich eindimensional und manuell zu den einzelnen Entnahmen und transportiert die kommissionierten Artikel auch eindimensional und manuell zum Ziel- bzw. Auftragsbehälter. Dieser wird dynamisch sowie dezentral am Fuße des AKLs über eine Rollenbahn an- und abtransportiert.

Die Kommissionierung mit Bahnhöfen (blaue Markierung) entspricht einer Mischung der zwei zuvor beschriebenen Systeme. Die Bereitstellung gleicht der Mann-zu-Ware-Kommissionierung (Artikel lagern statisch und dezentral in Regalen) und die Abgabe der Kommissionierung an einer AKL-Regalfront (dynamisch sowie dezentral über eine Rollenbahn). Der Kommissionierer bewegt sich jeweils eindimensional und manuell zu den Entnahmeorten sowie zum Abgabeort.

⁶ Mengenkorrekturen sind nötig, wenn am Entnahmeort weniger Artikel vorhanden sind als bei der aktuellen Position entnommen werden sollten. Ist dies der Fall wird die tatsächlich entnommene Menge vom Kommissionierer an das übergeordnete System gemeldet.

⁷ Diese Funktion kann bei vollständiger Abbildung des Artikelbestandes im WMS eingesetzt werden, d. h. im WMS ist hinterlegt an welchem Entnahmeort momentan wie viele Artikel lagern. Wird vom WMS bei der Entnahme der Artikel an der aktuellen Position vorausgesagt, dass der Entnahmeort während oder nach der Entnahme leer wird, so muss dies der Kommissionierer überprüfen und entweder bestätigen oder verneinen. Auf diese Weise können die im WMS hinterlegten Artikelbestände überprüft werden. Abweichungen können auf Fehler in den Artikelbeständen oder auf Kommissionierfehler zurückgeführt werden.

MATERIALFLUSS-SYSTEM						
Vorgang	Realisierungsmöglichkeiten			Materialfluß-einheit	Beispiele	
Transport der Güter zur Bereitstellung	findet nicht statt	findet statt			Beschickungs-einheit	Palette Behälter Tray/Tablar
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional		
Bereitstellung	statisch	dynamisch			Bereitstell-einheit	Palette Behälter, Schachtel Tray/Tablar
	zentral		dezentral			
Bewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung	findet nicht statt	findet statt			Sammel-einheit	Palette Behälter, Schachtel Tray/Tablar
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional		
Entnahme der Güter durch den Kommissionierer	manuell	mechanisch		automatisch	Entnahme-einheit	Schachtel Bündel, Packung Einzelteil
	ein Teil pro Zugriff	mehrere Einzelteile je Zugriff				
Transport der Güter zum Abgabeort	findet nicht statt	findet statt			Sammel-einheit	Palette/Behälter Schachtel Tray/Tablar
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional		
Abgabe	statisch	dynamisch			Sammel-einheit Versandeinheit	Palette Behälter, Schachtel Tray/Tablar
	zentral	dezentral				
Rücktransport der angebrochenen Ladeinheiten	findet nicht statt	findet statt			Beschickungs-einheit	Palette Behälter Tray/Tablar
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional		
		manuell	mechanisch	automatisch		
		geordnet			ungeordnet	

Abbildung 8: Morphologischer Kasten der Materialflusssysteme für die betrachteten Kommissioniersysteme in Anlehnung an [VDI-3590-1, S. 6]; Grün: Konventionelle Mann-zu-Ware-Kommissionierung, Rot: Kommissionierung entlang einer AKL-Regalfront, Blau: Manuelle Kommissionierung mit Bahnhöfen;

Den Ausprägungen üblicher Kommissioniersysteme folgend wird das Organisationssystem, wie in Abbildung 9 gezeigt (gelbe Markierungen), für alle drei Konzepte gleich festgelegt. Es wird in einem organisatorisch und technisch einheitlichen Kommissionierbereich ohne Zonen-aufteilung kommissioniert, wobei die einzelnen Aufträge von den Kommissionierern einzeln und nacheinander bearbeitet werden. Dies entspricht einer auftragsorientierten Entnahme sowie Ablage. Eine Optimierung der Auftrageinsteuerung wird nicht berücksichtigt.

ORGANISATIONSSYSTEM				
Teilsysteme	Kriterien	Realisierungsmöglichkeiten		Bestimmungsfaktoren (Beispiele)
Aufbauorganisation	Zonenaufteilung	einzonig	mehrzonig	Artikeleigenschaft baul. Gegebenheiten
Ablauforganisation	Sammeln	nacheinander	gleichzeitig	Durchlaufzeit Mengendurchsatz
	Entnahme	artikelorientiert	auftragsorientiert	Zugriffshäufigkeit
	Abgabe	artikelorientiert	auftragsorientiert	Auftragsgröße Auftragsvolumen
Betriebsorganisation	Auftragssteuerung	ohne Optimierung	mit Optimierung	Personalbedarf Versandart Systemleistung

Abbildung 9: Morphologischer Kasten des gewählten Organisationssystems in Anlehnung an [VDI-3590-1, S. 6]

Bei den Informationssystemen wurde durch die Expertenbefragungen sowie die Analyse bestehender manueller Kommissioniersysteme bereits eine automatische Auftragserfassung sowie -verarbeitung festgelegt. Die Weitergabe der Kommissionierinformationen an den Kommissionierer hängt vom verwendeten Informationsbereitstellungssystem ab. Hier werden die klassischen Systeme nach Kapitel 2.3 Kommissionierliste, mobiles Datenterminal MDT, Pick-by-Light sowie Pick-by-Voice berücksichtigt und spezifisch für das jeweilige Konzept ausgewählt. Bei der Quittierung sind ebenfalls einige verschiedene Ausprägungen möglich. Diese hängen von der Auftragsstruktur (z. B. Anzahl an Artikeln je Position), den Anforderungen an die Kommissionierqualität, der gewünschten Kommissionierleistung sowie der eingesetzten Technik ab. Über das Informationsbereitstellungssystem kann die Quittierung manuell erfolgen. Alternativ kann manuell oder automatisch über das Eingriffsüberwachungssystem quittiert werden. Der morphologische Kasten des Informationssystems ist in Abbildung 10 dargestellt.

Die Realisierungsmöglichkeiten der Eingriffsüberwachungssysteme werden analog zu den anderen Systemen auch in einem morphologischen Kasten aufbereitet (siehe Abbildung 11). Aus Gründen der Vollständigkeit sind darin auch mögliche Ausprägungen der Ablageüberwachung enthalten (graue Markierung). Nachfolgend werden die Realisierungsmöglichkeiten spezifisch für das ValidKomm-System beschrieben.

Die An- sowie Abmeldung des Kommissionierers am Kommissioniersystem sollte aus Zeit- und Aufwandsgründen nur jeweils einmal erforderlich sein, d. h. der Kommissionierer meldet sich gleichzeitig am Informationsbereitstellungs- und Eingriffsüberwachungssystem an bzw. ab. Dazu müssen die ID des Kommissionierers sowie die ID seines Armbands zuvor im System hinterlegt werden. Die An- und Abmeldung kann dann manuell über das Informationsbereitstellungssystem durch Benutzereingaben oder Scannen eines Barcodes oder RFID-Tags erfolgen oder automatisch über das ValidKomm-System mit einem speziellen An-/Abmelde-rahmen oder einem Eingriff in einen beliebigen Entnahmeort durchgeführt werden. Bei der Entnahmekuittierung ist die Auftragsstruktur entscheidend. Ist je Position nur jeweils ein Artikel zu kommissionieren, liegt die Entnahmesituation Einfach-Eingriff vor (nur ein Eingriff nötig). Müssen mehrere Artikel je Position entnommen werden, können mehrere Eingriffe erforderlich sein (Mehrfach-Eingriff). Bei der Situation des Einfach-Eingriffs kann manuell über das Informationsbereitstellungssystem und/oder eine Taste am Kommissionierarmband quittiert werden. Alternativ kann eine automatische Quittierung nach Ende des Eingriffs über das Eingriffsüberwachungssystem ausgelöst werden. In der Entnahmesituation Mehrfach-Eingriff kann nach der letzten Entnahme auf dieselben Weisen manuell quittiert werden wie beim Einfach-Eingriff. Die automatische Quittierung gestaltet sich etwas schwieriger, da man nicht weiß, wie viele Eingriffe der Kommissionierer zur Entnahme der geforderten Artikelmenge benötigt.

Dieses Problem kann entweder durch die Vorgabe je Eingriff nur einen Artikel zu entnehmen (automatische Quittierung je Artikel) oder durch die automatische Quittierung der aktuellen Position mit Eingriff in die darauffolgende Position bzw. dem Auftragsende gelöst werden. Vom System erkannte Kommissionierfehler können dem Kommissionierer über akustische (Töne), optische (Lichtsignale, Anzeige Display) oder haptische (Vibration) Signale oder einer Kombination verschiedener Signale mitgeteilt werden. Des Weiteren kann der Kommissionierer gezwungen sein identifizierte Fehler zu quittieren oder nicht.

Über das Display des Kommissionierarmbands können, neben der Mitteilung von Kommissionierfehlern oder erfolgreichen Quittierungen, ausgewählte Kommissionierinformationen, wie zum Beispiel die Entnahmemenge, angezeigt werden. Auf eine vollständige Informationsbereitstellung über das Kommissionierarmband bzw. das ValidKomm-System wird in Rücksprache mit dem Projektbegleitenden Ausschuss aus mehreren Gründen verzichtet. Das Display muss für die Anbringung am Armband relativ klein sein, wodurch auch die Kommissionierinformationen klein dargestellt werden und das Display für die Informationsaufnahme nah an die Augen geführt werden muss. Dieser Umstand lässt keine hohe Ergonomie sowie Akzeptanz der Informationsbereitstellung, vor allem bei längerer Benutzung, erwarten. Der Entwicklungsfokus des vorliegenden Projekts liegt auf dem Zusatzsystem ValidKomm zur Eingriffsüberwachung bzw. Fehlerreduzierung und nicht auf einer neuen Form der Informationsbereitstellung. Zudem ist unter dem Namen „Pick-by-Watch“ bereits ein System zur vollständigen Bereitstellung der Kommissionierinformationen mittels Smart-Watch verfügbar [SSI-2018].

Als sinnvolle Informationen des Kommissionierprozesses für die Anzeige am Display des Kommissionierarmbands werden nach Diskussion mit dem Projektbegleitenden Ausschuss die Entnahmemenge (redundant zur Anzeige über das Informationsbereitstellungssystem), die Anzeige eines Artikelbilds (zur schnelleren Identifikation der zu entnehmenden Artikel), die dem Kommissionierer zugewiesene Farbe bei mehrfarbigen Pick-by-Light Systemen (gleichzeitig mehrere Kommissionierer in einem Bereich) sowie Arbeitsanweisungen (wie Nulldurchgangskontrollen oder Entnahme von Leergut) erachtet. Der Fokus der Entwicklungsarbeiten beim Kommissionierarmband soll in diesem Szenario allerdings auf der Ausarbeitung eines Armbandes mit möglichst hoher Ergonomie, Zuverlässigkeit und Robustheit liegen.

5 Konzeptionierung des ValidKomm-Systems

INFORMATIONSSYSTEM				
Vorgang	Realisierungsmöglichkeiten			Beispiele
Vorbereitung der Kommissionierung				
Auftrags- erfassung	1 manuell	2 manuell automatisch	3 automatisch	1 Telefonische Auftrags-Annahme, manueller Übertrag in Auftragsformular 2 Eintippen Auftrags-Daten, automatische Erstellung des Auftragsformulars 3 On-line-EDV-Verbindung
Auftrags- aufbereitung	1 Teilauftrag	2 Einzelauftrag	3 Auftragsgruppen	1 Teilauftrag 2 Unveränderter Auftragsdurchlauf 3 Mehrere Aufträge mit gleichen Artikeln
	1 keine	2 manuell	3 manuell/ automatisch	4 automatisch
Weitergabe	1 ohne Beleg	2 mit Beleg	1 EDV-Terminal in Kommissionierzone 2 Kommissionierliste	
	1 Einzelposition	2 mehrere Positionen	1 Abruf durch Kommissionierpersonal 2 Kommissionierliste	
Durchführung der Kommissionierung				
Quittierung	1 je Entnahme- einheit	2 je Position	3 alle Positionen	1 Automatische Quittierung bei Kommissionierroboter 2 Positionsweises Abhaken auf Kommissionierliste 3 Endkontrolle; Quittierung Gesamtauftrag
	1 manuell	2 manuell/ automatisch	3 automatisch	1 Abhaken auf Kommissionierliste 2 Eintippen in BDE-Terminal 3 Automatische Artikelidentifikation durch Bar-Code nach Entnahme

Abbildung 10: Morphologischer Kasten möglicher Ausprägungen der Informationssysteme in Anlehnung an [VDI-3590-1, S. 5]

Abschließend werden in Abbildung 12 mögliche Arbeitsschritte des Kommissionierers während des Kommissionierablaufs für die drei betrachteten Kommissioniersysteme aufgeführt. Blau markierte Schritte treten dabei in jedem System auf. Eine nähere Erklärung der einzelnen Schritte wird im Rahmen der Konzeptvorstellungen gegeben.

Nachdem nun die Ausprägungen der drei Kommissioniersysteme bezüglich Materialfluss-, Organisations- und Informationssystem beschrieben wurden, werden daraus drei logistische Konzepte durch eine sinnvolle Kombination der Realisierungsmöglichkeiten bezüglich Informationsbereitstellung, Eingriffsüberwachung, Anzeigen am Kommissionierarmband und Prozessabläufe gebildet und erläutert. Alle Konzepte ermöglichen grundsätzlich den Betrieb mit mehreren Kommissionierern gleichzeitig in einem Kommissionierbereich.

EINGRIFFSÜBERWACHUNGSSYSTEM					
Vorgang	Realisierungsmöglichkeiten				
Anmeldung	ohne	mit Anmeldung			
		manuell	automatisch		
Entnahmesituation	Einfach-Eingriff		Mehrfach-Eingriff		
	Entnahme-Quittierung	manuell	automatisch	manuell	automatisch
je Artikel					mit nächster Position
Ablagesituation	Einfach-Eingriff		Mehrfach-Eingriff		
	Ablage-Quittierung	manuell	automatisch	manuell	automatisch
je Artikel					mit nächster Position
Abmeldung	ohne	mit Abmeldung			
		manuell	automatisch		
Fehler-Mitteilung	akustisch	optisch	haptisch	Kombination	
Fehler-Quittierung	ohne		mit Quittierung		

Abbildung 11: Morphologischer Kasten der Realisierungsmöglichkeiten von Eingriffsüberwachungssystemen

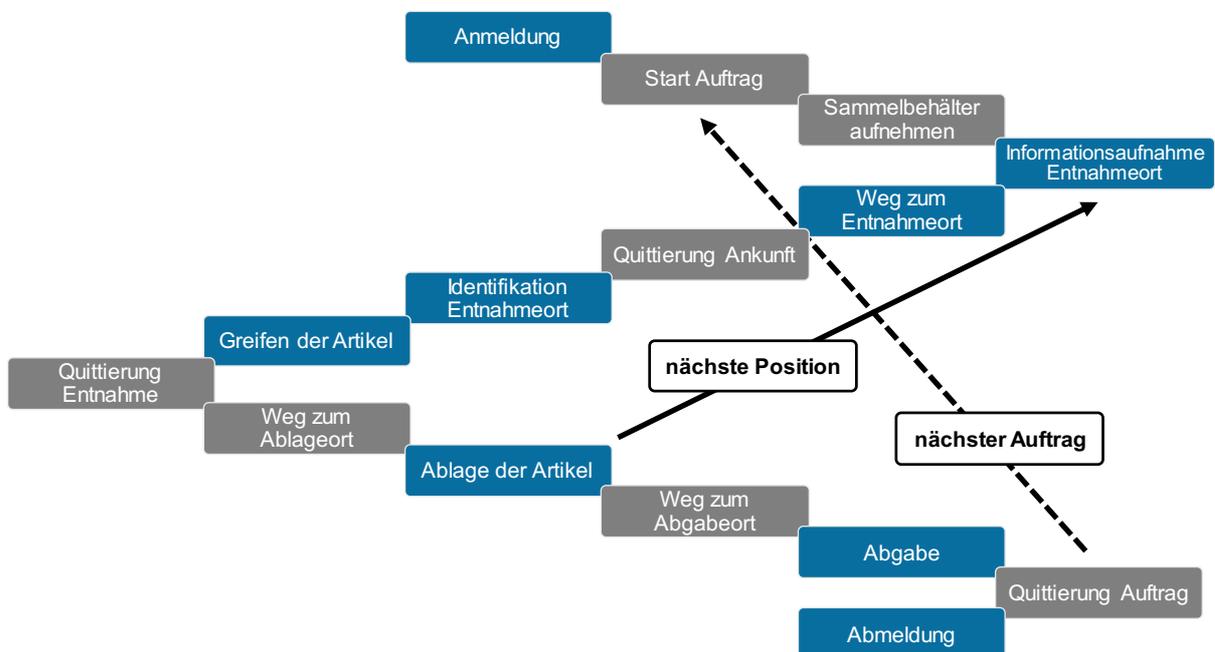


Abbildung 12: Arbeitsschritte des Kommissionierers für die betrachteten Kommissioniersysteme

5.1.1 Konzept 1: Konventionelle Mann-zu-Ware-Kommissionierung

Da die konventionelle Mann-zu-Ware-Kommissionierung meist aufgrund ihrer geringen Anschaffungskosten gewählt wird [Hom-2011, S. 67], werden auch die technischen Hilfsmittel sowie sonstige Ausprägungen in Hinblick auf geringe Kosten festgelegt.

Wie in Abbildung 13 ersichtlich, wird eine Informationsbereitstellung über ein mobiles Daten-terminal MDT und die Bereitstellung der Artikel über zeilenförmig angeordnete Fachbodenregale ausgeführt. Die An- und Abmeldung der Kommissionierer am Kommissioniersystem erfolgt über Eingabe der Benutzernummer am MDT. Nach der Anmeldung wird ein Auftrag per Tastendruck am MDT gestartet und ein Behälter aufgenommen. Als nächstes liest der Kommissionierer den Ort der ersten Auftragsposition vom MDT ab und begibt sich zu diesem. Dort angekommen muss der richtige Entnahmeort identifiziert und die geforderte Menge entnommen werden. Da je Position ein oder mehrere Artikel kommissioniert werden, wird eine Mehrfach-Eingriff Entnahmesituation mit automatischer Quittierung bei Eingriff in die darauffolgende Position bzw. bei Auftragsende vorgesehen. Nach Ablage der Artikel im Behälter kann entweder mit der nächsten Position fortgefahren werden (gleicher Ablauf) oder der fertig kommissionierte Auftrag zur Abgabe gebracht werden. Dort wird das Auftragsende am MDT quittiert. Danach kann ein neuer Auftrag gestartet werden oder eine Abmeldung vom System erfolgen.

Um die Anschaffungskosten des ValidKomm-Systems für dieses Konzept gering zu halten, erhalten die Kommissionierer jeweils ein Armband ohne Display sowie ohne spezielle Eingabemöglichkeiten. Dieses beinhaltet somit nur die zur Eingriffserkennung notwendige Spule. Kommissionierfehler werden über das Display des MDT mitgeteilt und müssen dort per Tastendruck quittiert werden.

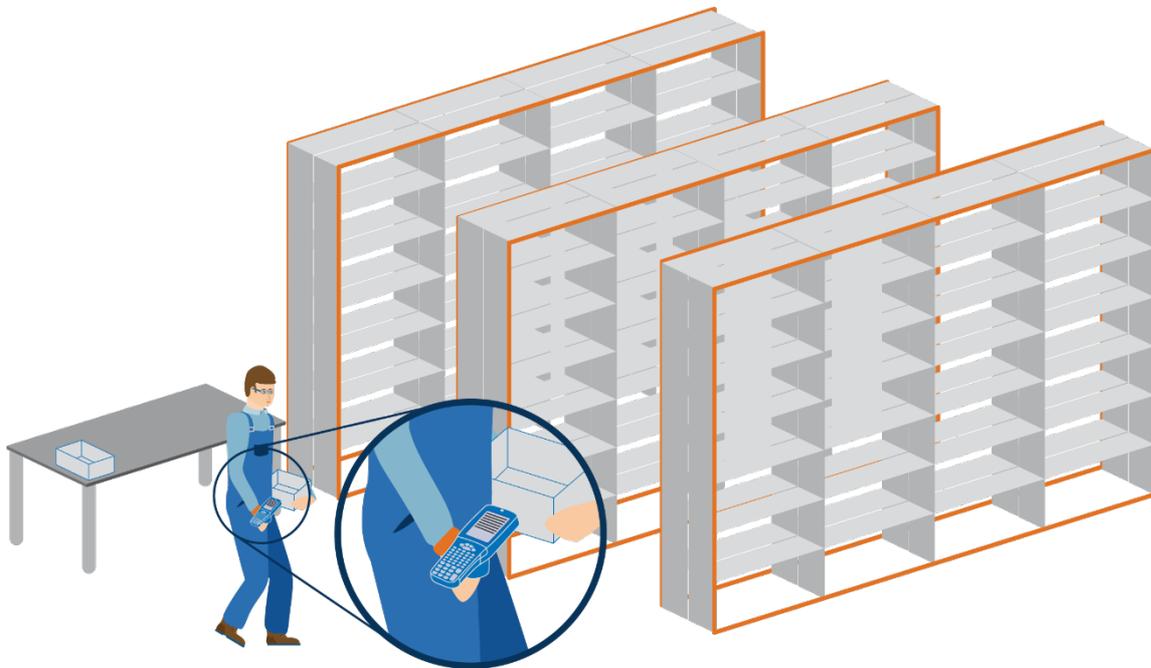


Abbildung 13: Prinzipdarstellung Konzept 1 konventionelle Mann-zu-Ware-Kommissionierung

5.1.2 Konzept 2: Kommissionierung entlang einer AKL Regalfrent

Beim Konzept für die Kommissionierung entlang einer AKL-Regalfrent erfolgt die Informationsbereitstellung über mehrfarbige Pick-by-Light Fachanzeigen (siehe Abbildung 14). Die Kommissionierer melden sich über einen eigenen Registrierrahmen (weiterer Eingriffsrahmen) am System an und auch ab. Aufträge werden nach der Anmeldung automatisch gestartet bzw. bei Abmeldung mit unfertigen Aufträgen automatisch abgebrochen. Nach der Anmeldung erhält jeder Kommissionierer für die weitere Arbeit eine eigene Farbe zugewiesen, in der die für ihn bestimmten Fachanzeigen sogleich zu leuchten beginnen. Anschließend können sich die Kommissionierer zu ihren Entnahmeorten begeben und Artikel entnehmen. Da in diesem Beispiel je Position nur jeweils ein Artikel entnommen werden muss, ist eine Einfach-Eingriff Entnahmesituation mit automatischer Quittierung eingestellt. Nach jeder Entnahme müssen die Kommissionierer die Artikel zu ihrem Zielbehälter bringen, welcher ebenfalls mit einer Leuchte in ihrer Farbe markiert wird. Wurden alle Position kommissioniert, kann der Auftrag über ein

Ausschieben des Zielbehälters auf die Fördertechnik abgegeben und automatisch quittiert werden.

Die Kommissionierer tragen Armbänder mit Displays, auf denen ihnen nach der Anmeldung ihre spezifische Farbe angezeigt wird. Kommissionierfehler werden über eine Vibration des Armbands mitgeteilt. Eine Fehler-Quittierung ist nicht notwendig.



Abbildung 14: Prinzipdarstellung Konzept 2 Kommissionierung entlang einer AKL Regalfront

5.1.3 Konzept 3: Manuelle Kommissionierung mit Bahnhöfen

Beim dritten und letzten Konzept wird die Informationsbereitstellung über Pick-by-Voice realisiert, somit erfolgen alle Mitteilungen an den Kommissionierer sowie Eingaben von selbigen über akustische Signale. Die Kommissionierer melden sich über das Informationsbereitstellungssystem am Kommissioniersystem an und ab. Danach müssen Aufträge manuell gestartet werden. Es folgt eine Mitteilung an welcher Stelle der Zielbehälter aufgenommen werden kann. Mit dem Zielbehälter begeben sich die Kommissionierer anschließend den Mitteilungen folgend zu den einzelnen Entnahmeorten, wobei sie ihre Ankunft an den Entnahmeorten jeweils quittieren müssen. Erst dann werden die weiteren Informationen zu Entnahme mitgeteilt. Für dieses Konzept wird bezüglich der Quittierung eine Mehrfach-Eingriff Entnahmesituation mit Quittierung je Artikel vorgesehen. Somit müssen die Kommissionierer in jeden Entnahmeort der zu entnehmenden Menge entsprechend oft eingreifen und jeweils nur einen Artikel entnehmen. Dies senkt zwar die Kommissionierleistung erheblich, ermöglicht aber im Gegenzug die Reduzierung von Mengenfehlern. Am Ende eines Auftrags kann der Zielbehälter wie in Konzept 2 auf die Fördertechnik gesetzt und somit abgegeben bzw. automatisch quittiert werden.

Kommissionierfehler werden ebenfalls akustisch mitgeteilt und müssen jeweils quittiert werden. Am Display des Kommissionierarmbands werden zur schnelleren Artikelidentifikation jeweils die entsprechenden Artikelbilder angezeigt.

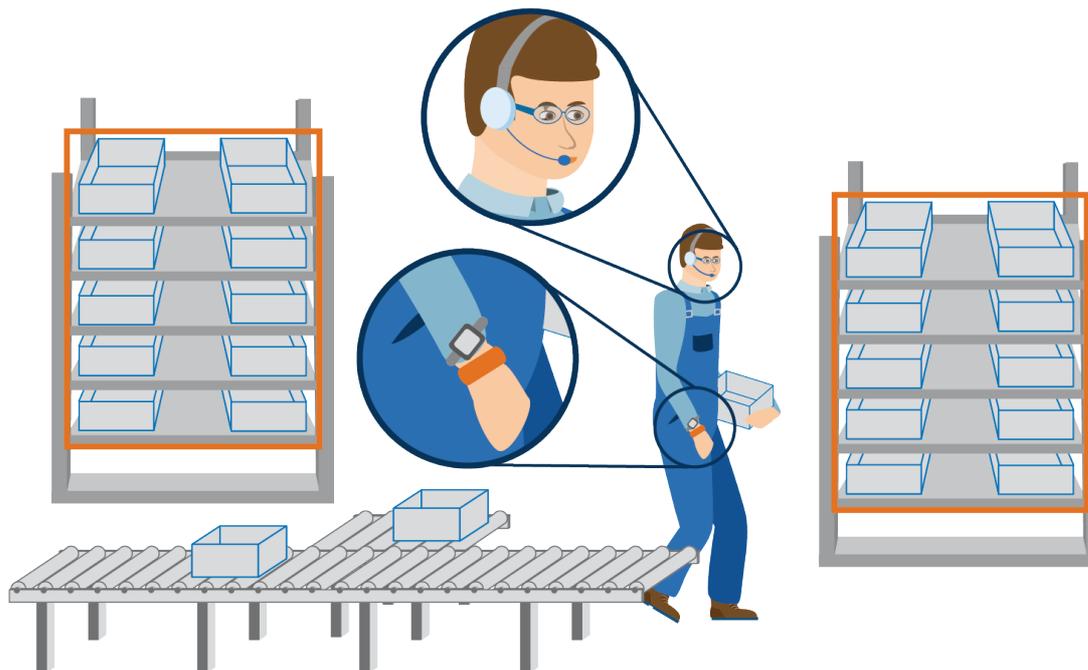


Abbildung 15: Prinzipdarstellung Konzept 3 manuelle Kommissionierung mit Bahnhöfen

5.1.4 Wahl des Konzepts für den Demonstrator

Für die Entwicklung des Funktionsdemonstrators wurde im Rahmen des zweiten Treffens des Projektbegleitenden Ausschusses Konzept 1 Konventionelle Mann-zu-Ware-Kommissionierung gewählt. Gründe hierfür waren die weite Verbreitung dieses Kommissioniersystems sowie dessen Verwendung in zahlreichen Unternehmen des Ausschusses. Dies wurde vor allem in Hinblick auf die späteren Feldtests in den Unternehmen als wichtig erachtet.

5.1.5 Mögliche Probleme beim Einsatz des ValidKomm-Systems

Zusätzlich zu den Ausprägungen üblicher Kommissioniersysteme sowie den Anforderungen an das ValidKomm-System konnten im Rahmen der Expertenbefragungen in Kapitel 4.2.3 einige mögliche Probleme beim Einsatz des ValidKomm-Systems aufgenommen werden. Diese werden nachfolgend zusammen mit Lösungsvorschlägen beschrieben sowie diskutiert.

In gewissen Fällen muss der Kommissionierer nicht nur zur Entnahme von Artikeln in einen Entnahmeort eingreifen. Dies sind zum Beispiel das Öffnen von Kartonagen in denen Artikel verpackt sind oder das Entnehmen von leeren Ladehilfsmitteln (meist Behälter). Da in diesen Fällen ohnehin manuell per Tasten oder automatisch bei Eingriff in den darauffolgenden Entnahmeort quittiert wird, stellen zusätzliche Eingriffe kein Problem dar.

Hat das System oder auch der Kommissionierer einen Kommissionierfehler erkannt, so soll dieser vom Kommissionierer selbst behebbar sein. Wurde die falsche Menge entnommen, kann der Kommissionierer zusätzliche Artikel entnehmen oder wieder zurücklegen, solange keine Quittierung erfolgt ist. Hat der Kommissionierer in den falschen Entnahmeort eingegriffen und keinen Artikel entnommen, ist keine Fehlerbehebung nötig. Wurde jedoch ein Artikel entnommen, muss dieser entweder gesondert abgelegt oder wieder zurückgelegt werden (je nach Vorgabe des Unternehmens). Für das Zurücklegen von Bauteilen wird entweder ein neuer Fehler durch ein erneutes falsches Eingreifen erzeugt oder es wird dafür eine eigene Funktion am Kommissionierarmband vorgesehen. Diese ist jedoch kritisch zu sehen, da die Funktion auch allgemein zur Umgehung des Systems genutzt werden könnte. Aus den genannten Gründen wird daher die erste Variante für die vorliegende Arbeit bevorzugt.

Bei Kommissioniersystemen mit Bereitstellung in Regalen und niedrigen Kommissionierleistungen können die Artikel je Entnahmeort chaotisch gelagert werden, d. h. im WMS sind zwar die am Entnahmeort bereitgestellten Artikel hinterlegt, diese können jedoch am Entnahmeort beliebig angeordnet werden. Für diese Systeme kann das ValidKomm-Systems nicht sinnvoll eingesetzt werden, da kein Soll-Ist-Vergleich des Eingriffsortes vorgenommen werden kann.

Bei gewissen Regaltypen (z. B. Fachbodenregale) werden Artikel auch teilweise am Regal gelagert. Um auch dort Eingriffe erfassen zu können, muss der Eingriffsrahmen über das Regal hinaus bis über die gelagerten Artikel reichen.

Aus ergonomischen Gründen werden einige Entnahmeorte mit gebogenen Regalfronten (siehe Abbildung 16) ausgeführt. Der Eingriffsrahmen muss zwingend rechteckig und eben sein (siehe Kapitel 2.5), weshalb er in solchen Fällen schräg und mit einem Abstand zu den Entnahmeorten angebracht werden muss.



Abbildung 16: Vergleich ebene und gebogene Regalfronten sowie Anbringung des Eingriffsrahmens an einem gebogenen Regal

5.1.6 Weitere Anwendungsmöglichkeiten des ValidKomm-Systems

Im Zuge der Arbeiten im Projekt sind einige weitere Anwendungsmöglichkeiten für die Technologie der induktiven Nahfeldortung in der manuellen Kommissionierung erdacht worden (siehe auch Abbildung 17), welche über die in diesem Projekt betrachtete Zielsetzung hinausgehen. Diese könnten aber in anderen Projekten umgesetzt werden:

- Zum Schutz des Unternehmens vor einem Verlust der Armbänder könnten spezielle Eingriffsrahmen an Zutrittspunkten des Kommissionierbereichs platziert werden, durch welche die Kommissionierer hindurchgehen müssen. So könnte ein unerlaubtes oder unbeabsichtigtes Verlassen des Kommissionierbereichs mit Armband verhindert werden. Diese Zusatzfunktion wäre vor allem bei Verwendung wertvoller Armbänder oder Smartwatches interessant.
- Durch Anbringen von Eingriffsrahmen an Gassenenden zeilenförmig angeordneter Regale bei der Mann-zu-Ware-Kommissionierung, könnte eine grobe Ortsbestimmung der Kommissionierer während ihrer Tätigkeit realisiert werden. Dies könnte eine Datenbasis für manuell-auslösbare Funktionen innerhalb des Kommissionierprozesses oder zur Wegeoptimierung schaffen.
- Das ValidKomm-System könnte auch zur Überwachung des Nachschubs (Befüllung Entnahmeorte mit neuen Artikeln) eingesetzt werden.

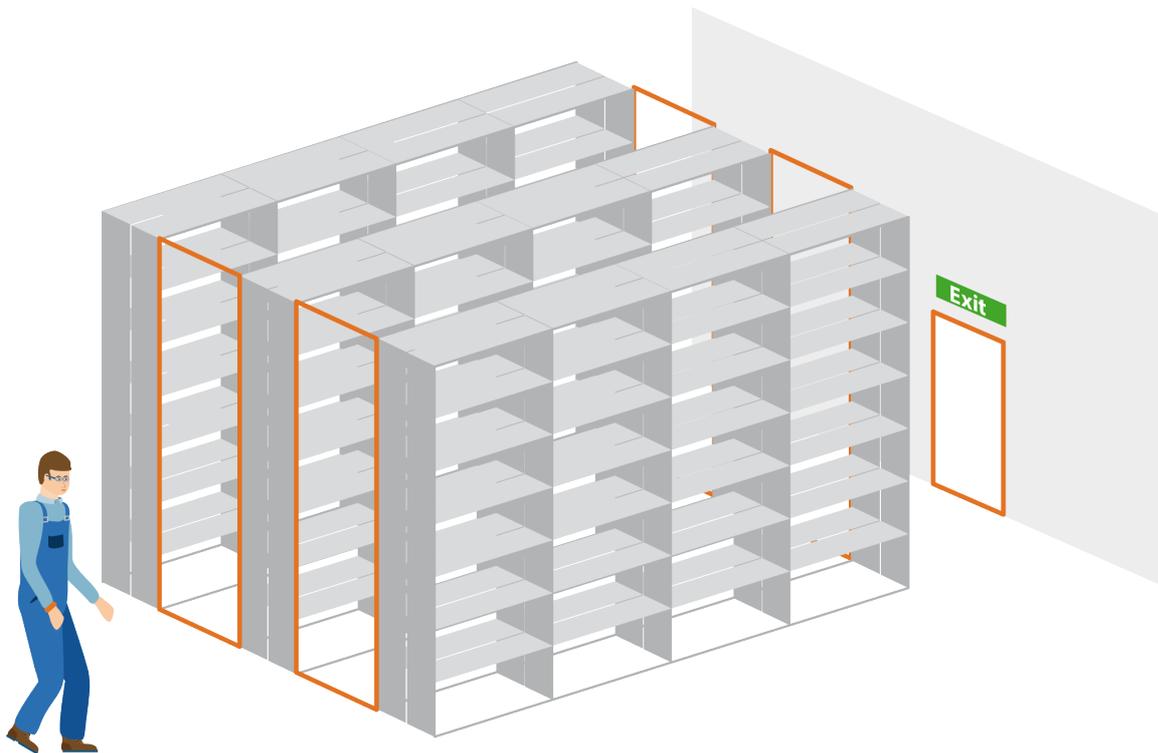


Abbildung 17: Weitere mögliche Anwendungsmöglichkeiten der Technologie der induktiven Nahfeldordnung im Umfeld der manuellen Kommissionierung

5.2 Technisches Konzept und Umsetzung einer Funktionsbasis

Das System besteht aus drei Hauptkomponenten: Die Primärseite unterteilt sich in Basisstation und am Regal verbauter Antennen sowie einer Sekundärseite, die in ein Kommissionierarmband integriert werden soll. Alle drei Komponenten sollen dabei unabhängig voneinander entwickelt werden und werden im Sinne eines modularen Aufbaus auch einzeln betrachtet.

5.2.1 ValidKomm Basisstation

Die Basisstation ist das Kernelement des ValidKomm-Systems. In dieser Einheit wird sowohl das Signal zur Erzeugung eines schwachen magnetischen Wechselfeldes generiert als auch die Empfangssignale von ggf. vorhandenen Lokalisierungsobjekten aufbereitet und ausgewertet, um diese als digitale Ereignisse an weiterführende Systeme zu geben. Dabei werden diese Ereignisse von der Basisstation nur in Bezug auf das Regal als Ein-/Ausgriff in definierte Areale bzw. Fächer interpretiert. Eine Zuordnung dieser Ereignisse zu logistischen Prozessen und den damit verbundenen fehlerhaften- bzw. korrekten Eingriffen nimmt die Basisstation selber nicht vor. Dadurch sollen die Anbindung an die Firmen-eigene Middleware erleichtert und der Einsatz des ValidKomm-Systems flexibel ermöglicht werden.

5.2.2 Primär- und Empfangsantennen

Abbildung 18 zeigt schematisch das gesamte ValidKomm-System mit der schon beschriebenen Basisstation, der im Rahmen integrierten Primärspule und den ebenfalls im Rahmen integrierten Empfangsspulen.

Die Primärspule des ValidKomm-Systems ist eine geschlossene Leiterschleife die im Idealfall die zu überwachende Ebene umspannt. Durch diese Anordnung ist es möglich neben der Positionsbestimmung auf Grundlage von x,y,z Koordinaten auch mit der zusätzlichen Auswertung der Quadratur-Komponente den Durchtritt durch diese Ebene zu erfassen. Dabei kann auch die Richtung des Durchtritts in die Ebene hinein oder aus ihr heraus ermittelt werden. Wesentliche Herausforderung bei der Integration der Primärspule in den Regalrahmen

ist die mechanische Stabilität sowie die sichere und gleichzeitig einfache Verbindung der Primärspule mit den entsprechenden Modulen der Basisstation.

Die in Abbildung 18 orange eingezeichneten acht Empfangsantennen bestehen jeweils aus einem orthogonal zueinander angeordneten Spulenpaar.

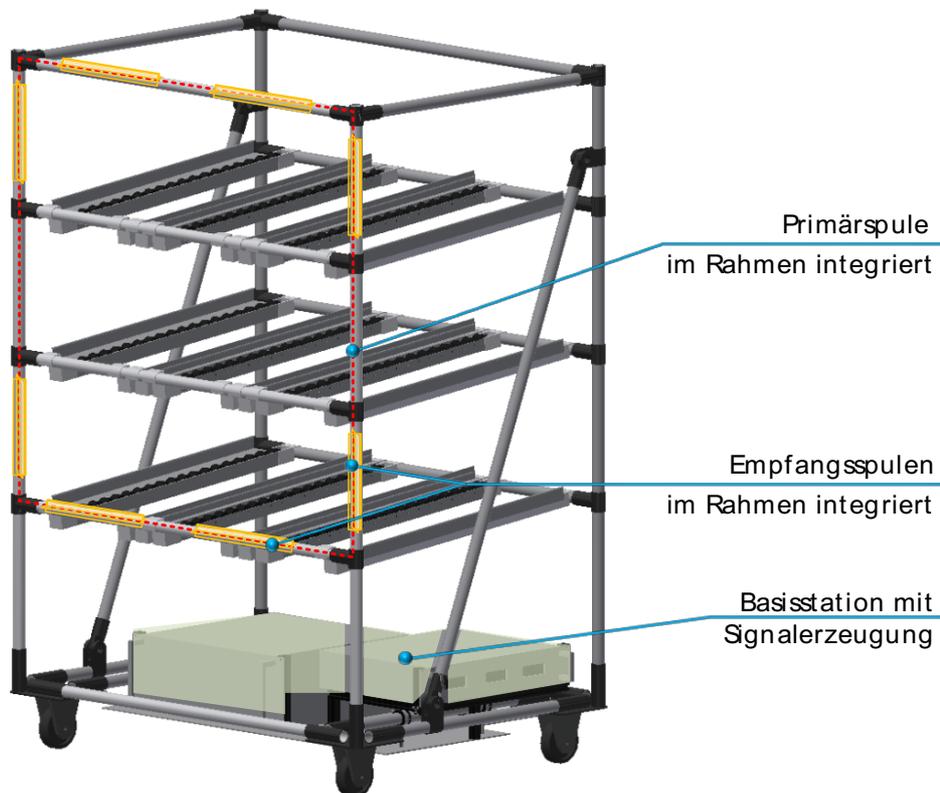


Abbildung 18: Schematische Darstellung des Gesamtsystems

Für die Qualität der Ortungsergebnisse sind Design, Anzahl und Position der Empfangsantennen entscheidend. Die Ausrichtung der zwei Spulen pro Empfangsantenne zueinander selber ist durch den verwendeten Wickelkörper gegeben. Entscheidend für die Systemgenauigkeit ist jedoch der Winkel zwischen diesen beiden Empfangsantennen und der Ebene der Primärspule. Jede Abweichung von der Orthogonalität wirkt sich direkt auf die Genauigkeit der Positionsergebnisse aus. Dieser Umstand muss bei der Konstruktion und Anbringung der Empfangsantennenpaare in den Regalröhren berücksichtigt werden.

5.2.3 Lokalisierungsobjekt „Wearable“

5.2.3.1 Passives Wearable

Passive, auf die Primärfrequenz resonant abgestimmte Spulen können von dem ValidKomm-System erfasst werden. Innerhalb der Reichweitengrenze kann jedes Objekt erfasst werden, das mit einer resonant abgestimmten Spule ausgestattet ist. Angeregt durch das magnetische Wechselfeld des Primärsignals, das in unmittelbarer Umgebung des Systems zu empfangen ist, sendet das Lokalisierungsobjekt ein eigenes Sekundärfeld aus, ohne dass dieses eine eigene Energiequelle benötigt. Dieses Sekundärfeld ist proportional zur Stärke des anregenden Primärfeldes sowie der Induktivität und Fläche der Sekundärspule. Die Fähigkeit des ValidKomm-Systems dieses Sekundärfeld zu empfangen und auszuwerten wird wiederum durch Größe und Induktivität der Empfangsspulen am Regal begrenzt. Um ein möglichst starkes Signal der Lokalisierungsobjekte zu erreichen, kann die Amplitude des

Primärsignals im Rahmen der gesetzlichen Grenzen und unter Rücksichtnahme auf den Energieverbrauch erhöht werden. Des Weiteren kann die Induktivität und Fläche der Sekundärspule optimiert werden. Eine beliebige Verkleinerung der Sekundärspule am Ortungsobjekt ist daher nicht sinnvoll.

Da im Projekt das Lokalisierungsobjekt als ein Wearable realisiert werden soll, muss diese Einschränkung mit beachtet werden.

Ein weiterer zu beachtender Aspekt ist die Richtungsabhängigkeit von magnetischen Feldern. Für das Primärfeld vom Regal wie auch für das Sekundärfeld des Lokalisierungsobjektes gilt, dass sich die magnetischen Felder als in sich geschlossene Feldlinien durch das Zentrum der erzeugenden Spule ausbilden. Dadurch bekommen die Felder eine rechtwinklige Vorzugsrichtung, aus der von der erzeugenden Spulenebene heraus. Die Richtungen parallel zur Spulenebene weisen dagegen Nullstellen des magnetischen Feldes auf, alle Winkel dazwischen reduzieren entsprechend die Amplitude der beobachtbaren Feldstärke. Daraus folgt ein Lokalisierungsobjekt mit nur einer Sekundärspule auch vorzugsweise nur in einer Orientierung vor dem Regal optimal lokalisiert werden kann. Dies ist der Fall wenn Sekundärspulenebene und Primärspulenebene zueinander parallel sind.

Für die Realisierung als Wearable würde dies bedeuten, dass nur eine bestimmte Haltung mit dem Wearable zu gültigen Lokalisierungsergebnissen führt, was als Lösung für das ValidKomm-System nicht akzeptabel ist.

In der Vergangenheit wurde diese Problematik durch die Verwendung sogenannter 3D Spulen auf den Lokalisierungsobjekten umgangen.

5.2.3.2 Aktives Wearable

Neben der rein passiven Lösung ohne eigene Energiequelle sollte innerhalb des Forschungsprojektes auch eine aktive Wearable Lösung mit zusätzlicher Funktionalität untersucht werden. Diese Wearable-Lösung bedient sich der gleichen Ortungstechnologie, basierend auf der Lokalisierung von durch Spulen erzeugter Sekundärfelder. Damit ist auch dieses Wearable mit dem bisherigen ValidKomm-Systemkonzept kompatibel. Für die aktive Lösung kommen jedoch aktive Komponenten wie zum Beispiel ein Mikrokontroller, eine Anzeige, LEDs und Tasten mit hinzu, die über eine zusätzliche Funkschnittstelle mit dem ValidKomm-System kommunizieren.

Dadurch ist es möglich, dass der Nutzer mit dem Wearable interagiert. Es können Meldungen zu Kommissioniermengen, Entnahmeort und Fehlhandlungen auf dem Display angezeigt werden oder zusätzlich optisch durch LED Blinken bzw. haptisch durch einen Vibrationsalarm, zum Beispiel bei einem falschen Eingriff, angezeigt werden. Dazu ist das Wearable über eine Bluetoothverbindung mit der ValidKomm-Basisstation oder einem anderen, übergeordneten System verbunden.

6 Anpassung der induktiven Nahfeldortung an das Lagerumfeld

6.1 Umsetzung der Hardware-Komponenten

6.1.1 ValidKomm Basisstation

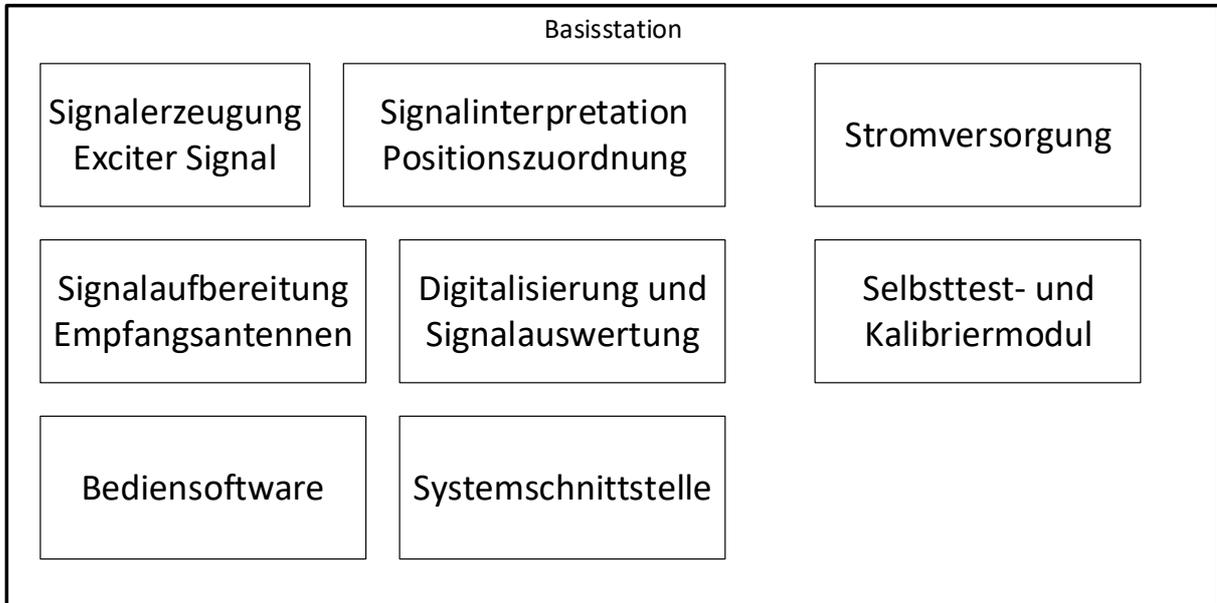


Abbildung 19: Blockschaltbild Basisstation

Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten der Basisstation aus Abbildung 19 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Abbildung 18 beschrieben.

Die Basisstation beinhaltet ein eigenes Modul zur Spannungsaufbereitung, das aus der Netzspannung die vom System benötigten Niederspannungen zur Verfügung stellt. Auch eine Kombination mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung ist möglich.

Ein Modul der Basisstation erzeugt die elektrischen Signale, die über die sogenannte Primärantenne am Regal gesendet werden und so das benötigte schwache magnetische Wechselfeld generieren. Das erzeugte Signal wird in Frequenz und Amplitude geregelt und kann entsprechend der Regalgeometrie und Größe verändert werden, um zum Beispiel den Energieverbrauch zu senken oder eine höhere Reichweite zu ermöglichen.

Die Module „Signalaufbereitung Empfangsantennen“ und „Digitalisierung sowie Signalauswertung“ konvertieren die an den Empfangsantennen aufgenommenen analogen Signale in Offset-bereinigte, gefilterte und verstärkte digitale Signale. Mittels des Moduls „Signalinterpretation und Positionszuordnung“ werden die digitalen Signale der einzelnen Empfangsantennen kombiniert und anhand einer Lookup-Table einer Position im Regalbereich zugeordnet. Unabhängig davon erfolgt zusätzlich über eine Auswertung der Quadratur-Komponenten der Empfangssignale die Bestimmung der Bewegungsrichtung (in die Regalebene hinein oder hinaus) eines erfassten Objektes.

Über das Modul „Selbsttest- und Kalibriermodul“ führt das ValidKomm System unmittelbar nach Aktivierung in regelmäßigen Abständen Offsetkalibrierungen aus. Offsets in den empfangenen Signalen können zum Beispiel durch Temperaturschwankungen oder durch das hinzufügen oder entfernen von metallischen Kommissionierobjekten. Die Schwierigkeit liegt dabei nicht an der Offsetkalibrierung selbst, sondern an der Tatsache, dass während der Offsetkalibrierung kein zu detektierendes Armband in unmittelbarer Nähe des Systems sein darf. Andernfalls wird das zu detektierende Armband herauskalibriert. Zur Lösung des Problems analysiert das System die Signalvarianzen der letzten Sekunden und kann somit

entscheiden ob ein zu detektierendes Armband sich in der Nähe befindet. Die Offsetkalibrierung nimmt dabei wenige Millisekunden in Anspruch.

Um die Basisstation selbst und das Modul „Systemschnittstelle“ entsprechend zu konfigurieren, verfügt die Basisstation über eine Bediensoftware auf einem dedizierten PC. Dieser regelt im Normalbetrieb die Kommunikation zwischen den Modulen der Basisstation untereinander und den über die Systemschnittstelle angebenen externen übergeordneten Systemen. Zusätzlich bietet die Bediensoftware eine Vielzahl von Debug-Möglichkeiten für die Entwickler. Unter anderem lassen sich die Empfangskanäle mit Hilfe von einem internen Signal automatisch überprüfen.

Die entwickelte Systemschnittstelle des ValidKomm-Systems soll zum Datenaustausch mit externen, übergeordneten Systemen dienen. Die frei konfigurierbare Schnittstelle stellt die Ergebnisse des Moduls „Digitalisierung und Signalauswertung“ als UDP Pakete an einem frei wählbaren Port zur Verfügung. Eine Weitergabe der Daten über USB, RS232 oder eine Drahtlosschnittstelle ist ebenfalls möglich.

6.1.2 Primär- und Empfangsantennen

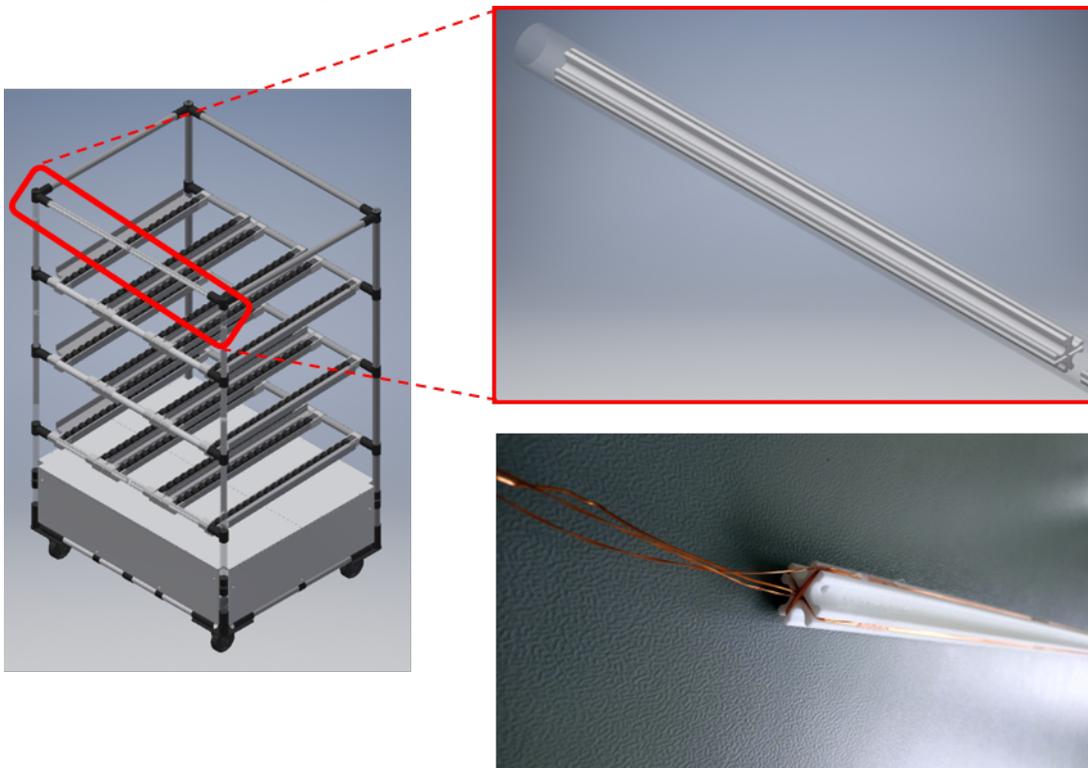


Abbildung 20 Detailansicht Empfangsantennen

Die Anzahl der Empfangsantennen wurde für die Implementierung des ValidKomm-Systems, wie in Abbildung 18 gezeigt, mit Acht Empfangsantennen gewählt. Abbildung 20 zeigt dazu eine Detailansicht der Spulenkörper mit den gewickelten Spulenpaar. Dies ermöglicht eine Erfassung von jeweils zwei Raumkomponenten des magnetischen Sekundärfeldes an jeder der acht Positionen der Empfangsantennen. Das System an sich kann ab zwei Empfangsantennen bereits schon Positionsdaten liefern, jedoch wird mit steigender Anzahl der Empfangsantennen und deren Verteilung um die Primärebene die Positionsgenauigkeit höher. Hierzu wurden für die gewählten Aufbauten der Feldtests bei BSH und Audi Simulationen zur optimalen Position und Anzahl der Empfangsantennen durchgeführt. Im Zuge der Fehleranalyse dieser Feldtest wurden die Positionen der Empfangsantennen erfolgreich optimiert.

Neben den Aspekten hinsichtlich der Systemgenauigkeit mussten für die Empfangsantennen, ähnlich wie für die Primäranterie, Lösungen zur Integration der Antennen in die Regalkonstruktion und zur Signalführung der Empfangssignale hin zu den entsprechenden Modulen der Basisstation gefunden werden.

6.1.3 Lokalisierungsobjekt „Wearable“



Abbildung 21 3D Sekundärspule

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt eine 3D Sekundärspule aus 3 zueinander, orthogonal angeordneten Einzelspulen mit jeweils 5,5 cm Durchmesser. Diese 3 Spulen prägen jeweils ein eigenes Sekundärfeld durch Anregung des Primärmagnetfeld aus, jedoch resultiert durch die geometrische Anordnung ein daraus vektoriell kombiniertes Gesamtfeld mit einer eingprägten Richtung die dem anregendem Primärfeld immer entgegengerichtet ist. Somit spielt die Orientierung der 3D Sekundärspule im Raum keine Rolle, wodurch die Lokalisierung deutlich einfacher wird.

Die Integration dieser 3D Spulen in ein Wearable schien jedoch im ersten Schritt nicht sinnvoll, da sich die Konstruktion nicht ohne weiteres beliebig verkleinern ließ, ohne beträchtlich an Signalqualität einzubüßen, wie schon im oberen Abschnitt erläutert. Ein naheliegender Lösungsansatz war die zusätzliche Verwendung von Ferritmaterialien. Diese haben die Eigenschaft magnetische Felder zu bündeln und zu führen und dienen im Allgemeinen dazu höhere Induktivitäten bei kleineren Bauformen zu ermöglichen. Dazu werden die Windungen einer herkömmlichen Spule um Ferritmaterial gewickelt, wodurch der verstärkende Effekt optimal ausgenutzt wird. Im Falle der Sekundärspule entstand so eine etwa stiftdicke zylinderförmige Spule, die für die ersten Feldtest an ein Armband angebracht wurde.

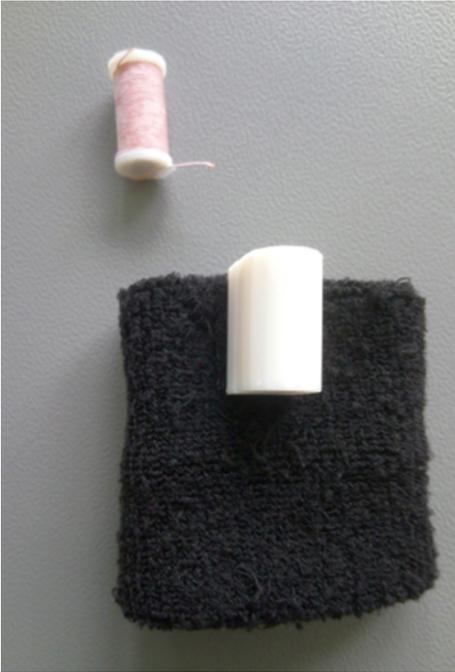


Abbildung 22 Armband mit Zylinderspule

Mit diesem Aufbau (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) wurden in ersten Labortest gute Ergebnisse erzielt, bei dem anschließenden Feldtest bei BSH zeigte sich jedoch stark die physikalisch gegebene Richtungs- bzw. Winkelabhängigkeit durch die Verwendung einer einzigen Spule.

Als Konsequenz wurde an der weiteren Verkleinerung der 3D Spulenlösung gearbeitet. Eine erste kleinere Version wurde bei dem Feldtest bei Audi verwendet.



Abbildung 23 Wearableprototyp mit 3D Spule

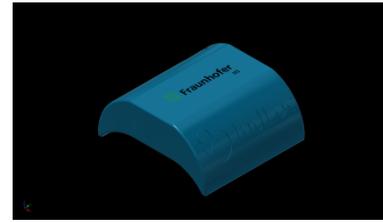
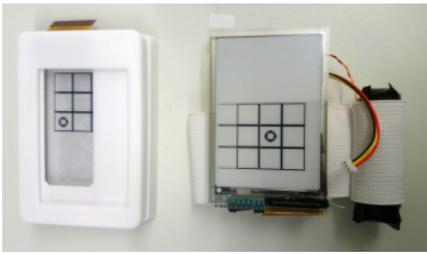


Abbildung 24 Prototyp aktives Wearable und Gehäusekonstruktion

Das als Prototyp entstandene aktive Wearable konnte nicht in den durchgeführten Feldtest erprobt werden, wurden jedoch in internen Laborversuchen am Fraunhofer IIS eingesetzt. Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt einen ersten Prototyp des aktiven Wearables mit Display, wie der Prototyp für Tests verwendet wurde. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist als Funktions- und Komponentenüberblick das Blockschaltbild des aktiven Wearables dargestellt. Die entwickelte Platine ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** abgebildet.

Die zusätzlichen Funktionalitäten sind unabhängig vom eigentlichen ValidKomm-Lokalisierungssystem und wurden daher separat getestet.

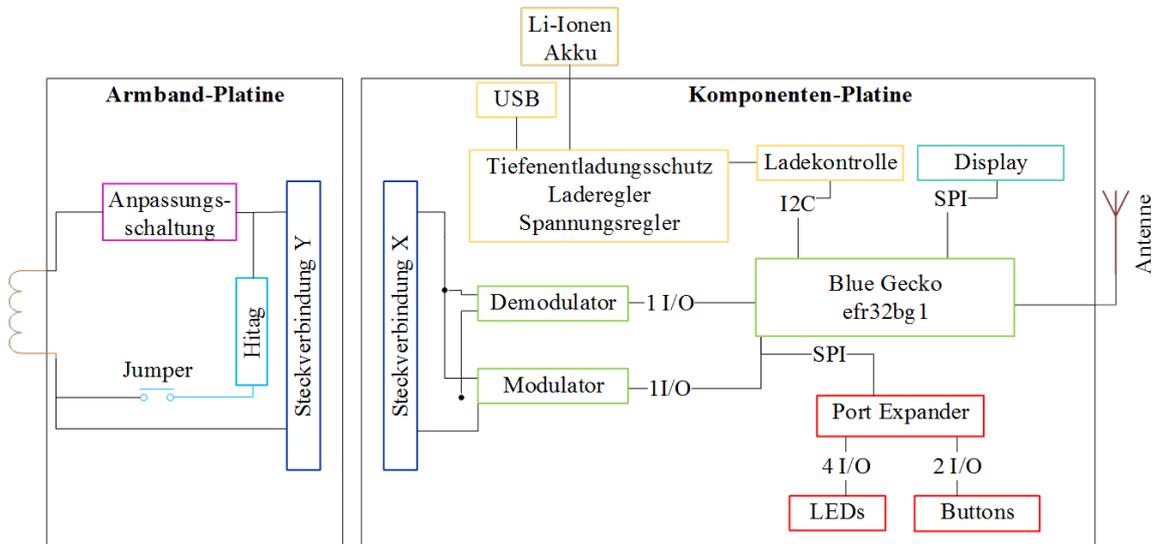


Abbildung 25 Blockschaltbild Aktives Wearable

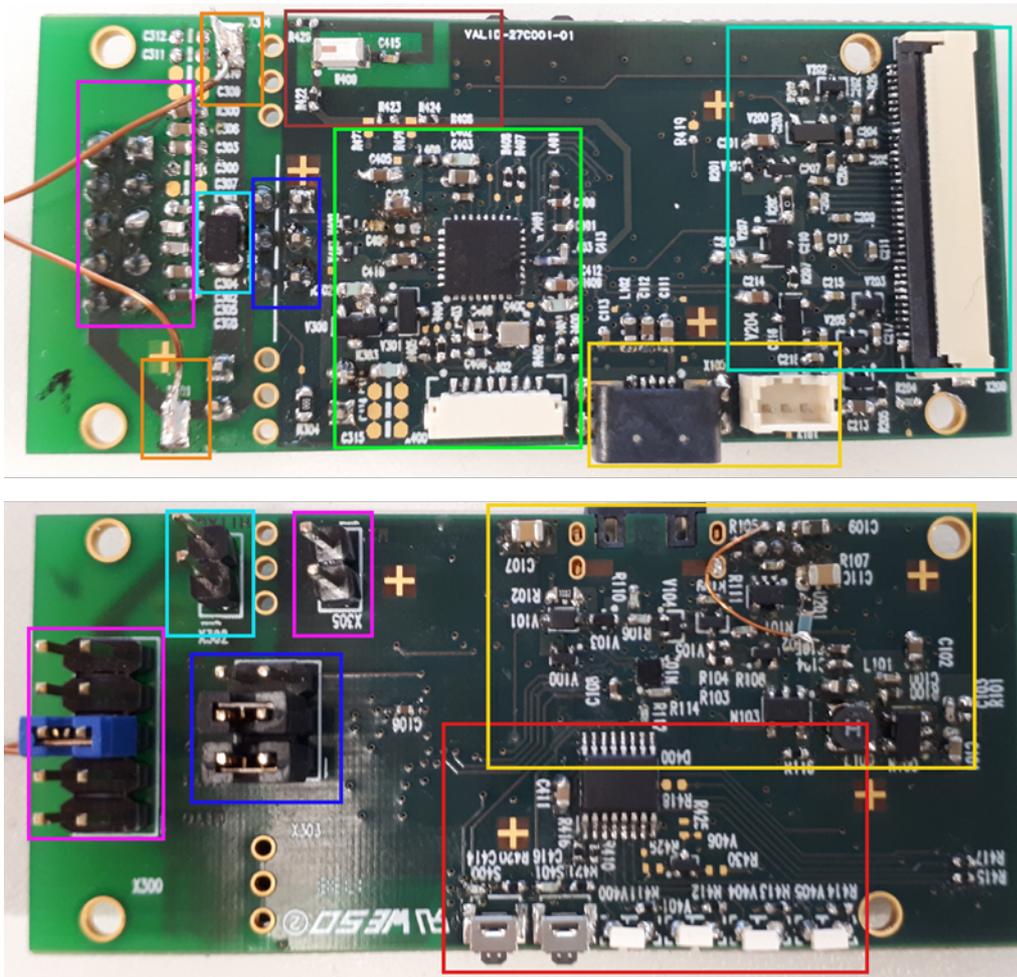


Abbildung 26 Entwickelte Platinen für aktives Wearable

6.2 Durchgeführte Systemtests

Nachdem die Technologie der induktiven Nahfeldortung in ein Kommissionierregal integriert wurde, gilt es nun das entwickelte System ersten Leistungstests zu unterziehen sowie zu optimieren.

Zunächst sollen dazu die Leistungsgrenzen des Systems bezüglich Funktionstüchtigkeit, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse untersucht werden. Diese Faktoren sind später essenziell für einen zuverlässigen Betrieb des Systems. Dabei müssen verschiedene Eingriffsvariationen geprüft werden, denn in der Praxis greift jeder Kommissionierer unterschiedlich in Entnahmeorte ein. Zusätzlich soll der Einfluss möglicher Störobjekte (z. B. metallische Objekte) auf die Zuverlässigkeit des Systems bewertet werden, um wenn nötig Gegenmaßnahmen entwickeln zu können.

Es werden insgesamt zwei Systemtests in einer Laborumgebung durchgeführt. Zwischen den beiden Tests wird ein zeitlicher Abstand von mehreren Wochen vorgesehen, da genügend Zeit für etwaige Verbesserungen bestehen soll.

Nachfolgend werden die Vorbereitung, die Durchführung sowie die Ergebnisse der beiden Tests erläutert. Da der zweite Systemtest einer Wiederholung des ersten Tests entspricht, wird der Testablauf nur einmal beschrieben und bei Bedarf auf mögliche Abweichungen hingewiesen.

6.2.1 Versuchsplan

Zur Überprüfung der übergeordneten Ziele Funktionstüchtigkeit, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit unter dem Einfluss verschiedener Eingriffsvariationen müssen zahlreiche unterschiedliche Tests durchgeführt werden. Für die Reproduzierbarkeit gilt es Versuche mehrmals zu wiederholen, um so Änderungen der Ergebnisse erkennen zu können. Bei der Funktionstüchtigkeit soll die Erkennung sowie die Nicht-Erkennung von Eingriffen in gewissen Bereichen des Regals und bei der Genauigkeit sollen die über die Software eingestellten Grenzen der Entnahmeorte untersucht werden. Bei all diesen Faktoren sind mögliche zusätzliche Einflüsse wie die Eingriffstiefe, die Eingriffsgeschwindigkeit und der Eingriffswinkel zu beachten.

Wie in 5.2.3 und 6.1.3 beschrieben, wird als Eingriffsspule am Kommissionierarmband eine einzelne gerichtete Spule, deren Spulenachse parallel zum Unterarm des Kommissionierers positioniert wird, verwendet. Bei unterschiedlichen Eingriffen bzw. Handhabungen des Kommissionierers kann diese Spule somit in unterschiedlichen Orientierungen vor oder hinter der Eingriffsebene oder neben dem Eingriffsfenster in unterschiedlichen Richtungen bewegt werden (siehe Abbildung 27). Da das System in allen Fällen zuverlässig arbeiten soll, müssen diese Variationen genau untersucht werden.

Folgende Variationen werden definiert:

- 3 Bereiche (vgl. Abbildung 27 links)
 - vor der Eingriffsebene
 - hinter der Eingriffsebene
 - neben dem Eingriffsfenster
- 6 Spulenorientierungen (vgl. Abbildung 27 links)
 - Spulenachse senkrecht zur Eingriffsebene
 - Spulenachse parallel zur Eingriffsebene und vertikal/horizontal
 - Spulenachse unter einem Winkel zur Eingriffsebene
- 5 Bewegungsrichtungen (vgl. Abbildung 27 rechts)
 - senkrecht zur Eingriffsebene
 - parallel zur Eingriffsebene und vertikal/horizontal
 - unter einem vertikalen/horizontalen Winkel zur Eingriffsebene
- 2 Bewegungsgeschwindigkeiten
 - Eingriffszeit 3-5 Sekunden (langsamer Eingriff)
 - Eingriffszeit 0,3 Sekunden (schneller Eingriff)

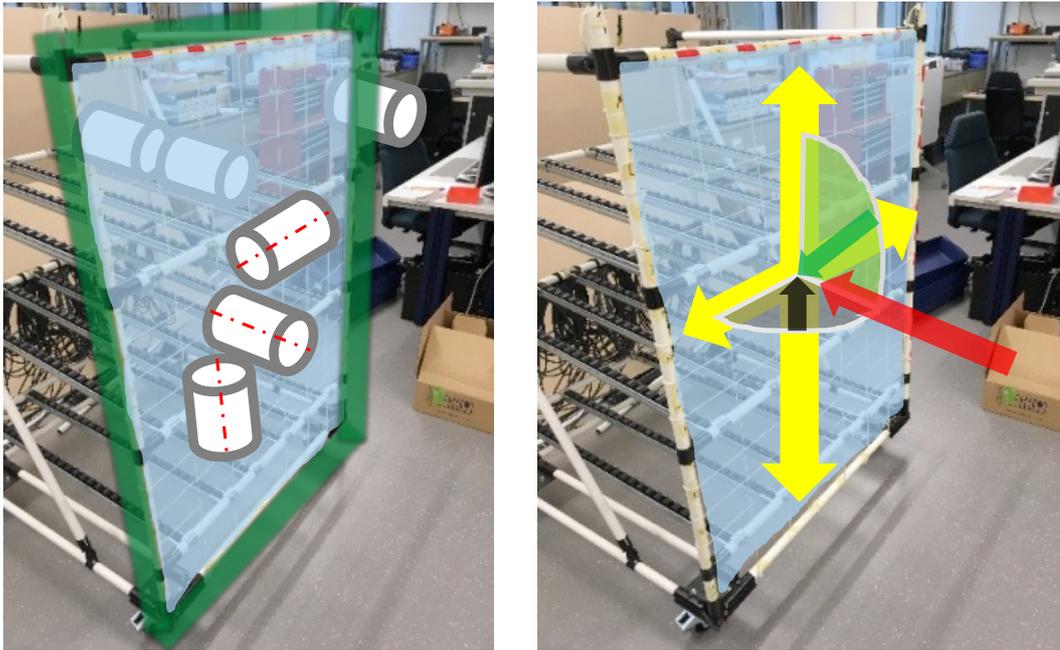


Abbildung 27: Mögliche Positionen, Orientierungen und Bewegungen der Eingriffsspule; Hellblau: Eingriffsfenster, Grün: Bereich neben Eingriffsfenster, Zylinder: Eingriffsspule, Pfeile: Bewegungsrichtungen

Folgender Versuchsplan wird durch eine teilfaktorielle Kombination der Variationen erstellt:

Funktionstüchtigkeit

1. Bereich 0-20cm neben Eingriffsfenster und 20cm vor bis 20cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff
2. Bereich 0-30cm vor Ebene, Spulenorientierung senkrecht/parallel, Bewegung senkrecht/parallel, langsamer Eingriff
3. Bereich 30cm vor bis 5cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht/parallel, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff
4. Bereich 30cm vor bis 20cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht/parallel, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff
5. Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung 45° zu Eingriffsebene, Bewegung 45° horizontal, langsamer Eingriff
6. Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung 45° zu Eingriffsebene, Bewegung 45° vertikal, langsamer Eingriff
7. Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung 45° zu Eingriffsebene, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff
8. Bereich 30cm vor bis 5cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, schnellstmöglicher Eingriff
9. Bereich 30cm vor bis 20cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, schnellstmöglicher Eingriff

Genauigkeit:

10. Überprüfung hinterlegter Grenzen der Entnahmeorte: Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

Mögliche Störeinflüsse

11. verschiedene Lagergüter (einzeln): praxisnahe Eingriffe, Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene

12. Metallische Lagergüter (volles Regal): praxisnahe Eingriffe, Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene
13. Metallische Lagergüter (volles Regal) und metallische Gegenstände an der Hand des Kommissionierers: praxisnahe Eingriffe, Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene
14. Metallische Lagergüter (volles Regal), metallische Gegenstände an der Hand des Kommissionierers und metallische Gegenstände im Umfeld des Regals: praxisnahe Eingriffe, Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene

Zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit werden alle Versuche jeweils drei Mal wiederholt.

6.2.2 Versuchsaufbau

Für die Überprüfung der Funktionstüchtigkeit sowie der Genauigkeit wurde das Eingriffsfenster über Schnüre feiner unterteilt (siehe Abbildung 28) und die einzelnen Felder wurden mit Buchstaben und Zahlen gekennzeichnet. Die gelben Punkte in den Abbildungen zeigen die Positionen der Antennen. Diese sind zwischen dem ersten (links) und zweiten (rechts) Systemtest leicht unterschiedlich, da die Basisstation des ValidKomm-Systems nach dem ersten Test in das Regal integriert wurde und daher die Höhen der Entnahmeorte und damit die Antennenpositionen geändert werden mussten. Bei der Untersuchung von möglichen Störeinflüssen wurde ohne Schnüre gearbeitet, da hier praxisnahe Eingriffe simuliert wurden.

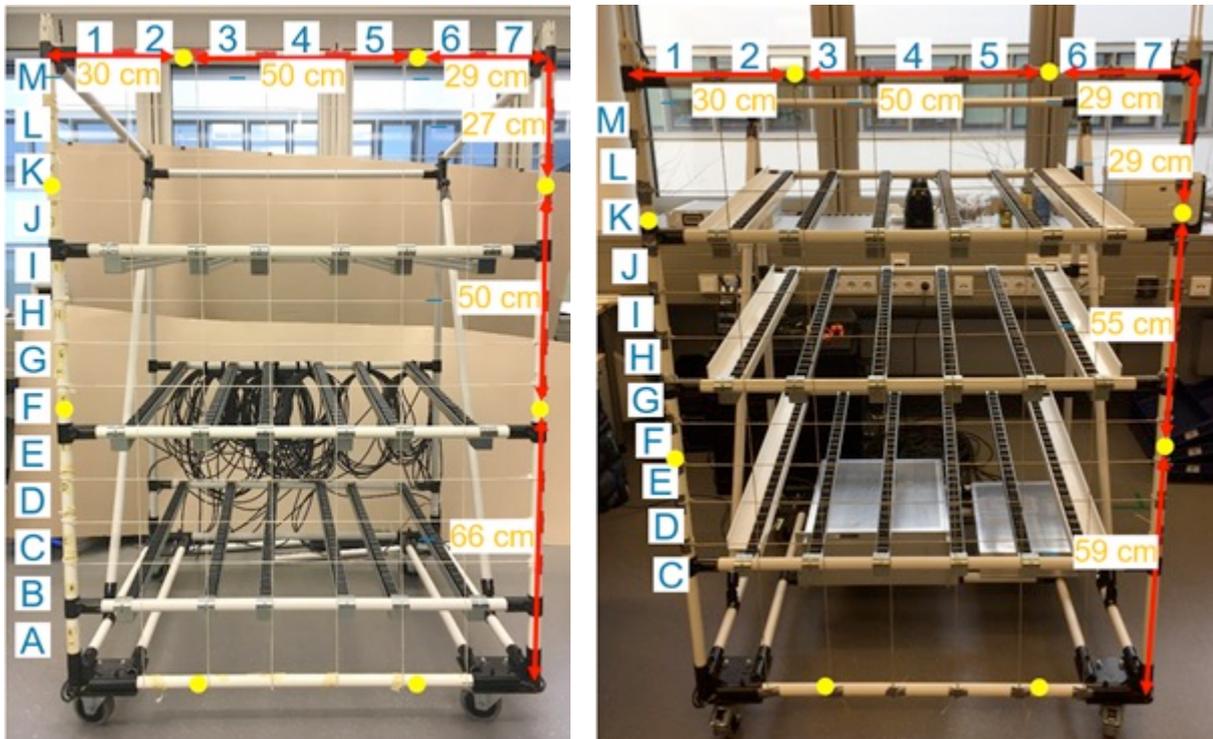


Abbildung 28: Unterteilung des Eingriffsfensters in mehrere Felder; erster Systemtest links, zweiter Systemtest rechts

Zur reproduzierbaren und genauen Ausführung der Bewegungen für die Funktionstüchtigkeits-Tests wurde eine selbst gebaute Holzvorrichtung (siehe Abbildung 29), welche vollständig ohne metallische Hilfsmittel hergestellt wurde, verwendet. Die Eingriffsspule wurde über eine Klettverschlussverbindung an dieser Vorrichtung befestigt. Der in der Vorrichtung gelagerte Holzstab konnte in seiner Achsenrichtung frei verschoben werden, wodurch eine geradlinige Bewegung erzeugt werden konnte. Über Markierungen an der Vorrichtung ließen sich zudem die festgelegten Bewegungslängen aufwandsarm realisieren.

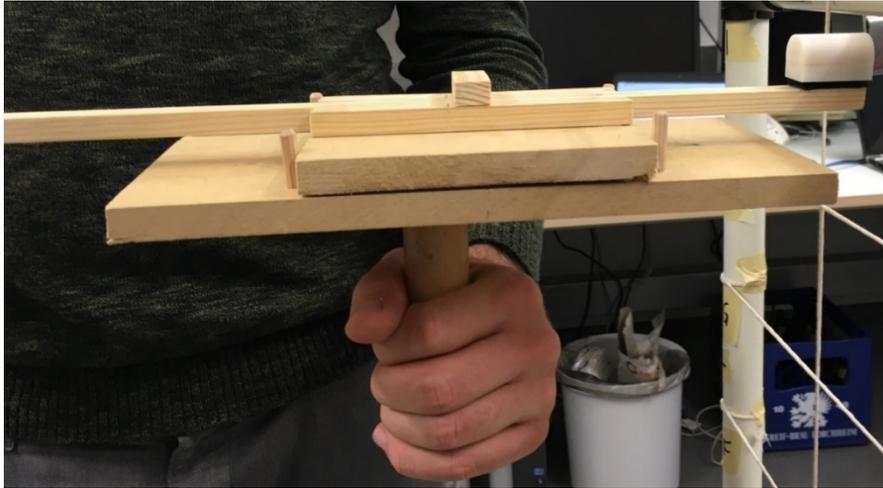


Abbildung 29: Holzvorrichtung zur Bewegung der Eingriffsspule

6.2.3 Versuchsdurchführung

An beiden Testtagen wurde das System morgens eine Stunde vor Beginn hochgefahren, um mögliche Änderungen des Systemverhaltens durch Erwärmung der Hardwarekomponenten zu vermeiden. Anschließend wurden die Versuche vorbereitet und Schritt für Schritt abgearbeitet.

Abbildung 30, Abbildung 31 und Abbildung 32 zeigen Impressionen der durchgeführten Tests bezüglich Funktionstüchtigkeit. Die im Versuchsplan festgelegten Tests wurden durch unterschiedliche Positionierung der Holzvorrichtung (in Mitte der Felder), Bewegung des gelagerten Holzstabes und Befestigung der Eingriffsspule am Holzstab erreicht. Während der Tests war darauf zu achten an welchen Stellen Ein- oder Ausgriffe erkannt werden und wo nicht.

Die Überprüfung der eingestellten Grenzen der Entnahmeorte wurde ebenfalls mit der Holzvorrichtung durchgeführt. Hier wurde die Eingriffsspule senkrecht zur Eingriffsebene und im Abstand von 30cm vor und 10cm hinter der Ebene im Bereich der Soll-Position der Grenzen bewegt und die vom System erkannten Positionen wurden ausgelesen. Auf diese Weise konnten Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Grenzen erkannt werden.

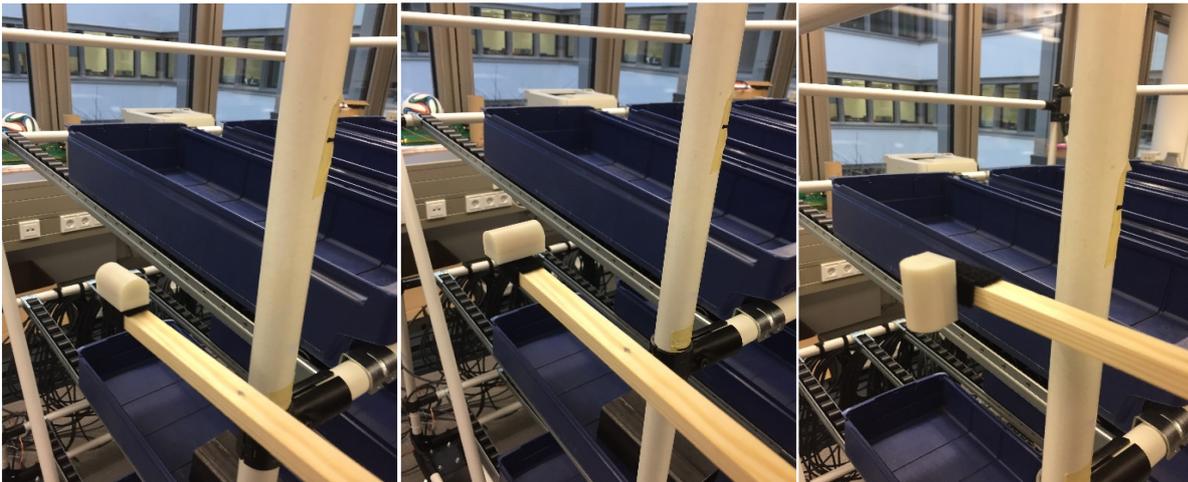


Abbildung 30: Test der Funktionstüchtigkeit bei Eingriffen neben dem Eingriffsfenster

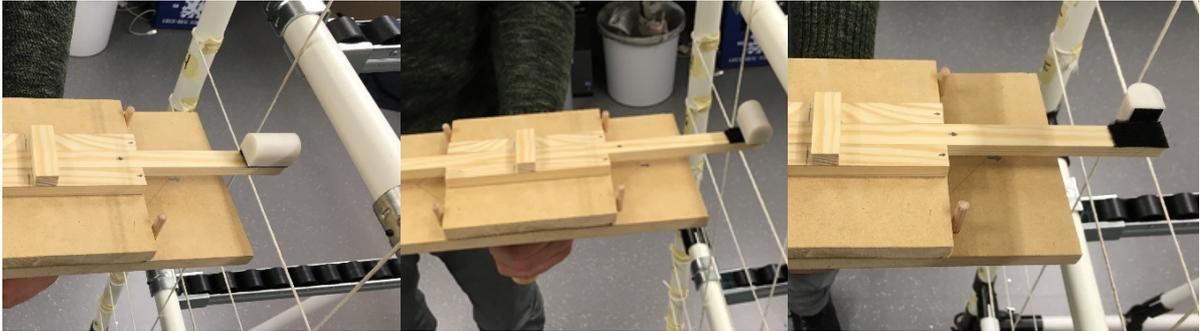


Abbildung 31: Test der Funktionstüchtigkeit bei Eingriffen bis vor und bis hinter der Eingriffsebene

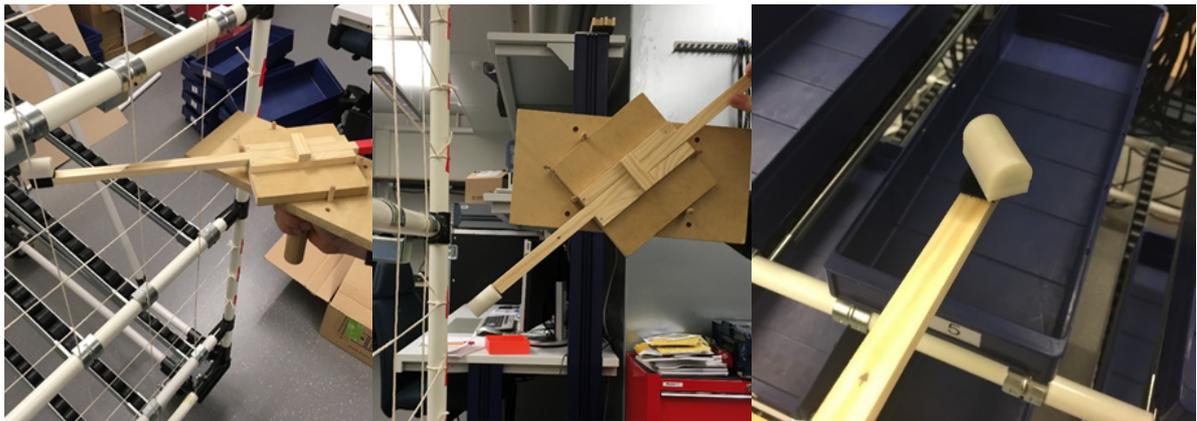


Abbildung 32: Test der Funktionstüchtigkeit bei schrägen Eingriffen

Für die Untersuchung möglicher Störeinflüsse wurden zunächst verschiedene Lagergüter (siehe Abbildung 33) in unterschiedlichen Größen einzeln in die neun Entnahmeorte gelegt (nahe zur Eingriffsebene), anschließend praxisnah entnommen und die vom System erkannten Ein-/Ausgriffe wurden analysiert. Als nächstes wurden alle neun Entnahmeorte mit metallischen Lagergütern befüllt und deren Störeinfluss bei der Entnahme eines großen Stahlteils beobachtet (siehe Abbildung 34). Bei den letzten zwei Tests wurde zusätzlich zu den metallischen Lagergütern einmal mit metallischen Gegenständen am Arm des Kommissionierers (Armbanduhr, Kette) sowie einmal mit metallischen Gegenständen am Arm des Kommissionierers und im Umfeld des Regals (Werkzeugkasten) gearbeitet (vgl. Abbildung 34).

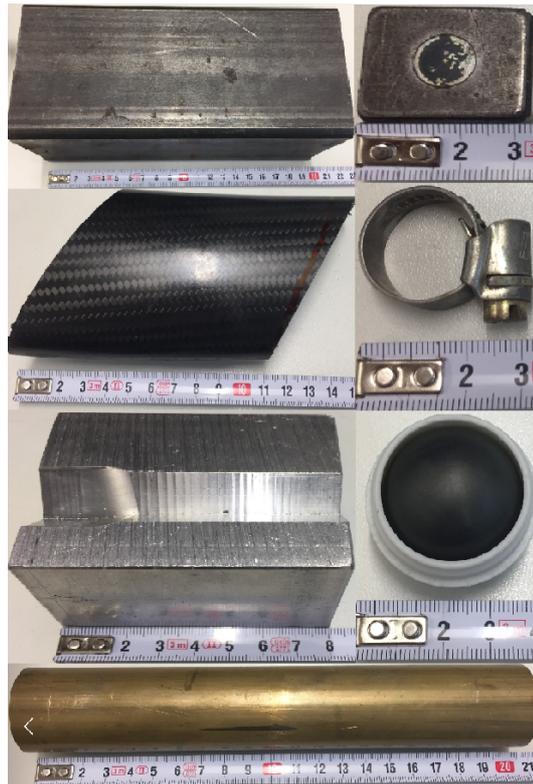


Abbildung 33: Test möglicher Störeinflüsse, verwendete Materialien von links nach rechts und von oben nach unten: Stahlteil groß, Magnet, faserverstärkter Kunststoff, kleines Stahlteil, Aluminiumblock, Ferritkugel, Messingrohr



Abbildung 34: Entnahme eines großen Stahlteils bei mit Schrauben befülltem Regal (oben links), zusätzlich mit metallischer Armbanduhr (oben rechts), zusätzlich mit Werkzeugkasten vor dem Regal (unten links und rechts)

6.2.4 Versuchsergebnisse

Nachdem die Durchführung der Versuche beschrieben wurde, werden nun die Ergebnisse der einzelnen Tests vorgestellt und diskutiert. In den folgenden Darstellungen werden die Versuchsergebnisse des ersten und zweiten Tests dabei nebeneinander dargestellt (1. Test links, zweiter Test rechts), damit die Verbesserung des Systems zwischen den beiden Tests sichtbar wird. Die Spalten 1 bis 7 sowie die Zeilen A bzw. C bis M kennzeichnen die in Abbildung 28 bereits gezeigten Felder. Wird ein Eingriff vom System erkannt, so wird dies am entsprechenden Ort (Feld oder Bereich um das Regal) mit dem Buchstaben „E“ angegeben, bei einem Ausgriff mit „A“ sowie bei Ein- und Ausgriff mit „E/A“. Zusätzlich werden die Felder und die Bereiche um das Regal mit den Farben Rot und Grün markiert. Grün steht für eine richtige Funktionsweise des Systems und Rot für eine falsche. Wird beispielsweise außerhalb des Regals kein Eingriff und/oder Ausgriff erkannt, so ist dies richtig und der Bereich wird grün markiert. Wird bei einem normalen Eingriff durch die Eingriffsebene nur ein Eingriff ohne Ausgriff vom System erfasst, dann war die Erkennung fehlerhaft und das entsprechende Feld wird rot markiert. Die Positionen der acht Antennen werden in den nachfolgenden Darstellungen ebenfalls wie in Abbildung 28 mit gelben Kreisen verdeutlicht. Die dicken Linien stellen den Regalrahmen bzw. das Eingriffsfenster dar.

Aufgrund der großen Anzahl an durchgeführten Versuchen, werden nur ausgewählte Ergebnisse dargestellt. Alle weiteren Versuchsergebnisse sind im Anhang C zu finden. Die angegebenen Versuchsnummern und -bezeichnungen beziehen sich auf die in Kapitel 6.2.1 aufgelisteten Versuche.

Funktionsstüchtigkeit

1. Bereich 0-20cm neben Eingriffsfenster und 20cm vor bis 20cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht/parallel, langsamer Eingriff

Abbildung 35 zeigt, dass bei senkrechter Spulenorientierung sowie senkrechter Bewegung außerhalb des Eingriffsfensters richtigerweise keine Ein- oder Ausgriffe erkannt werden. Wird jedoch eine parallele Spulenorientierung zur Eingriffsebene gewählt, so wurden beim ersten Test Ein- und Ausgriffe falsch erkannt. Abbildung 36 veranschaulicht die Ergebnisse für die Spulenorientierung parallel und horizontal. Auffällig war, dass die Bereiche mit falschen Erkennungen bei paralleler und horizontaler Spule oben sowie unten und bei paralleler und vertikaler Spule an den Seiten zu finden waren. Dieses Systemverhalten konnte beim zweiten Test nicht mehr festgestellt werden.

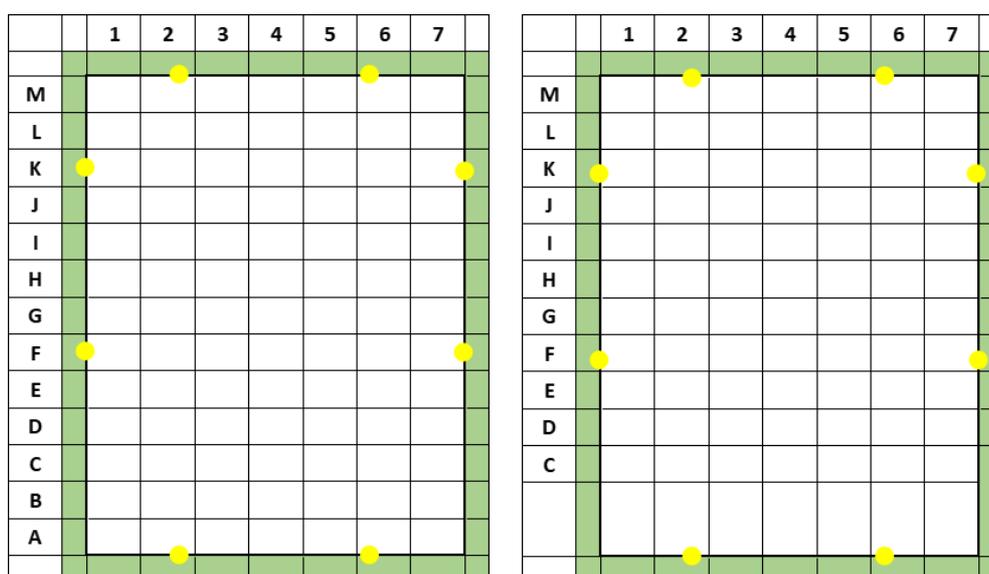


Abbildung 35: Bereich 0-20cm neben Eingriffsfenster und 20cm vor bis 20 cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

6 Anpassung der induktiven Nahfeldortung an das Lagerumfeld

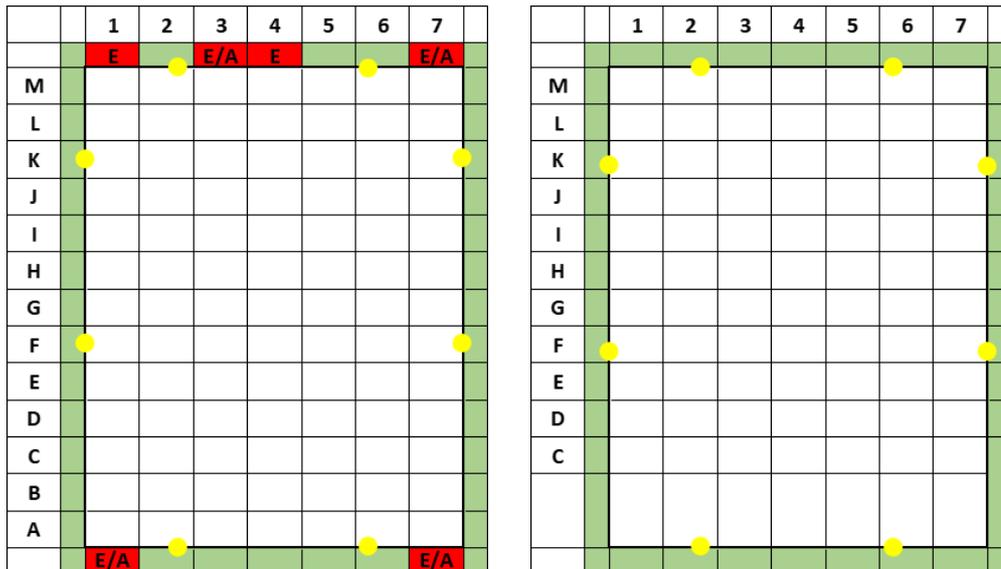


Abbildung 36: Bereich 0-20cm neben Eingriffsfenster und 20cm vor bis 20 cm hinter Ebene, Spulenorientierung parallel horizontal, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

2. Bereich 0-30cm vor Ebene, Spulenorientierung senkrecht/parallel, Bewegung senkrecht/parallel, langsamer Eingriff

Bei den Versuchen vor der Eingriffsebene konnten mit senkrechter Spulenorientierung sowie Bewegung falsche Erkennungen in der Mitte der Ebene beobachtet werden (vgl. Abbildung 37). Wird die Spule parallel und horizontal oder parallel und vertikal zur Ebene angebracht und senkrecht oder parallel zur Ebene bewegt, so ergaben sich falsche Erkennungen an den Seiten sowie an der Ober- und Unterseite des Eingriffsfensters (vgl. beispielhaft Abbildung 38). Dieses Fehlverhalten des Systems reduzierte sich zwar vom ersten auf den zweiten Test, konnte aber nicht gänzlich abgestellt werden.

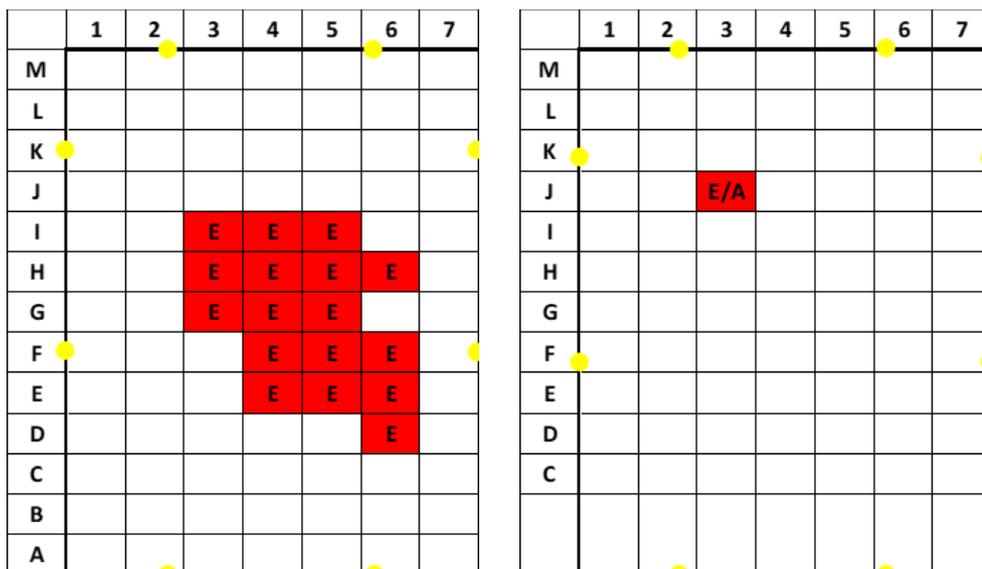


Abbildung 37: Bereich 0-30cm vor Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

	1	2	3	4	5	6	7
M		A	E/A		E/A	A	
L	E/A						E/A
K	E/A	A				A	E/A
J	E/A	A				A	E/A
I	E/A						E/A
H	E/A						E/A
G	E/A						E/A
F	E/A	A				A	E/A
E	E/A	A				A	E/A
D	E/A	A				A	E/A
C							
B							
A							

	1	2	3	4	5	6	7
M							
L							
K							
J							
I							
H	E/A						
G							E/A
F							
E							
D							
C							
B							
A							

Abbildung 38: Bereich 0-30cm vor Ebene, Spulenorientierung parallel horizontal, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

3. Bereich 30cm vor bis 5cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht/parallel, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

Wird die Spule nun durch die Eingriffsebene hindurchbewegt, so sollte bei richtiger Funktionsweise des Systems sowohl ein Ein- als auch ein Ausgriff erkannt werden. Bei Spulenorientierung und Bewegung senkrecht zur Ebene kann dies, wie Abbildung 39 zeigt, festgestellt werden. Wird die Spule parallel und horizontal oder parallel und vertikal angebracht, so werden Ein- und Ausgriffe nur noch an den Rändern des Eingriffsfensters erkannt (vgl. Abbildung 40). Große Teile des Eingriffsfensters können so nicht mehr lückenlos überwacht werden. Die Anzahl an richtig erkannten Feldern sank hier vom ersten auf den zweiten Test. Das Systemverhalten wurde somit schlechter.

	1	2	3	4	5	6	7
M	E/A						
L	E/A						
K	E/A						
J	E/A						
I	E/A						
H	E/A						
G	E/A						
F	E/A						
E	E/A						
D	E/A						
C	E/A						
B	E/A						
A	E/A						

	1	2	3	4	5	6	7
M	E/A						
L	E/A						
K	E/A						
J	E/A						
I	E/A						
H	E/A						
G	E/A						
F	E/A						
E	E/A						
D	E/A						
C	E/A						
B							
A							

Abbildung 39: Bereich 30cm vor bis 5cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

	1	2	3	4	5	6	7
M		E/A	E/A		E/A	E/A	
L		E/A					E/A
K	E/A	E/A				A	E/A
J		E/A				A	E/A
I		E/A				A	E/A
H		E/A				A	E/A
G		E/A				A	E/A
F	E/A	E/A				A	E/A
E		E/A				A	E/A
D		A				A	E/A
C							E/A
B							
A							

	1	2	3	4	5	6	7
M							
L	E/A						
K	E/A						
J	E/A						E/A
I	E/A						E/A
H							E/A
G	E/A						E/A
F	E/A						E/A
E	E/A						E/A
D	E/A						E/A
C							
B							
A							

Abbildung 40: Bereich 30cm vor bis 5cm hinter Ebene, Spulenorientierung parallel horizontal, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

5. Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung 45° zu Eingriffsebene, Bewegung 45° horizontal, langsamer Eingriff

Da Eingriffe mit einer Spulenorientierung parallel zur Eingriffsebene in der Praxis nur schwer möglich sind (Unterarm parallel zu Eingriffsebene orientiert), sind besonders schräge Eingriffe interessant. Abbildung 41 zeigt, dass auch unter horizontalem Winkel in allen Feldern Ein- und Ausgriffe richtig detektiert wurden.

	1	2	3	4	5	6	7
M	E/A						
L	E/A						
K	E/A						
J	E/A						
I	E/A						
H	E/A						
G	E/A						
F	E/A						
E	E/A						
D	E/A						
C	E/A						
B	E/A						
A	E/A						

	1	2	3	4	5	6	7
M	E/A						
L	E/A						
K	E/A						
J	E/A						
I	E/A						
H	E/A						
G	E/A						
F	E/A						
E	E/A						
D	E/A						
C	E/A						
B							
A							

Abbildung 41: Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung 45° zur Eingriffsebene, Bewegung 45° horizontal, langsamer Eingriff

6. Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung 45° zu Eingriffsebene, Bewegung 45° vertikal, langsamer Eingriff

Bei einer vertikalen Eingriffsbewegung erkennt das System nahezu alle Ein- und Ausgriffe in allen Feldern. Nur im mittleren unteren Bereich gibt es Felder mit keiner

Erkennung (siehe Abbildung 42). Dieses Problem konnte auch durch die Überarbeitung des Systems nicht beseitigt werden.

	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7
M	E/A	M	E/A												
L	E/A	L	E/A												
K	E/A	K	E/A												
J	E/A	J	E/A												
I	E/A	I	E/A												
H	E/A	H	E/A												
G	E/A	G	E/A												
F	E/A	F	E/A												
E	E/A	E	E/A												
D	E/A	E/A	E	E	E/A	E/A	E/A	D	E/A						
C	E/A	E/A	E	E	E/A	E/A	E/A	C	E/A						
B	E/A														
A	E/A														

Abbildung 42: Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung 45° zur Eingriffsebene, Bewegung 45° vertikal, langsamer Eingriff

7. Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung 45° zu Eingriffsebene, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

Da in der Praxis häufig auch senkrechte Eingriffe mit Orientierungen des Unterarms unter einem Winkel zur Eingriffsebene auftreten, wird ebenso dieser Fall genauer untersucht. Es zeigt sich, dass unter diesen Bedingungen ebenfalls Lesefehler auftreten (siehe Abbildung 43). Auch diese konnten zwischen ersten und zweiten Test nicht eliminiert werden.

	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7
M	E/A	M	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A/E	E/A/E	E/A						
L	E/A	L	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A						
K	E/A	K	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A						
J	E/A	J	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A						
I	E/A	I	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A						
H	E/A	H	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A						
G	E/A	G	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A						
F	E/A	F	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A						
E	E/A	E	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A						
D	E/A	D	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A						
C	E/A	C	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E/A						
B	E/A														
A	E/A														

Abbildung 43: Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung 45° zu Eingriffsebene, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

8. Bereich 30cm vor bis 5cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, schnellstmöglicher Eingriff

Bei diesen Versuchen wurde versucht so schnell wie möglich ein- und wieder auszugreifen. Dabei konnte eine Gesamtzeit für Ein- sowie Ausgriff inkl. Greifen eines Artikels von nur 0,3 Sekunden erreicht werden. Das System erkannte dabei alle Ein- und Ausgriffe fehlerfrei, wodurch ein Einfluss der Eingriffsgeschwindigkeit ausgeschlossen werden kann.

9. Bereich 30cm vor bis 20cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, schnellstmöglicher Eingriff

Auch bei größerer Eingriffstiefe und schnellen Eingriffen wurden alle Ein- sowie Ausgriffe richtig erkannt.

Genauigkeit:

10. Überprüfung hinterlegter Grenzen der Entnahmeorte: Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

Bei der Überprüfung der im System hinterlegten Grenzen zwischen den Entnahmeorten (rote Linien in Abbildung 44) zeigt sich, dass diese bei Messungen am realen System teilweise stark verzerrt sind (gelbe Linien in Abbildung 44). Die angegebenen Längenmaße geben die Abweichung der Grenzen an den jeweiligen Stellen von der Sollposition an. Durch die verzerrten Grenzen können Fehler bei der Erkennung des Eingriffsortes auftreten. Dieses Problem könnte durch eine Anpassung der hinterlegten Grenzen beseitigt werden.

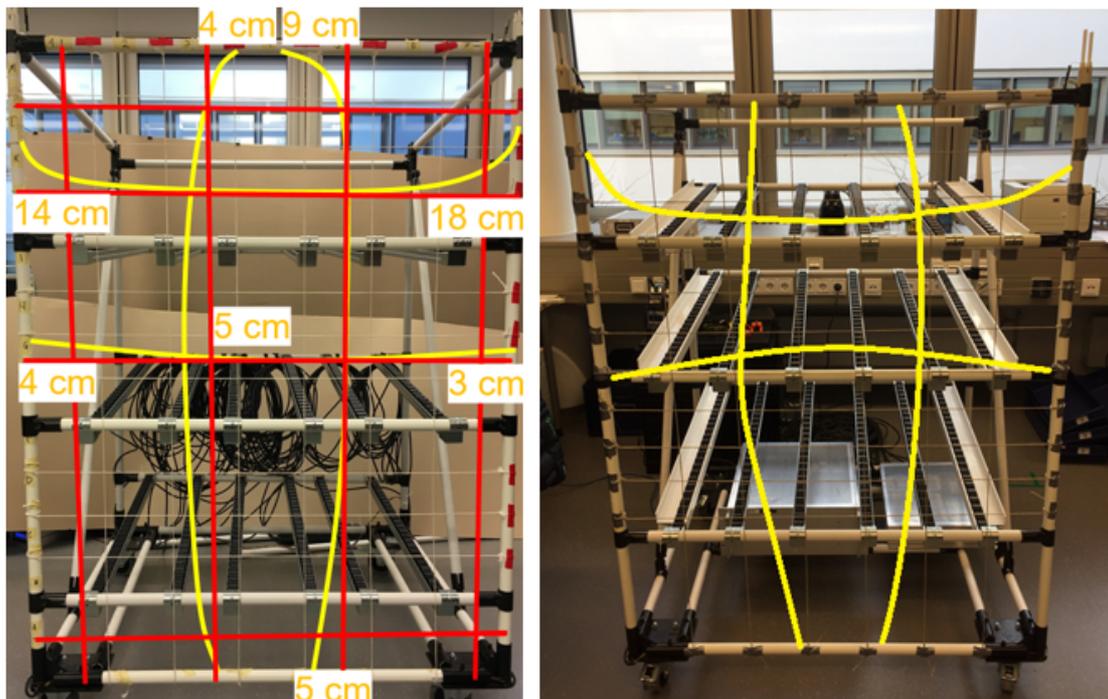


Abbildung 44: Überprüfung hinterlegter Grenzen der Entnahmeorte: Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

Mögliche Störeinflüsse:

11. verschiedene Lagergüter (einzeln): praxisnahe Eingriffe, Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene

Einzelne Gegenstände aus unterschiedlichen Materialien führen bei der Entnahme aus dem Regal zu keiner Beeinflussung der Eingriffserkennung durch das ValidKomm-System, wie Tabelle 4 veranschaulicht.

Tabelle 4: verschiedene Lagergüter (einzeln): praxisnahe Eingriffe, Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene; ✓ erfolgreiche Erkennung, X keine Erkennung

Gegenstände/ Materialien	Erster Labortest									Zweiter Labortest								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aluminiumblock	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Messingstück	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kupferblock	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kleines Stahlteil	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Mittelgroßes Stahlteil	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ferrit	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Magnet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Faserverst. Kunststoff	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

12. Metallische Lagergüter (volles Regal): praxisnahe Eingriffe, Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene

Wird das gesamte Regal mit magnetisierbaren Gegenständen (metallischen Schrauben) vollständig gefüllt, sind in manchen Entnahmeorten im Vergleich zum leeren Regal Leseprobleme erkennbar. Nach einer Offset-Kalibrierung des Systems, wie in Kapitel 5.2.1 beschrieben, verschwinden diese aber wieder. Das System arbeitet dann wieder wie im leeren Zustand.

13. Metallische Lagergüter (volles Regal) und metallische Gegenstände an der Hand des Kommissionierers: praxisnahe Eingriffe, Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene

Ein Einfluss metallischer Gegenstände an der Hand des Kommissionierers konnte nicht festgestellt werden.

14. Metallische Lagergüter (volles Regal), metallische Gegenstände an der Hand des Kommissionierers und metallische Gegenstände im Umfeld des Regals: praxisnahe Eingriffe, Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene

Wird ein großer metallischer Gegenstand (z. B. Kommissionierwagen) nahe am Regal positioniert (0 bis 50cm vor dem Regal), ist abermals eine Beeinflussung des Systems ersichtlich. Diese kann jedoch analog zum vollständig mit Schrauben befüllten Regal durch eine Offset-Kalibrierung beseitigt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das System auch nach der Optimierung einige Schwachstellen aufweist. Das Leseergebnis hängt stark von der Orientierung sowie der Bewegungsrichtung der Spule beim Eingriff ab. Vor allem bei schrägen Orientierungen oder Bewegungen können nicht alle Bereiche des Regals sicher überwacht werden. In der Praxis ist jedoch meist von solchen Ein- und Ausgriffen auszugehen. Ein Einfluss der Eingriffsdauer konnte nicht beobachtet werden. Die hinterlegten Grenzen zwischen den Entnahmeorten sind in der Realität stark verzerrt. Diese könnten jedoch durch eine Softwareanpassung begradigt werden. Bei den untersuchten möglichen Einflüssen durch verschiedene Materialien zeigte sich, dass erst ab einer gewissen Menge (große Objekte oder volles Regal) an magnetisierbaren Objekten Änderungen der Lesefähigkeit erkennbar sind. Die ursprüngliche Lesefähigkeit kann aber durch Offset-Kalibrierungen des Systems wiederhergestellt werden.

7 Entwicklung des aktiven Kommissionierarmbands

Die Zusatzfunktionen des aktiven Wearables sind unabhängig von der bereits vorgestellten induktiven Ortungstechnologie. Das bisher verwendete passive Wearable wird durch die aktiven Komponenten ergänzt. Die bereits getestete Ortungsfunktionalität bleibt davon unbeeinflusst, ebenso bleiben die Erkenntnisse und Ergebnisse weiterhin gültig.

Innerhalb des Projektbegleitenden Ausschusses wurden Anforderungen für ein aktives Wearable-Armband gesammelt. Das daraus entstandene Pflichtenheft für das Armband beinhaltet die Anforderung eines benutzerunabhängig einsetzbaren Wearables als Schnittstelle für das Lokalisierungssystem. Wird also das Wearable direkt an den Benutzer, denkbar als Armband, angebracht, muss dieses laut Pflichtenheft größenveränderbar sein.

Zudem darf ein solches Wearable den Benutzer nicht in seiner Bewegungsfreiheit einschränken. Der Benutzer soll auf eine beliebige Art die Regalposition, in die er greifen soll, erhalten. Diese Position entspricht im Folgenden der SOLL-Position und wird beispielsweise als Regalfachnummer angezeigt. Die Information muss für den Benutzer gut und von beliebigen Standorten vor dem Regal aus lesbar sein. Nach einer Entnahme soll der Benutzer mithilfe eines Quittier-Knopfes bestätigen, dass er aktiv in das Fach gegriffen hat. Zur Überprüfung wird die SOLL-Position mit dem tatsächlichen Eingriff, der IST-Position, verglichen. Falls sich SOLL- und IST-Position unterscheiden, wird der Benutzer durch ein Fehlersignal gewarnt. Mithilfe eines sog. Fehlgriffakzeptier-Knopfes erkennt er den Fehler an. Hinsichtlich der Effizienz ist es sinnvoll dem Benutzer weitere Information über die Eingriffe, wie z.B. die Entnahmemenge, die verbleibenden Eingriffs-Positionen oder erhöhtes Gewicht der Artikel, zu geben. Falls die Kommunikation zwischen Benutzer und Basismodul gestört wird, muss dies ebenso mitgeteilt werden. Tabelle 5 fasst die genannten Anforderungen zusammen.

Tabelle 5 Anforderungen an aktives Wearable

	Muss-Anforderungen	Kann-Anforderungen
Information von Basisstation an den Benutzer	<ul style="list-style-type: none"> • IST- und SOLL-Position • Engrifffehler • Entnahmemenge 	<ul style="list-style-type: none"> • Verbleibende Positionen • Systemfehler • Warnung vor schweren Artikeln
Zusätzliche Information an den Benutzer	<ul style="list-style-type: none"> • Anzeige eines Kommunikationsfehlers 	<ul style="list-style-type: none"> • Kapazitätsanzeige des Akkus
Information vom Benutzer an die Basisstation (Rückmeldung)	<ul style="list-style-type: none"> • Manuelle Quittierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Manuelle Fehlgriffkennung
Sonstige Wearable Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Größenveränderbar • Hohe Mobilität • Benutzerunabhängig • Hohe Laufzeit (Akku) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Tragekomfort • Gute Lesbarkeit

Abbildung 45 veranschaulicht die möglichen Realisierungskonzepte, wobei eine unidirektionale Kommunikation mit einseitiger und eine bidirektionale Kommunikation mit beidseitiger Pfeilspitze dargestellt sind.

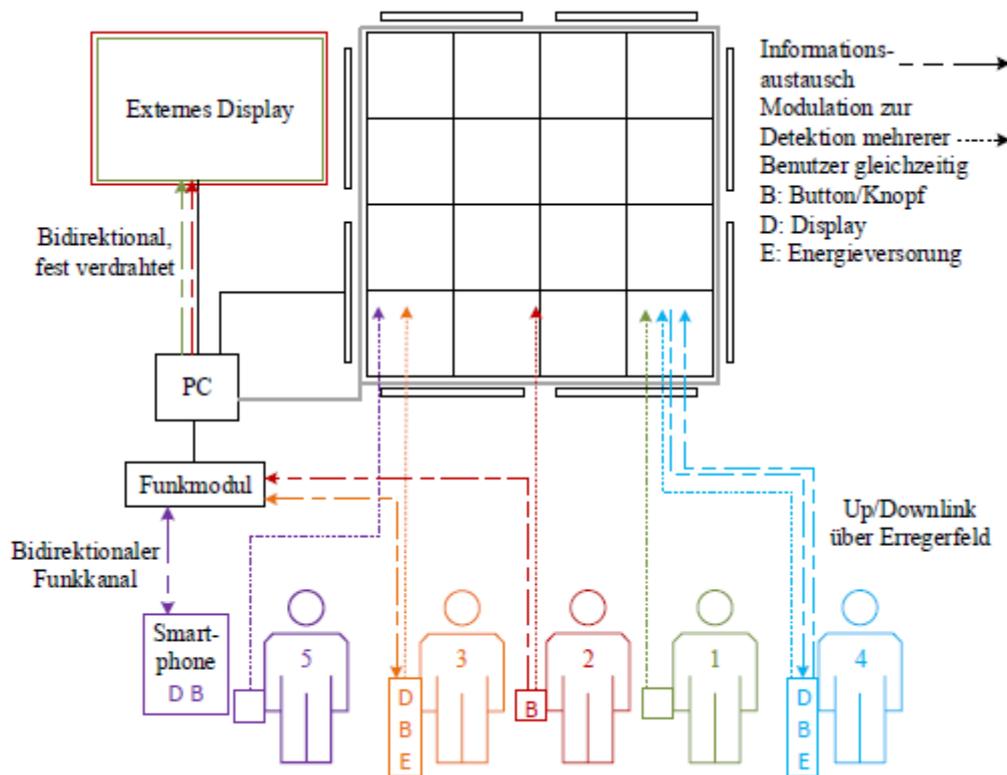


Abbildung 45 Kommunikationskonzepte aktives Wearable

Konzept 1 (grün): Bei der ersten Realisierungsmöglichkeit trägt der Benutzer nur die Lokalisierungsspule am Arm. Notwendige Informationen, wie z.B. die IST- und SOLL-Positionen oder eventuelle Fehlermeldungen, werden an einem externen, neben dem Regal befestigten Display angezeigt. Um die benutzerspezifischen Informationen korrekt zuzuweisen, erhält jeder Benutzer eine individuelle Schriftfarbe. Die Lokalisierungsspule wird passiv betrieben, d.h. die Lokalisierungsspule benötigt keine externe Stromversorgung wie beispielsweise eine Batterie und besitzt dadurch eine unbegrenzte Laufzeit. Allerdings muss sich der Blick des Benutzers nach jedem Eingriff erneut auf das Display richten, was zu Effizienzverlusten führt. Bei steigender Benutzeranzahl wird die Anzeige mit unterschiedlichen Farben stetig unübersichtlicher. Zudem kann sich der Benutzer nicht dem System mitteilen, was sowohl eine Quittierung als auch eine Fehlgriffenerkennung ausschließt. Dafür ist ein Kommunikationspfad von Benutzer zu Basismodul notwendig. Dieser Pfad wird im nachfolgenden Konzept ergänzt.

Konzept 2 (rot): Hier wird die Kommunikation vom Benutzer zum Basissystem über ein Funkmodul realisiert. Da die zu übertragenden Daten gering sind, können sehr stromsparende Funkstandards, z.B. Bluetooth Low Energy, eingesetzt werden. Es ist also denkbar die Lokalisierungsspule samt Modul passiv zu gestalten und die für das Funkmodul benötigte Energie aus dem primären Magnetfeld des ValidKomm-Systems zu gewinnen. In der Praxis wird bei einer solchen Energiegewinnung aus der Umgebung von „Energy Harvesting“ gesprochen. Es ist aber zu beachten, dass nur dann Energie in das Wearable gespeist und somit das Funkmodul betrieben werden kann, wenn sich der Benutzer in der Nähe des Regals befindet. Das schränkt die Mobilität des Benutzers stark ein. Wird das Wearable anstatt mit Energy Harvesting mit einer externen Stromquelle z.B. einer Batterie betrieben, wird es zwar schwerer und größer, jedoch bleiben mehr Freiheiten bei der Realisierung (vgl. Konzept 3).

Konzept 3 (orange): In diesem Konzept betreibt eine externe Stromversorgung das Funkmodul und macht damit eine Übertragung von größeren Datenmengen möglich. Dadurch können dem Benutzer nicht nur die Positionen, sondern auch eventuelle Warnhinweise,

Entnahmemenge, Produktspezifikationen, wie beispielsweise Gewicht oder Zerbrechlichkeit, mitgeteilt werden. Zudem erhält der Benutzer auch bei größerem Regalabstand aktuelle Informationen. Dank der externen Stromversorgung kann ein Display auf das Armband integriert werden, welches die benötigten Informationen anzeigt. Da der Benutzer für eine neue SOLL-Position nicht das externe Display neben dem Regal aufsuchen muss, steigert das integrierte Display die Effizienz im Kommissionierprozess. Durch die Stromversorgung ist es zudem möglich, Warn- oder Fehlersignale deutlicher und sogar auf unterschiedliche Art anzuzeigen, beispielsweise optisch, haptisch oder akustisch.

Konzept 4 (blau): Anstatt über ein Funkmodul ist es ebenfalls möglich, über das Erregerfeld zu kommunizieren. Nachteil dabei ist allerdings, dass die Kommunikation nur besteht, wenn sich der Benutzer in Regalnähe befindet. Um ein Display und Quittierknöpfe zu realisieren, ist auch hier eine externe Stromversorgung notwendig.

Konzept 5 (lila): Beim letzten Konzept erfolgt die Kommunikation über ein Vermittler-Modul. Dieses kann beispielsweise durch ein Smartphone realisiert werden, welches via Funk eine Kommunikation mit dem Basismodul aufbaut. Dem Benutzer werden anhand einer App die Informationen angezeigt und er kann durch eine Displayberührung eine Quittierung oder Fehlgriffanerkennung mitteilen. Individuelle Erweiterungen wie beispielsweise die Anzeige eines Lageplans wären dadurch ebenso realisierbar. Der Nachteil ist allerdings, dass der Benutzer ein zusätzliches Vermittler-Modul benötigt. Dadurch ist das System an andere Geräte gekoppelt und nicht mehr flexibel einsetzbar.

Im direkten Vergleich kristallisiert sich Konzept 3 als das geeignetste heraus. Zum einen werden alle benötigten Informationen übertragen und effizient am Arm angezeigt. Zum anderen ist dabei sowohl eine Möglichkeit zur manuellen Quittierung und Fehlgriffanerkennung als auch hohe Mobilität und Flexibilität gegeben.

Das Wearable muss zwar mit einer externen Stromversorgung betrieben werden, was die Laufzeit verringert, jedoch kann ein kleiner leistungsstarker Li-Ionen Akku eingesetzt werden. Da es sich bei dieser Arbeit jedoch um die Entwicklung eines Prototypen handelt, sollen im Sinne der Forschung und Weiterentwicklung mehr Möglichkeiten offen gehalten werden. Somit werden neben Konzept 3 ebenso Konzept 1 und 4 in Hardware implementiert. Dadurch kann je nach individueller Systemanforderung entschieden werden, ob ein kompaktes passives Wearable mit externem Display verwendet wird (vgl. Konzept 1) oder ein Wearable, welches eine direkte Kommunikation zwischen Basissystem und Benutzer beinhaltet (vgl. Konzept 3 und 4). Dabei kann eine Kommunikation über ein Funkmodul oder über das Feld realisiert werden. Die Kommunikation über das Feld (Konzept 4) soll zwar hardwaretechnisch vorhanden sein, wird jedoch aus Zeitgründen nicht implementiert. Bei allen drei Realisierungsmöglichkeiten kommunizieren Basisstation und Wearable auf einem anderen Kommunikationspfad. Für eine erste Implementierung wurde aufgrund der hohen Flexibilität und dem geringeren Entwicklungsaufwand Konzept 2 gewählt.

Der Prototyp des aktiven Wearables wurde im Labor an dem Kommissionierregal getestet, das später im Feldtest bei BSH eingesetzt wurde. Es konnte gezeigt werden, dass das Wearable wie zu erwarten korrekt lokalisiert werden konnte und gleichzeitig die Identifikationsnummer von der Basisstation erfasst wurde. Probleme bestanden noch bei der korrekten Lokalisierung von zwei Wearables gleichzeitig. Die beiden Identifikationsnummern wurden korrekt von der Basisstation erfasst und zugeordnet, jedoch war das Lokalisierungsergebnis nicht durchgängig zufriedenstellend. An der Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die Wearables nur mit einer 1D Spule ausgestattet waren. In späteren Entwicklungsschritten wurden mit einer 3D Spule an den passiven Armbändern deutlich bessere Ergebnisse erreicht. Diese Möglichkeit wäre auf die aktiven Wearables übertragbar.

8 Anwendungsprogrammierung

Die ValidKomm-Middleware oder Integrations- und Anwendungsplattform (IAP) versteht sich als eine dem Rahmensystem sowie den Wearable Devices übergeordnete Software. Sie empfängt Auftragsdaten aus dem Warehouse Management System (WMS) bzw. Enterprise Resource Planning (ERP) System und weist diese Aufträge den Kommissionierern zu. Wird vom Rahmensystem ein Eingriff mit ID und Position gemeldet, so führt die IAP einen Soll-Ist-Vergleich durch. Wird so ein Fehleingriff erkannt, dann erfolgt eine Fehlermeldung an das entsprechende Wearable Device. Mit der IAP können je nach Anwendungsfall ein oder mehrere Rahmensysteme verbunden sein sowie ein oder mehrere Wearable Devices (WD).

Die Benutzerdaten der Kommissionierer werden in der IAP erstellt und gespeichert. In diesem Zuge erfolgt auch die Verheiraturung der Benutzer mit den IDs der Wearable Devices.

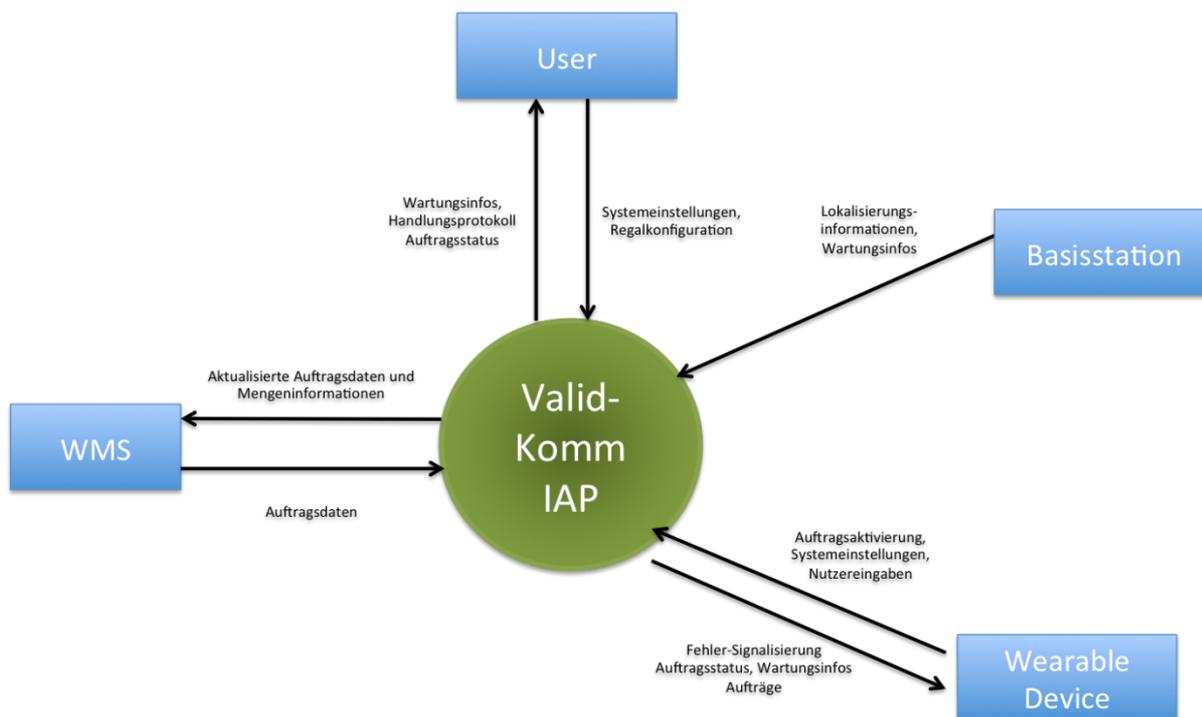


Abbildung 46: Kontextdiagramm der ValidKomm Integrations- und Anwendungsplattform

Durch Einsatz der ValidKomm Integrations- und Anwendungsplattform sollen Informationen aus dem WMS mit Informationen der Basisstation auf der IAP abgeglichen werden. Dabei handelt es sich seitens des WMS/ERP um Auftragsinformationen und Informationen zu den Lagerorten der jeweiligen Güter. Ein (Kommissionier-) Auftrag besteht aus einem oder mehreren Artikeln, die der Kommissionierer aus dem Lager aufnehmen soll und den jeweiligen Mengen der zu kommissionierenden Artikel. Von der Basisstation kommen Informationen zu den Eingriffskordinaten der jeweiligen Kommissionierer.

Die ValidKomm IAP dient zum einen als Medium für den Abgleich dieser Informationen. Über die ValidKomm IAP sollen des Weiteren die Spezifikationen des ValidKomm-Gesamtsystems festgelegt werden können und damit eine Verheiraturung zwischen bestimmten Koordinaten einer Basisstation und den jeweiligen Lagerfächern stattfinden. Über eine Anwenderschnittstelle der IAP können außerdem Informationen über das System und Wartungsbedarfe sowie der Auftragsstatus erfasst werden. Daneben kann die die ValidKomm IAP bidirektional mit einem Wearable Device kommunizieren. Sie hat die Möglichkeit Informationen zu Fehlgriffen, Wartungsinformationen und Auftragsinformationen an das tragbare Gerät zu senden. Das Wearable Device kann Informationen zu Auftragsaktivierung, Systemeinstellungen des Nutzers und Eingaben des Nutzers an die IAP kommunizieren. Unter Verwendung eines Wearable

Device ermöglicht es die ValidKomm IAP, dass das Gesamtsystem als eigenständiges Kommissioniersystem eingesetzt werden kann.

8.1 Ziele hinter der Entwicklung einer ValidKomm Integrations- und Anwendungsplattform

Als grundsätzliche Ziele der Entwicklung einer ValidKomm Integrations- und Anwendungsplattform können festgehalten werden:

Anbindung der Daten des Rahmensystems und des WD an Auftragsdaten eines WMS/ERP

Erstes Ziel der Umsetzungen soll sein Daten des ValidKomm-Rahmensystem mit denen aus Warehouse Management Systemen zu verknüpfen. Dabei sollen sowohl die durch das Rahmensystem aufgenommenen Informationen auf der IAP bereitgestellt werden, ein Austausch mit dem WD erfolgen können, als auch Informationen aus dem WMS/ERP (Auftragsdaten) auf die IAP importiert werden. Das Ziel ist erfüllt, wenn Auftragsdaten aus dem WMS sowie Daten von Rahmensystem und WD auf der IAP aggregiert werden.

Vergleich der Daten auf der IAP

Die IAP soll Daten zu den Griffen der Kommissionierer bewerten und feststellen können, ob sie in ein auftragszugehöriges Regalfach gegriffen haben. Das Ziel ist erreicht, wenn die IAP erkennen kann, ob die vom Rahmensystem bereitgestellten Koordinaten des Griffs eines Kommissionierers mit denen übereinstimmen, die auf der IAP für dieses Regalfach hinterlegt wurden.

Kommunikation mit dem WD

Auf dem WD sollen Auftragsinformationen dargestellt werden. Außerdem soll eine An-/Abmeldung der Kommissionierer erfolgen und ein Signal bei einem Fehlgriff an das WD versendet werden. Das Ziel ist erreicht, wenn die IAP mit dem WD kommuniziert und sowohl Informationen vom WD empfängt als auch an das WD versendet.

Flexibilität und einfache Erweiterbarkeit

Die Anwendung auf der IAP soll es ermöglichen, dass Regale einfach konfiguriert werden können. Die Konfiguration des Systems und die Einteilung der Fächer erfolgen auf der IAP. Das Ziel ist erreicht, wenn die Regalfächer auf einer grafischen Benutzeroberfläche vom Nutzer eingeteilt und Artikeln zugeordnet werden können.

System Evaluierung

Im Forschungsprojekt gilt es einen Demonstrator zu entwickeln und in einem mehrstufigen Verfahren zu testen und weiterzuentwickeln. Beim Demonstrator sollen möglichst geringe Verzögerungen in den Arbeitsabläufen auftreten.

Die Evaluation erfolgt durch Systemtests in der LINK Halle. Kriterien für eine erfolgreiche Abnahme sind: Stabilität des Systems, geringe Wartezeiten bei Arbeitsabläufen und durchgängig fehlerfreie Übertragung der Auftragsdaten an das WD.

Stabilität bedeutet dabei, dass das die Basisstation mindestens 99,9996% einsatzfähig sein soll. Das ValidKomm System sollte dabei sowohl korrekte als auch fehlerhafte Eingriffe sicher und wiederholbar erkennen können. Durchgängige Fehlerfreiheit heißt, dass alle Aufträge aus dem WMS/ERP vollständig an die WD übertragen werden müssen. Geringe Wartezeiten bedeuten, dass bei einem Fehlgriff in 95% der Fälle die Reaktionszeit des Systems niedriger als 1 Sekunden sein soll, bis der Kommissionierer ein Signal auf sein WD erhält. Mit einer Anzahl von 3 Benutzern wird das System evaluiert.

8.2 Systemkomponenten der ValidKomm Integrations- und Anwendungsplattform

Das System – die ValidKomm IAP – liegt auf einem lokalen Server und besteht aus zwei Hauptkomponenten:

Integrations- und Anwendungskomponente:

Diese fungiert zur Übertragung und Strukturierung (Business Logic) von Daten aus WMS an das WD und Daten vom Rahmensystem an die IAP. Im Nachfolgenden Middleware genannt.

Die

Diese stellt dem Benutzer eine Web-Schnittstelle zur Verfügung, welche auf einem externen Desktop-Rechner aufgerufen werden kann (im Nachfolgenden Webschnittstelle genannt):

GUI-Komponente:

Ihre Funktionen sind die Ausgabe von Informationen über die Hardware, Einstellung der Hardware sowie Installation des Gesamtsystems durch den Benutzer.

8.3 Primäre Funktionen der Validkomm Integrations- und Anwendungsplattform

Die primären Funktionen der ValidKomm IAP bestehen aus der Erkennung von Fehlgriffen (UC1), der Darstellung von Auftragsdaten auf dem WD (UC2), der Konfiguration des Systems (UC3) und der Möglichkeit das System zu überwachen (UC4). Im Folgenden werden die Use Cases grafisch in ihrer Abhängigkeit zu den angrenzenden Systemen dargestellt sowie kurz vorgestellt.

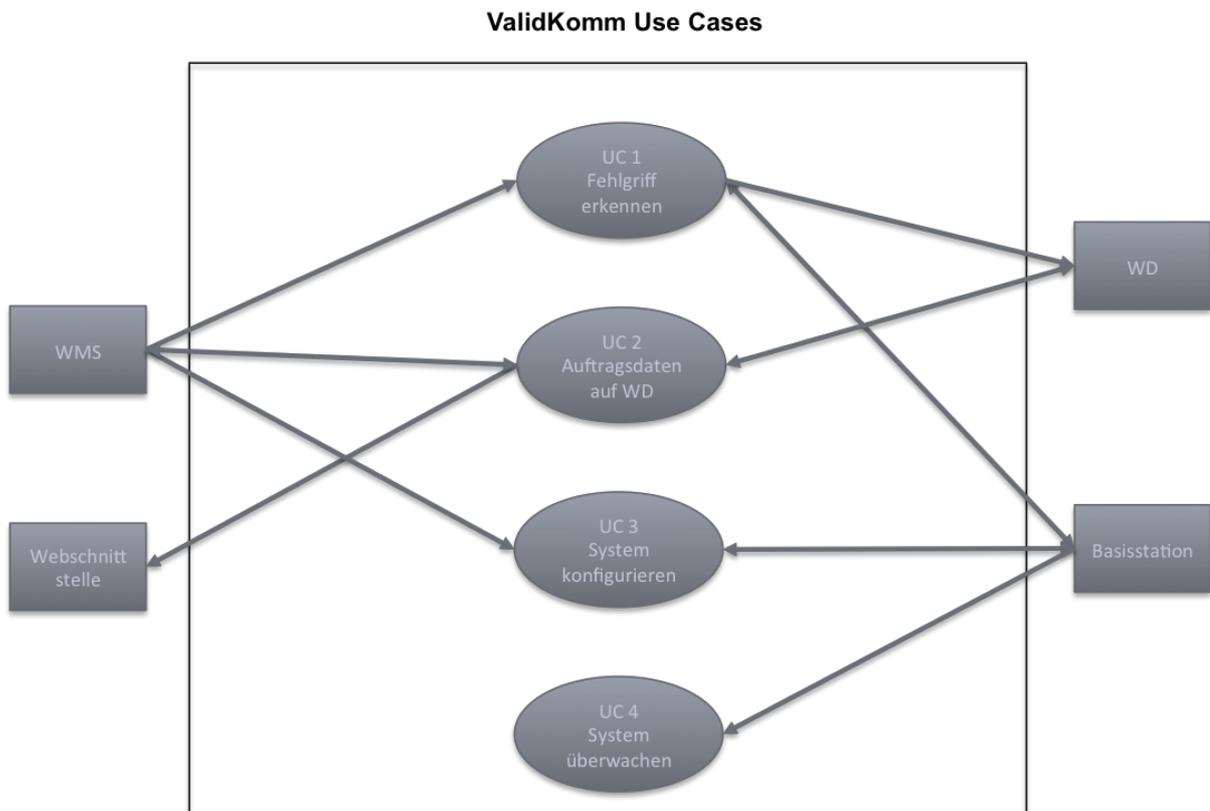


Abbildung 47: Use Case Diagramme der ValidKomm Integrations- und Anwendungsplattform

Use Case 1: Fehlgriffe erkennen

Der Use Case 1 dient der Erkennung von Fehlgriffen bei der Durchführung der Kommissioniertätigkeiten. Vom WMS/ERP werden dazu Artikelmengen- und Auftragsinformationen auf die IAP eingespeist. Diese werden mit den Daten des Rahmensystems auf der IAP abgeglichen.

Use Case 2: Auftragsinformationen und Zusatzfunktionen mit dem WD nutzen

Im Use Case 2 werden Auftragsdaten an das WD übertragen und Zusatzfunktionen des WD ermöglicht.

Use Case 3: Systemkonfiguration

Use Case 3 dient der Konfiguration des ValidKomm-Gesamtsystems, um es an lokale Spezifika anzupassen. Dies umfasst unter anderem das Einrichten von Regalen und die Verknüpfung von Fächern und geographischen Standorten entlang der Regale.

Use Case 4: System überwachen

Bei Use Case 4 werden die Aufträge hinsichtlich ihrer Abarbeitung auf der Webschnittstelle angezeigt. Der Nutzer kann sich im Rahmen dieses Use-Cases eine Übersicht der Kommissionierfehler, Wartungsinformationen und Auftragsstatus anzeigen lassen

8.4 Umsetzung der ValidKomm Integrations- und Anwendungsplattform

Die Middleware und Webschnittstelle der ValidKomm IAP sind zwei voneinander getrennte Komponenten, welche über WebSockets miteinander kommunizieren.

Middleware zur Auftragsverwaltung

Die Middleware besteht aus einem Python Modul, welches verschiedene Threads zur Verfügung stellt, die wiederum mit den externen Komponenten kommunizieren. Die Kommunikation mit der Homepage und dem Regal erfolgt über (Web-)Sockets. Das WMS bzw. ERP System stellt eine REST-API zur Kommunikation zur Verfügung. Eine Interaktion der einzelnen Komponenten, kann wie folgt dargestellt werden.

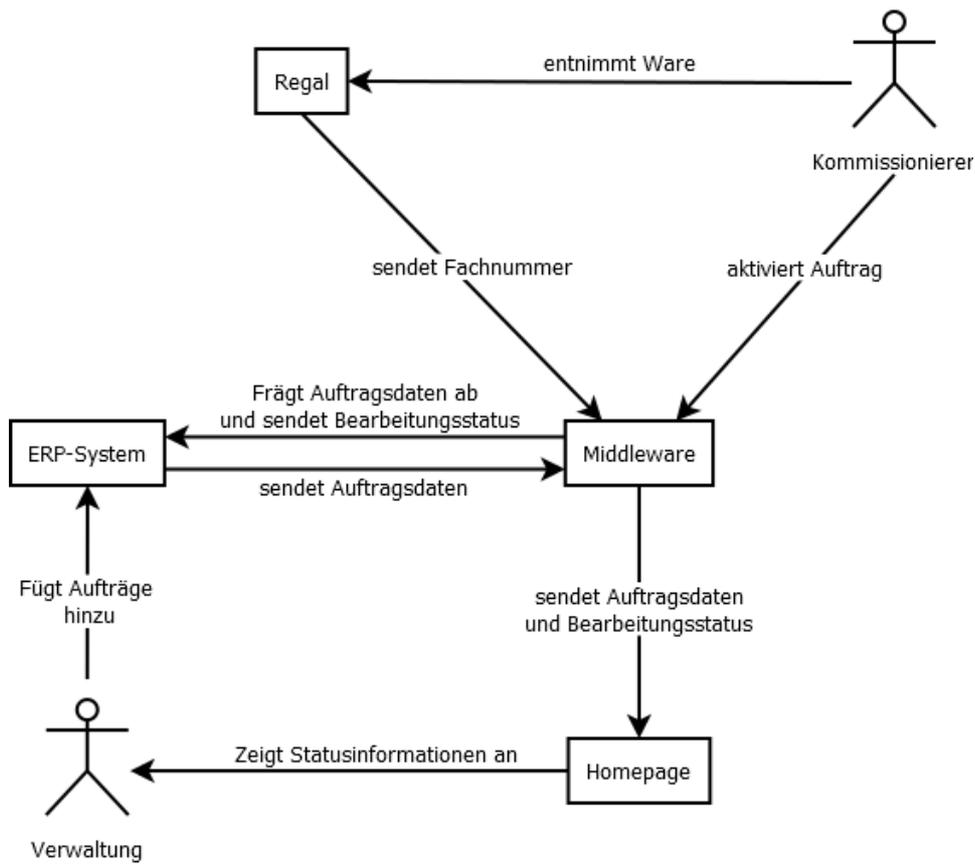


Abbildung 48 Interaktion der Komponenten

Eine Übersicht über den Programmablauf und die Aufgaben der einzelnen Threads innerhalb der Middleware kann nachfolgender Abbildung entnommen werden.

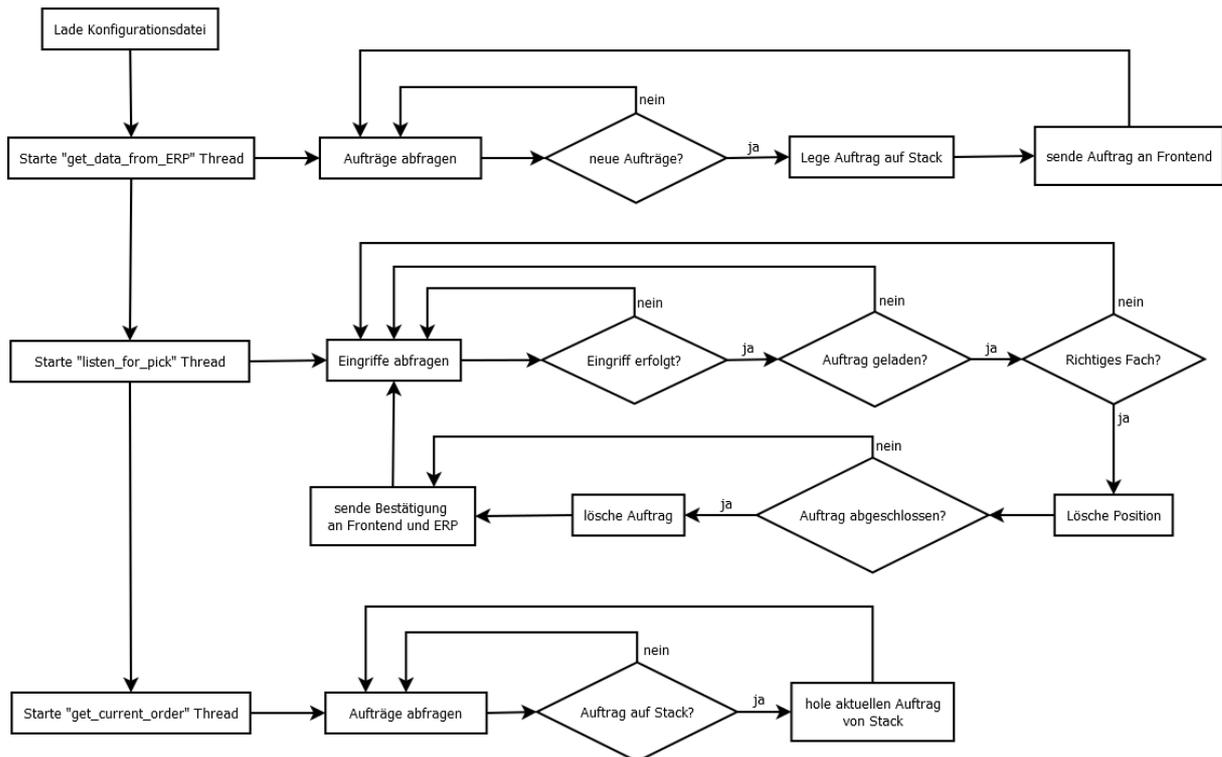


Abbildung 49 Ablaufdiagramm Middleware

Die Middleware kann in fünf unterschiedliche Bereiche eingeteilt werden, welche in ihrer Kombination die geforderten Funktionen bereitstellen.

- **Konfigurationsdateien**

Es werden zwei Dateien zur Konfiguration des Systems genutzt. Zum einen ist dies eine Datei namens „config.ini“ in der alle benötigten Daten für die Kommunikation unter den einzelnen Komponenten festgelegt werden. Hierzu gehören die IPs und Ports der Sockets und die URLs der REST-API. Des Weiteren wird eine Zuordnungstabelle („matching-table.json“) benötigt, in welcher eine Zuordnung der Fachbezeichnung des ERP-Systems zu den Bezeichnungen des Regales erfolgt.

- **Neue Aufträge holen**

Hauptverantwortlich für die Kommunikation mit dem ERP-System, ist der Thread „get_data_from_ERP“. Dieser nutzt die REST-API des ERP-Systems und fragt in regelmäßigen Abständen ab, ob neue Auftragsdaten eingegangen sind. Ist dies der Fall, werden die neuen Daten auf einem internen Stack abgelegt, welcher anschließend von den anderen Threads abgearbeitet wird.

- **Aufträge bearbeiten und abschließen**

Die Middleware kommuniziert per Sockets mit dem Regal. Hierfür wird der Thread „listen_for_pick“ genutzt, welcher von dem Regal darüber benachrichtigt wird, wenn ein Eingriff in ein Fach erfolgt ist. Ist ein aktueller Auftrag geladen und das Fach in den Auftragsdaten vorhanden, dann wird diese Position aus dem Auftrag gelöscht. Sollte es die letzte Position des Auftrages gewesen sein, dann wird der Auftrag abgeschlossen.

- **Kommunikation mit dem Web-Interface**

Zur Kommunikation mit der Webschnittstelle, steht kein eigener Thread zur Verfügung. Das Frontend wird über die beiden oben genannten Threads mit Informationen versorgt. Hierfür werden Web-Sockets genutzt, an die alle Informationen über aktuelle Aufträge und deren Bearbeitungsstatus gesendet werden.

- **Auftragsverwaltung**

Die Verwaltung der einzelnen Aufträge erfolgt in dem Thread „get_current_order“. Dieser Thread überwacht alle Aufträge auf dem Stack und reicht den aktuellen Auftrag an die anderen Threads zur Bearbeitung weiter.

Webschnittstelle zur Darstellung der Informationen

Die Webschnittstelle der ValidKomm IAP wurde mit Node.js⁸ Version 6.11.4 (LTS) und Angular⁹ CLI Version 1.4.9 implementiert. Mittels Node.js ist die einfache Realisierung des Webservers zur Bereitstellung der Webschnittstelle möglich. Angular wiederum ist ein Front-End-Webapplikationsframework zur Umsetzung der eigentlichen Benutzerschnittstelle.

Hauptfunktion der Webschnittstelle sind die Übersichten der Auftragsdaten (siehe Abbildung 50) sowie der Fehlgriffe (siehe Abbildung 51). Die Webschnittstelle erhält diese Daten von der Middleware und zeigt diese im Browser an, wie in den Abbildungen dargestellt.

Die WebSocket-Verbindung zwischen Middleware und Webschnittstelle gewährleistet, dass auch ohne ein erneutes Laden der Seiten im Browser stets die aktuellen Daten dargestellt werden. Beim Öffnen der Seite wird eine WebSocket-Verbindung zur Middleware aufgebaut und alle vorliegenden Daten abgerufen. Anschließend teilt die Middleware, über die bestehende Verbindung, nur die jeweiligen Änderungen der Webschnittstelle mit.

⁸ Node.js: <https://nodejs.org>

⁹ <https://angular.io>

ValidKomm									
ÜBERSICHT	Aufträge								
Aktive Kommissionierer									
Aufträge									
Fehlgriffe									
Aktive Basisstationen									
EINSTELLUNGEN									
Basisstationen									
Auftragsnummer	Status	Erstellungszeitpunkt	Kommissionierer	ID	Status	Menge	Bezeichnung	Fach	Artikel
14975	abge.	1531559639	014	0	abge.	6	gasket	10	
14976	aktiv	1531559664	013	0	aktiv	2	gasket	10	
				1	erstellt	1	pipe	11	
14977	aktiv	1531559757	014	0	erstellt	8	nut	2	
				1	abge...	8	bolt	3	
				2	aktiv	2	angle bracket	5	
				3	aktiv	1	gasket	10	
				4	aktiv	1	pipe	11	
14978	erstellt	1531560194		0	erstellt	4	nut	2	
				1	erstellt	4	bolt	3	
				2	erstellt	1	angle bracket	5	
14979	erstellt	1531560307		0	erstellt	20	nut	2	

Abbildung 50: Übersicht der Auftragsdaten

ValidKomm		
ÜBERSICHT	Fehlgriffe	
Aktive Kommissionierer		
Aufträge		
Fehlgriffe		
Aktive Basisstationen		
EINSTELLUNGEN		
Basisstationen		
Auftragsnummer		Fach
14471		5
14471		6
14533		1
14542		4
14572		8
14583		8
14815		5
14817		10
14818		8
14821		2
14821		7
14825		5
14844		9
14844		4
14975		7

Abbildung 51: Übersicht der detektierten Fehlgriffe

9 Probanden- und Feldtests

Nach Fertigstellung des Gesamtsystems soll dieses nun ausgiebig getestet werden. Dabei sollen zum einen die Leistungsfähigkeit des Systems, also die Fähigkeit zuverlässig Eingriffe von Kommissionierern zu erkennen, und zum anderen Nebenziele wie Akzeptanz, Bedienbarkeit und Ergonomie des Systems überprüft werden. Zusätzlich sind die Kosten je Entnahmeort sowie der Energieverbrauch des Systems zu bestimmen, um Aussagen zu dessen Wirtschaftlichkeit tätigen zu können.

Entgegen der ursprünglich im Antrag geplanten Vorgehensweise wurden im Projekt zuerst zwei Feldtests und danach ein Probandentest durchgeführt. Grund hierfür waren Verzögerungen bei der Fertigstellung des Demonstrators. Da die Termine der Feldtests mit den Unternehmen bereits abgestimmt und eingeplant waren, konnten die Feldtests nicht mehr verschoben werden.

Bei beiden Feldtests war von Seiten der beteiligten Unternehmen keine direkte Fehlermitteilung an die Kommissionierer gewünscht. Diese sollten in ihrem gewohnten Arbeitsablauf nicht gestört werden. Des Weiteren musste aufgrund des erwarteten hohen Aufwands auf eine direkte Anbindung des ValidKomm-Systems an die Warehouse-Management-Systeme der Unternehmen verzichtet werden. Um dennoch die zuvor genannten Ziele zu erreichen, wurde folgende Vorgehensweise gewählt. Die Kommissionierer arbeiteten mit dem ValidKomm-System ohne eine Rückmeldung zu erhalten. Sie trugen somit zwar das Kommissionierarmband des Systems, arbeiteten ansonsten jedoch wie gewohnt. Ihre Eingriffe wurden zusätzlich zum ValidKomm-System von mehreren Kameras, welche über den Entnahmeorten positioniert wurden, erfasst. Somit konnten nach Ende der Tests die Videoaufnahmen mit den erkannten Ein- und Ausgriffen des Systems verglichen werden und so Fehler bei der Eingriffsüberwachung identifiziert werden. Fehler der Kommissionierer konnten auf diese Weise nicht erkannt werden. Deren Quantifizierung war aber auch nicht Ziel der Tests. Zur Überprüfung der Nebenziele wurden die nötigen Informationen von den Kommissionierern des zweiten Feldtests per Fragebogen eingeholt. Dieser Fragebogen bezog sich entsprechend der Testbedingungen nur auf die Akzeptanz und Ergonomie des Kommissionierarmbands und des Eingriffsrahmens. Ein Test des vollständigen Umfangs des ValidKomm-Systems wurde im Rahmen des Probandentests nachgeholt. Die Nebenziele wurden auch hier per Fragebogen ermittelt.

9.1 Erster Feldtest

Der erste Feldtest wurde bei der B/S/H/ Hausgeräte GmbH in Fürth durchgeführt. Im dortigen Logistikzentrum werden Ersatzteile für Haushaltsgeräte kommissioniert.

9.1.1 Aufbau

Für den Test wurde das Demonstratorregal, welches auch schon bei den Systemtests verwendet wurde, eingesetzt (siehe Abbildung 52). Das Regal (A) verfügte über drei Fächer mit insgesamt neun Entnahmeorten. Die Nummerierung der einzelnen Entnahmeorte ist in der Abbildung durch gelbe Ziffern angegeben. Der Eingriffsrahmen mit den Antennen befindet sich wie bei den Systemtests im vorderen Regalrahmen (siehe Abbildung 28). Über jedem Regalfach wurde eine kleine Kamera (D) angebracht, welche die Ein- und Ausgriffe des jeweiligen Fachs aufnahm. Dabei wurde darauf geachtet, dass nur die Hände der Kommissionierer in den Aufnahmen sichtbar waren. Die Aufzeichnung der entstehenden Videos erfolgte über einen Laptop (E). Das ValidKomm-System an sich bestand aus dem Steckregal (A), der Basisstation (B) und einem Monitor (C) zur Anzeige der erkannten Ein- und Ausgriffe. Zum Scannen jedes Auftrags vor dessen Bearbeitung war außerdem ein Handscanner (F) vorhanden.

Das Materialflusssystem entsprach einer manuellen Kommissionierung mit Bahnhöfen (siehe Kapitel 5.1.3), d. h. die Güter wurden statisch und dezentral in einem Regal bereitgestellt. Die Kommissionierer bewegten sich eindimensional und manuell zwischen dem Bahnhof und den Entnahmeorten. Die Abgabe erfolgte am Bahnhof dynamisch und dezentral. Die Entnahme der Güter wurde manuell durchgeführt, wobei die Kommissionierer je Eingriff einen oder mehrere Artikel auf einmal entnehmen konnten. Es wurde einzonig und auftragsorientiert

gearbeitet. Die Informationsbereitstellung wurde über Kommissionierlisten in Papierform realisiert. Es fand keine Quittierung der einzelnen Positionen statt.

Das Artikelspektrum reichte von kleinen (<5cm) bis mittelgroßen (<30cm) Gegenständen, welche größtenteils aus Kunststoff bestanden und in Kunststoff oder Karton verpackt waren. Die Aufträge enthielten zwischen einer und acht Positionen, wobei je Position ein bis vier Artikel entnommen werden mussten.

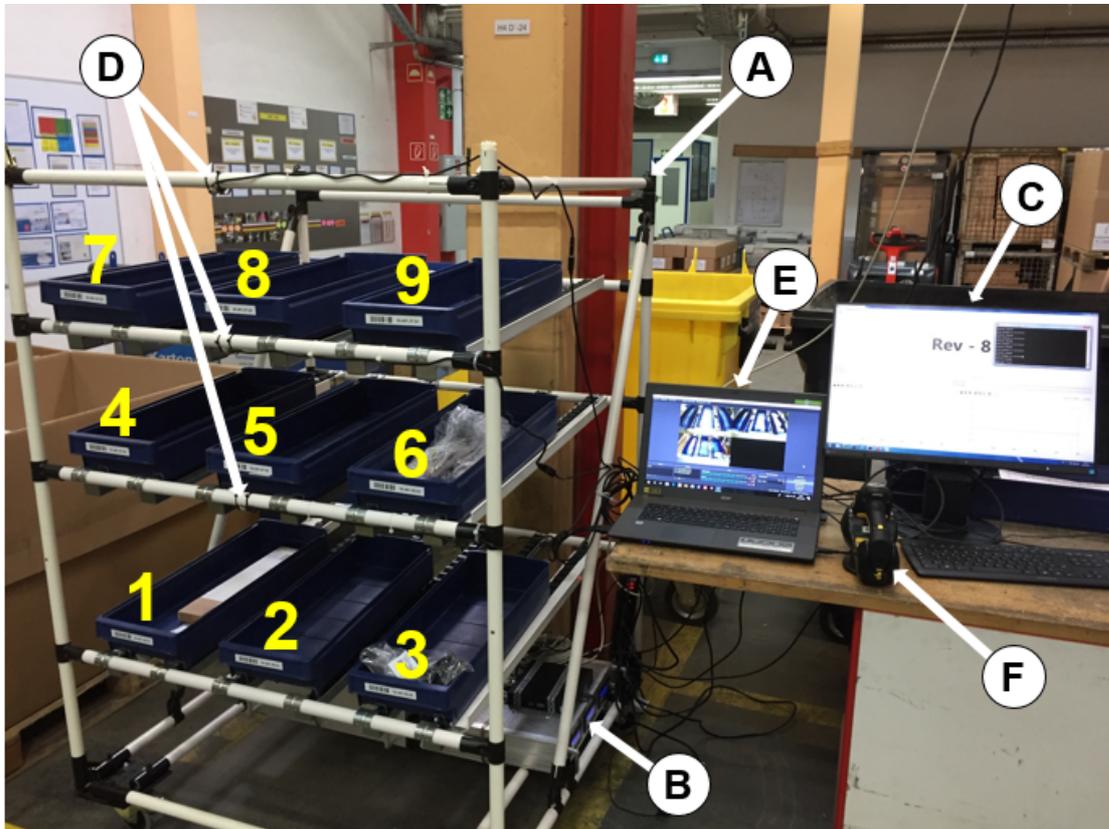


Abbildung 52: Versuchsaufbau des ersten Feldtests

9.1.2 Durchführung

Für den ersten Feldtest wurden insgesamt fünf Tage benötigt. Nach einem Tag Aufbau und ersten Funktionstests konnte an vier aufeinanderfolgenden Tagen getestet werden. Je Tag war das System zwischen fünf und acht Stunden in Betrieb. Aufgrund eines Schichtwechsels um die Mittagszeit arbeiteten insgesamt sieben verschiedene Kommissionierer mit dem Valid-Komm-System. Diese wurden an jedem Schichtbeginn vom Schichtleiter für die Benutzung des Systems eingewiesen (z. B. Anlegen des Armbands, Scannen der Aufträge). Insgesamt konnten an den vier Testtagen 162 Aufträge sowie 218 Positionen kommissioniert und überwacht werden.

Während der gesamten Testzeit war ein Mitarbeiter der Forschungsstellen vor Ort und überwachte die Testdurchführung. Des Weiteren führte dieser in Zeiten ohne Entnahmen Offset-Kalibrierungen des Systems durch.

9.1.3 Ergebnisse

Wie in Abbildung 53 ersichtlich wurden 38% der ausgewerteten Position vom System fehlerhaft und 62% fehlerfrei erkannt. Eine Position wird dabei nur als fehlerfrei betrachtet, wenn alle Ein- und Ausgriffe der jeweiligen Position fehlerfrei erkannt wurden.

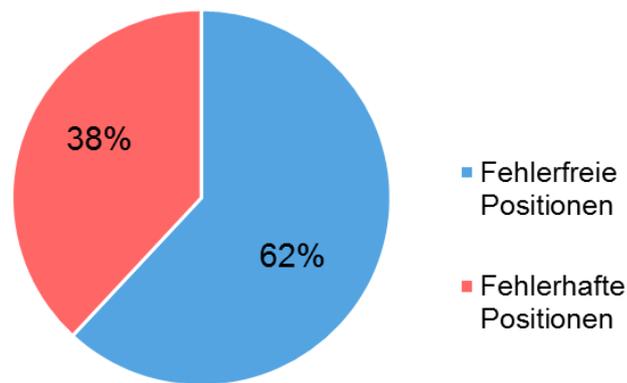


Abbildung 53: Prozentuale Fehlerhäufigkeit aller Positionen des ersten Feldtests

Die einzelnen Auftragspositionen sowie Fehler je Entnahmeort zeigt Abbildung 54. Es ist zu beobachten, dass die Anzahl der Positionen je Entnahmeort nicht gleich verteilt sind. Dies ist auf unterschiedliche Artikelbedarfe zurück zu führen. Auffällig sind die stark variierenden Fehlerwahrscheinlichkeiten je Entnahmeort und die damit verbundenen Fehleranteile (siehe Tabelle 6). Die Entnahmeorte zwei, drei, und fünf weisen besonders hohe Fehlerquoten und somit hohe Fehleranteile auf.

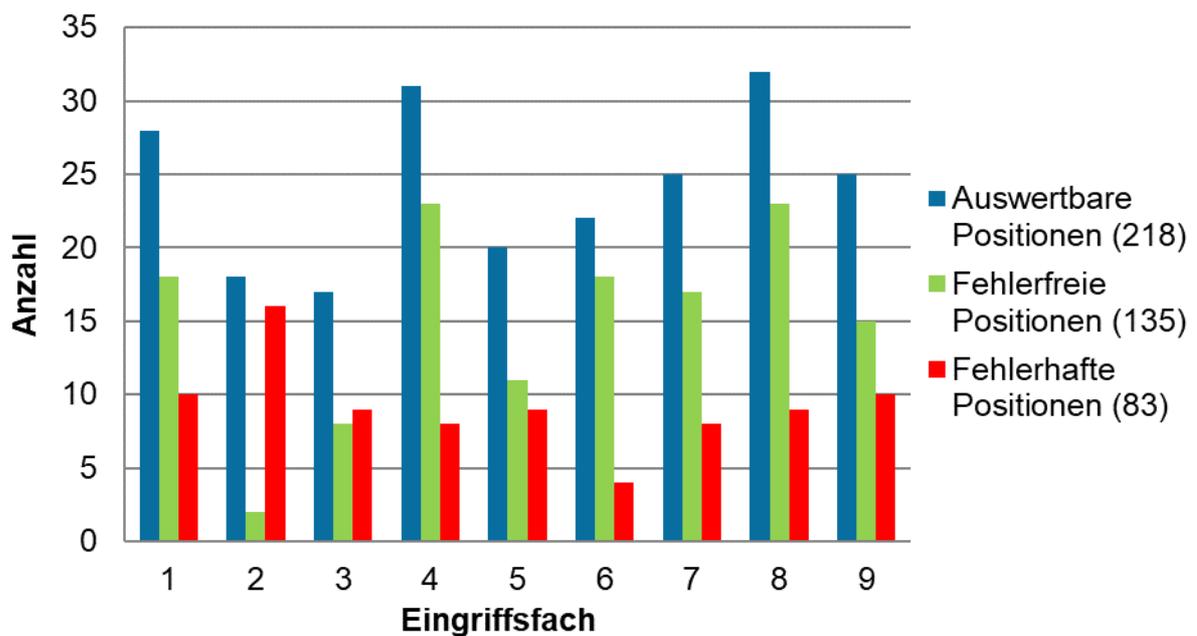


Abbildung 54: Verteilung der Positionen und Fehler über die Entnahmeorte im ersten Feldtest

Tabelle 6: Fehlerwahrscheinlichkeit und Fehleranteil je Entnahmeort im ersten Feldtest

Eingriffsfach	Anzahl auswertbarer Positionen	Anzahl fehlerfreier Positionen	Anzahl fehlerhafter Positionen	Fehlerwahrscheinlichkeit	Fehleranteil pro Fach
1	28	18	10	35,7%	12,0%
2	18	2	16	88,9%	19,3%
3	17	8	9	52,9%	10,8%
4	31	23	8	25,8%	9,6%
5	20	11	9	45,0%	10,8%
6	22	18	4	18,2%	4,8%
7	25	17	8	32,0%	9,6%
8	32	23	9	28,1%	10,8%
9	25	15	10	40,0%	12,0%
	218	135	83	38,1%	100,0%

Um die auftretenden Fehler genauer zu untersuchen, werden diese in vier Hauptkategorien eingeteilt:

- I. Eingriff (E) falsch oder nicht erkannt
- II. Ausgriff (A) falsch oder nicht erkannt
- III. Zusätzliche Ein- und/oder Ausgriffe am richtigen Entnahmeort oder in umliegenden Entnahmeorten erkannt
- IV. Ein- und Ausgriff vertauscht

Jede fehlerhafte Position kann entweder eine oder mehrere Fehlerhauptkategorien aufweisen. Wurde zum Beispiel bei einer Entnahme weder Ein- noch Ausgriff erkannt, so werden dieser Position Hauptkategorie I und II zugeordnet. Auf diese Weise entstehen aus den 83 fehlerhaften Positionen 114 Fehler in den Hauptkategorien.

Die Auswertung der Häufigkeit der einzelnen Fehler-Hauptkategorien zeigt Tabelle 7. Vertauschte Ein- und Ausgriffe traten im ersten Feldtest nur einmal auf. In den Entnahmeorten zwei und drei gab es besonders häufig Fehler bei der Erkennung des Eingriffs und/oder des Ausgriffs. Bei den Entnahmeorten fünf, sieben und neun wurden überdurchschnittlich oft zusätzliche Ein- oder Ausgriffe erkannt.

Tabelle 7: Fehlerwahrscheinlichkeiten FW der einzelnen Fehler-Hauptkategorien im ersten Feldtest

Eingriffsfach	Anzahl auswertbarer Positionen	I Eingriff falsch erkannt	FW	II Ausgriff falsch erkannt	FW	III Zusätzliche Ein/ Ausgriffe erkannt	FW	IV Vertauscht	FW
1	28	4	14,3%	4	14,3%	5	17,9%	0	0,0%
2	18	12	66,7%	12	66,7%	4	22,2%	0	0,0%
3	17	7	41,2%	8	47,1%	1	5,9%	0	0,0%
4	31	2	6,5%	4	12,9%	3	9,7%	1	3,2%
5	20	0	0,0%	2	10,0%	7	35,0%	0	0,0%
6	22	1	4,5%	3	13,6%	1	4,5%	0	0,0%
7	25	2	8,0%	2	8,0%	6	24,0%	0	0,0%
8	32	5	15,6%	3	9,4%	4	12,5%	0	0,0%
9	25	1	4,0%	1	4,0%	9	36,0%	0	0,0%
	218	34	15,6%	39	17,9%	40	18,3%	1	0,5%

Es wird eine weitere Fehlerunterteilung vorgenommen, um diese noch feiner aufzubereiten und anschließend mögliche Fehlerursachen zuordnen zu können. Diesmal werden alle 83 fehlerhaften Positionen genau einer Unterkategorie zugeordnet

1. Nichts erkannt
2. Eingriff (E) und Ausgriff (A) falsch erkannt
3. E richtig erkannt und kein A erkannt
4. A richtig erkannt und kein E erkannt
5. E und A richtig erkannt und einzelne zusätzliche Detektionen
6. E und A richtig erkannt aber vertauscht (A vor E) und keine zusätzlichen Detektionen
7. E und A richtig erkannt aber vertauscht (A vor E) und zusätzliche Detektionen
8. E richtig erkannt und A falsch erkannt und keine zusätzlichen Detektionen
9. E richtig erkannt und A falsch erkannt und zusätzliche Detektionen
10. E falsch erkannt und A richtig erkannt und keine zusätzlichen Detektionen
11. E falsch erkannt und A richtig erkannt und zusätzliche Detektionen
12. E und A richtig erkannt aber mehrfach
13. E und A richtig erkannt und zusätzliche falsche Mehrfachdetektionen

Tabelle 8 gibt die Fehlerwahrscheinlichkeiten nach der Einteilung in die Unterkategorien an. Es zeigt sich, dass sehr häufig „Nichts erkannt“, „E und A richtig erkannt und einzelne zusätzliche Detektionen“ und „E und A richtig erkannt aber mehrfach bei richtigem Entnahmeort“ auftreten. Somit stellen Entnahmen ohne Erkennung sowie zusätzliche Erkennungen die Hauptprobleme dar. Sie sind zusammen für 65% der Fehler verantwortlich.

Tabelle 8: Fehlerwahrscheinlichkeiten der einzelnen Fehler-Unterkategorien im ersten Feldtest

Fehler- unter- kategorie	Beschreibung	Anzahl fehlerhafter Positionen	FW bzgl. aller 218 Positionen	FW bzgl. aller 83 fehlerhaften Positionen
1	Nichts erkannt	20	9.2%	24.1%
2	E und A falsch	6	2.8%	7.2%
3	E richtig und kein A	5	2.3%	6.0%
4	A richtig und kein E	3	1.4%	3.6%
5	E und A richtig und einzelne zusätzliche Detektionen	20	9.2%	24.1%
6	E und A richtig aber vertauscht	1	0.5%	1.2%
7	E und A richtig aber vertauscht und zusätzliche Detektionen	0	0.0%	0.0%
8	E richtig und A falsch	6	2.8%	7.2%
9	E richtig und A falsch und zusätzliche Detektionen	1	0.5%	1.2%
10	A richtig und E falsch	4	1.8%	4.8%
11	A richtig und E falsch und zusätzliche Detektionen	1	0.5%	1.2%
12	E und A richtig aber mehrfach	13	6.0%	15.7%
13	E und A richtig und zusätzliche falsche Mehrfachdetektionen	3	1.4%	3.6%
		83	38.1%	100.0%

Durch Auswertung der aufgenommenen Videos der Ein- und Ausgriffe werden im nächsten Schritt mögliche Fehlerursachen bestimmt. Tabelle 9 gibt eine Zusammenfassung der beobachteten Ursachen sowie deren Häufigkeit an. Dabei kann beobachtet werden, dass sehr häufig keine mögliche Ursache bestimmt werden konnte, da ein senkrechter Eingriff vorlag. In einigen Fällen wurden jedoch schräge Ein- und Ausgriffe vertikal oder horizontal sowie sehr geringe Eingriffstiefen (Armband durchstieß die Eingriffsebene nicht) identifiziert. Diese möglichen Fehlerursachen passen sehr gut zu den Beobachtungen im Rahmen der Systemtests (siehe Kapitel 6.2).

Tabelle 9: Mögliche Fehlerursachen und deren Häufigkeit im ersten Feldtest

Aufgetretene Fehlerursachen	Häufigkeit	Anteil in %
normaler Ein- und Ausgriff, nichts Auffälliges	46	55,4%
schräger Ein-/ Ausgriff von oben	11	13,3%
zu wenig weit eingegriffen	10	12,0%
verweilt länger im Fach	6	7,2%
schräger Ein- Ausgriff von rechts	5	6,0%
schräger Ein- Ausgriff von links	1	1,2%
schräger Ein-/ Ausgriff von unten	1	1,2%
schräger Ein-/ Ausgriff von oben und weit vorne eingegriffen	1	1,2%
Hand beim Ausgreifen gedreht	1	1,2%
schräger Ein-/ Ausgriff von rechts und verweilt länger im Fach	1	1,2%
	83	100,0%

Im letzten Schritt werden die beobachteten Fehlerursachen mit den eingeteilten Fehler-Unterkategorien zusammen dargestellt (siehe Tabelle 10 und Tabelle 11). Bei der Fehler-Unterkategorie „Nichts erkannt“ war zwar häufig keine Ursache zu erkennen, in neun Fällen kann jedoch der Fehler durch die zu geringe Eingriffstiefe begründet werden. Auffällig ist auch, dass bei Fehlern mit falsch erkannten Ein- oder Ausgriffen sowie zusätzlichen Erkennungen oft schräge Eingriffe beobachtet wurden. Dies kann durch Ein- oder Ausgriffe über die eingestellten Grenzen zwischen den Entnahmeorten erklärt werden.

Tabelle 10: Fehlerursachen und Fehler-Unterkategorien 1 bis 5 im ersten Feldtest

Fehlerunterkategorie	Beschreibung	Fehlerursachen	Häufigkeit	Anteil
1	Nichts erkannt	zu wenig weit eingegriffen	9	45%
		nichts Auffälliges	8	40%
		verweilt in Fach	1	5%
		schräg von oben	2	10%
			20	100%
2	E und A falsch	nichts Auffälliges	4	67%
		schräg von oben	2	33%
			6	100%
3	E richtig und kein A	nichts Auffälliges	3	60%
		verweilt in Fach	1	20%
		Hand gedreht	1	20%
			5	100%
4	A richtig und kein E	nichts Auffälliges	1	33%
		schräg von rechts	1	33%
		schräg von oben und zu wenig weit eingegriffen	1	33%
			3	100%
5	E und A richtig und einzelne zusätzliche Detektionen	nichts Auffälliges	16	80%
		verweilt in Fach	3	15%
		schräg von unten	1	5%
			20	100%

Tabelle 11: Fehlerursachen und Fehler-Unterkategorien 6 bis 13 im ersten Feldtest

Fehlerunterkategorie	Beschreibung	Fehlerursachen	Häufigkeit	Anteil
6	E und A richtig aber vertauscht	nichts Auffälliges	1	100%
			1	100%
8	E richtig und A falsch	schräg von oben	3	50%
		schräg von rechts	3	50%
			6	100%
9	E richtig und A falsch und zusätzliche Detektionen	schräg von oben	1	100%
			1	100%
10	A richtig und E falsch	nichts Auffälliges	1	25%
		schräg von oben	1	25%
		schräg von rechts	1	25%
		schräg von links	1	25%
			4	100%
11	A richtig und E falsch und zusätzliche Detektionen	schräg von rechts und verweilt in Fach	1	100%
			1	100%
12	E und A richtig aber mehrfach	nichts Auffälliges	12	92%
		verweilt in Fach	1	8%
			13	100%
13	E und A richtig und zusätzliche falsche Mehrfachdetektionen	nichts Auffälliges	2	67%
		schräg von oben	1	33%
			3	100%

Zusätzlich wird das zeitliche Auftreten des Fehlers „Nichts erkannt“ untersucht, um einen möglichen Zusammenhang des Fehlerauftretens mit den Offset-Kalibrierungen zu überprüfen. Dazu werden alle 218 ausgewerteten Auftragspositionen, alle Systemneustarts und Offset-Kalibrierungen in einem Zeitstrahl dargestellt (siehe Anhang D). Die Zahlen eins bis neun geben Entnahmen in den entsprechenden Entnahmeorten an. Grün markierte Zahlen kennzeichnen fehlerfreie Entnahmen und rot markierte Zahlen fehlerbehaftete Positionen. Die zwanzig Fehler „Nichts erkannt“ werden durch blaue Umrandungen der Zahlen angegeben. Der vermutete Zusammenhang zwischen dem Fehler „Nichts erkannt“ und den Offset-Kalibrierungen kann nach dieser Auswertung nicht bestätigt werden. Es gibt sowohl Zeiträume mit vielen Offset-Kalibrierungen und anschließenden fehlerfreien Entnahmen als auch gleiche Zeiträume mit fehlerbehafteten Entnahmen.

9.1.4 Zusammenfassung

Insgesamt kann festgestellt werden, dass bei der Auswertung des ersten Feldtests sehr viele Systemfehler beobachtet werden können. Diese fallen dabei je Entnahmeort stark unterschiedlich aus. Besonders fehleranfällig sind die Entnahmeorte 2 und 3. Bei näherer Untersuchung der Fehler fiel auf, dass häufig Ein- und/oder Ausgriffe falsch erkannt wurden sowie zusätzliche falsche Ein- oder Ausgriffe vom System detektiert wurden. Teilweise konnten den auftretenden Fehlern über die Auswertung der Videoaufnahmen mögliche Ursachen

zugeordnet werden. So war bei einigen Fällen, in denen das System nichts erkannte, eine zu geringe Eingriffstiefe das Problem. Diese Ursachenzuordnung funktionierte aber längst nicht bei allen Fehlern. Des Weiteren konnte kein Zusammenhang zwischen dem Fehlerauftreten und den durchgeführten Offset-Kalibrierungen identifiziert werden. Im Hinblick auf eine Reduzierung von Kommissionierfehlern in der Praxis musste das ValidKomm-System demnach noch stark optimiert werden.

9.2 Zweiter Feldtest

Der zweite Feldtest wurde sieben Wochen nach dem ersten Feldtest bei der AUDI AG in Ingolstadt durchgeführt. Im vorliegenden Kommissionierszenario bei der AUDI AG wurden Verkleidungsteile für Autotüren kommissioniert.

9.2.1 Aufbau

Das ValidKomm-System wurde für diesen Feldtest in ein neues Regal, welches den bestehenden Regalen des Unternehmens glich, integriert (vgl. Abbildung 55). Der Eingriffsrahmen des Systems wurde dabei auf das beschriebene Regal aufgesetzt. Dadurch musste dieses konstruktiv nicht verändert werden. Das Regal weist nun nur mehr vier Entnahmeorte auf, welche über vier gelbe Ziffern in der Abbildung markiert werden. Wie beim ersten Feldtest wurden die Eingriffe wieder über Kameras (C) zusätzlich bildlich erfasst. Dazu befanden sich zwei Kameras an den Seiten des Regals und eine über den Entnahmeorten. Die seitlichen Kameras wurden dabei durch 3D-gedruckte Abdeckungen (D) vor Zusammenstößen mit Lagergütern geschützt. Das Regal war abermals ein Steckregal und verfügte in seinem unteren Bereich über die Basiseinheit (B). Der Laptop (E) zur Videoaufzeichnung war ebenfalls dort untergebracht. Die Position der Antennen im Eingriffsrahmen (A) wird wie in den Systemtests über gelbe Punkte angegeben. In der unteren horizontalen Stange des Eingriffsrahmens waren in diesem Aufbau keine Antennen verbaut. Tests vor dem Feldtest hatten gezeigt, dass diese Antennen bei Mobiltelefonen, welche von den Kommissionierern in der Hosentasche getragen werden, Störungen des Systems verursachen können. Das ValidKomm-System funktionierte auch ohne diese Antennen in gleichem Funktionsumfang.

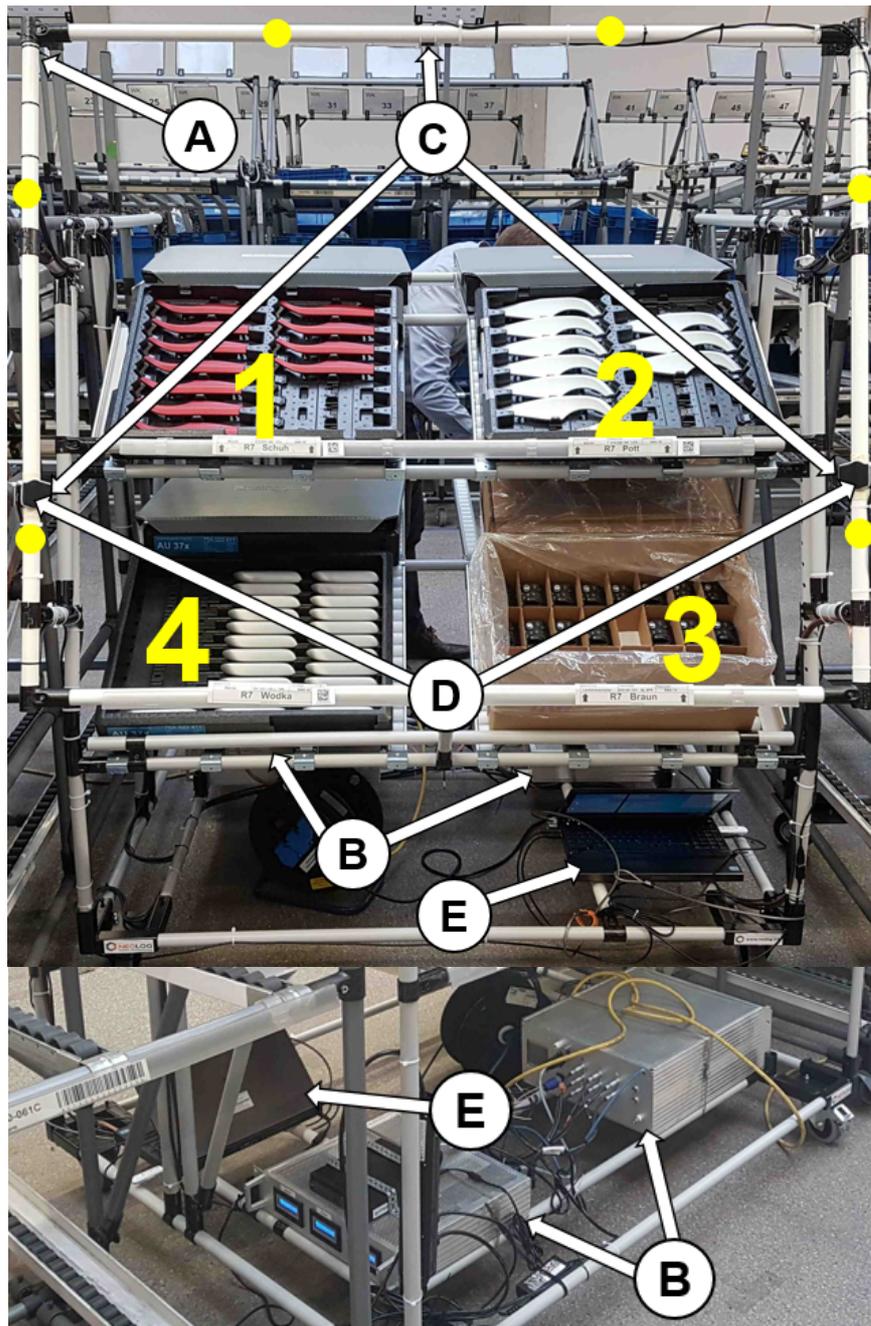


Abbildung 55: Versuchsaufbau des zweiten Feldtests

Zur Verringerung der Erkennungsfehler des Systems wurde die Spule am Kommissionierarmband von einer einfachen zylindrischen Spule in eine dreidimensionale Spule (zusammengesetzt aus drei orthogonalen Spulen) getauscht (siehe Abbildung 56). Es wird erwartet, dass diese Spule unabhängig von ihrer Orientierung zur Eingriffsebene immer gleich gut gelesen werden kann, wodurch die Abhängigkeit der Leseergebnisse von der Eingriffsbewegung sowie der Spulenorientierung beseitigt werden könnte. Zusätzlich wurde im System eine dynamische Offset-Kalibrierung realisiert. Das System führt in voreingestellten Zeitabständen und wenn gerade keine Spule im Umfeld des Eingriffsrahmens erkannt wird selbst Offset-Kalibrierungen durch.



Abbildung 56: Dreidimensionale Spule in Entwicklungszustand links und integriert auf dem Kommissionierarmband rechts

Das Materialflusssystem entsprach einer konventionellen Mann-zu-Ware-Kommissionierung (siehe Kapitel 5.1.1), d. h. die Güter wurden statisch und dezentral in einem Regal bereitgestellt. Die Kommissionierer bewegten sich eindimensional sowie manuell zwischen der Basis und den Entnahmeorten. Dabei führten sie einen Kommissionierwagen zur Ablage der entnommenen Artikel mit sich. Die Abgabe erfolgte an der Basis statisch und zentral. Die Entnahme der Güter wurde manuell durchgeführt, wobei die Kommissionierer je Eingriff einen Artikel auf einmal entnehmen konnten. Es wurde einzonig und auftragsorientiert gearbeitet. Die Informationsbereitstellung wurde über Kommissionierlisten in Papierform realisiert. Jede einzelne Position wurde durch Scannen eines Barcodes am Regal quittiert.

Das Artikelspektrum reichte von kleinen (<5cm) bis mittelgroßen Gegenständen (<30cm), welche größtenteils aus Kunststoff bestanden und nicht verpackt waren. Die Aufträge enthielten eine oder zwei Positionen, wobei je Position immer nur ein Artikel entnommen werden musste.

9.2.2 Durchführung

Für den zweiten Feldtest wurden insgesamt sechs Tage benötigt. Nach einem Tag Aufbau und ersten Funktionstests konnte an fünf aufeinanderfolgenden Tagen getestet werden. Je Wochentag war das System 24 Stunden in Betrieb. Am Samstag dauerte der Betrieb nur bis kurz nach Mittag. Aufgrund eines Dreischichtbetriebs arbeiteten insgesamt elf verschiedene Kommissionierer mit dem ValidKomm-System. Diese wurden an jedem Schichtbeginn vom Schichtleiter für die Benutzung des Systems eingewiesen (z. B. Anlegen des Armbands). Insgesamt konnten an den fünf Testtagen 566 Positionen kommissioniert und überwacht werden.

9.2.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse des zweiten Feldtests werden auf dieselbe Weise wie jene des ersten Tests ausgewertet, um eine einfache Vergleichbarkeit der beiden Feldtests zu ermöglichen. Dazu werden Positionen abermals nur als fehlerfrei betrachtet, wenn alle Ein- und Ausgriffe der jeweiligen Position fehlerfrei erkannt wurden.

Wie in Abbildung 57 ersichtlich, wurden 12% der ausgewerteten Positionen fehlerhaft und 88% fehlerfrei vom System erkannt.

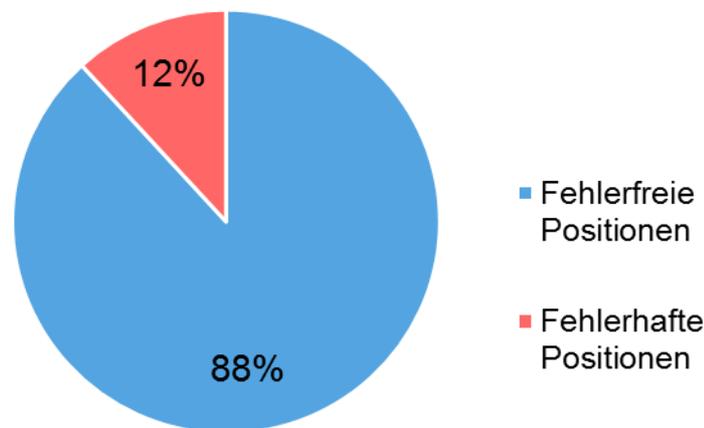


Abbildung 57: Prozentuale Fehlerhäufigkeit aller Positionen des zweiten Feldtests

Die einzelnen Auftragspositionen sowie Fehler je Entnahmeort zeigt Abbildung 58. Es ist zu beobachten, dass die Anzahl der Positionen je Entnahmeort stark unterschiedlich ist (>70% in Entnahmeort vier). Dies ist auf unterschiedliche Artikelbedarfe zurückzuführen. Auffällig sind, wie im ersten Feldtest, die verschiedenen Fehlerwahrscheinlichkeiten je Entnahmeort und die damit verbundenen Fehleranteile. Die Entnahmeorte eins, zwei und drei weisen besonders hohe Fehlerquoten auf (siehe Tabelle 12). Ihre Anteile an der Gesamtfehlerzahl sind trotz der geringen Entnahmemenge immer noch vergleichsweise hoch.

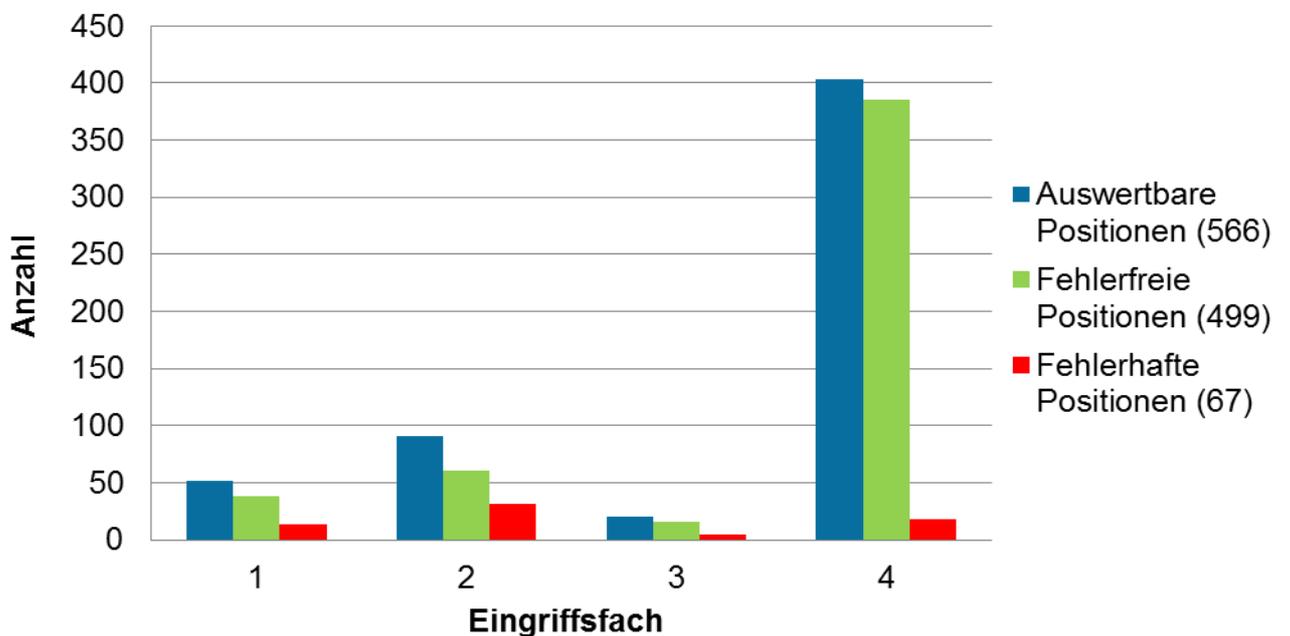


Abbildung 58: Verteilung der Positionen und Fehler über die Entnahmeorte im zweiten Feldtest

Tabelle 12: Fehlerwahrscheinlichkeit und Fehleranteil je Entnahmeort im zweiten Feldtest

Eingriffsfach	Anzahl auswertbarer Positionen	Anzahl fehlerfreier Positionen	Anzahl fehlerhafter Positionen	Fehlerwahrscheinlichkeit	Fehleranteil pro Fach
1	52	38	14	26,9%	20,9%
2	91	60	31	34,1%	46,3%
3	20	16	4	20,0%	6,0%
4	403	385	18	4,5%	26,9%
	566	499	67	11,8%	100,0%

Die Auswertung der Häufigkeit der einzelnen Fehler-Hauptkategorien zeigt Tabelle 13. Vertauschte Ein- und Ausgriffe traten im zweiten Feldtest nicht auf. In den Entnahmeorten eins und zwei gab es besonders häufig Fehler bei der Erkennung des Eingriffs und/oder des Ausgriffs. In Entnahmeort zwei wurden häufig zusätzliche Ein- oder Ausgriffe erkannt.

Tabelle 13: Fehlerwahrscheinlichkeiten FW der einzelnen Fehler-Hauptkategorien im zweiten Feldtest

Eingriffsfach	Anzahl auswertbarer Positionen	I Eingriff falsch erkannt	FW	II Ausgriff falsch erkannt	FW	III Zusätzliche Ein/Ausgriffe erkannt	FW	IV Vertauscht	FW
1	52	10	19,2%	7	13,5%	4	7,7%	0	0,0%
2	91	19	20,9%	8	8,8%	15	16,5%	0	0,0%
3	20	2	10,0%	2	10,0%	2	10,0%	0	0,0%
4	403	14	3,5%	2	0,5%	4	1,0%	0	0,0%
	566	45	8,0%	19	3,4%	25	4,4%	0	0,0%

Tabelle 14 gibt die Fehlerwahrscheinlichkeiten nach der Einteilung in die Unterkategorien an. Es zeigt sich, dass sehr oft „E und A falsch erkannt“, „A richtig erkannt, kein E erkannt“, „E falsch und A richtig und keine zusätzlichen Detektionen“ und „E und A richtig erkannt aber mehrfach bei richtigem Entnahmeort“ auftreten. Die häufigste Fehler-Unterkategorie des ersten Feldtests „Nichts erkannt“ trat nur noch vergleichsweise selten auf. Somit stellen Entnahmen mit falsch erkannter Ein- und Ausgriffsposition, falsch erkannter Eingriffsposition und mehrfach erkannte Entnahmen im richtigen Entnahmeort trotz einzelner Entnahmen die Hauptprobleme dar.

Tabelle 14: Fehlerwahrscheinlichkeiten der einzelnen Fehler-Unterkategorien im zweiten Feldtest

Fehler- unter- kategorie	Beschreibung	Anzahl fehlerhafter Positionen	FW bzgl. aller 566 Positionen	FW bzgl. aller 67 fehlerhaften Positionen
1	Nichts erkannt	3	0.5%	4.5%
2	E und A falsch	10	1.8%	14.9%
3	E richtig und kein A	0	0.0%	0.0%
4	A richtig und kein E	13	2.3%	19.4%
5	E und A richtig und einzelne zusätzliche Detektionen	1	0.2%	1.5%
6	E und A richtig aber vertauscht	0	0.0%	0.0%
7	E und A richtig aber vertauscht und zusätzliche Detektionen	0	0.0%	0.0%
8	E richtig und A falsch	4	0.7%	6.0%
9	E richtig und A falsch und zusätzliche Detektionen	2	0.4%	3.0%
10	A richtig und E falsch	15	2.7%	22.4%
11	A richtig und E falsch und zusätzliche Detektionen	4	0.7%	6.0%
12	E und A richtig aber mehrfach	10	1.8%	14.9%
13	E und A richtig und zusätzliche falsche Mehrfachdetektionen	5	0.9%	7.5%
		67	11.8%	100.0%

Durch Auswertung der aufgenommenen Videos der Ein- und Ausgriffe werden im nächsten Schritt mögliche Fehlerursachen bestimmt. Tabelle 15 gibt eine Zusammenfassung der beobachteten Ursachen sowie deren Häufigkeit an. Dabei kann beobachtet werden, dass abermals in einigen Fällen keine mögliche Ursache bestimmt werden konnte, da ein senkrechter Eingriff vorlag. In den meisten Fällen (61% der Fehler) wurden jedoch Ein- und Ausgriffe nahe der vertikalen oder horizontalen Grenze zwischen den Entnahmeorten als mögliche Ursachen identifiziert.

Tabelle 15: Mögliche Fehlerursachen und deren Häufigkeit im zweiten Feldtest

Aufgetretene Fehlerursachen	Häufigkeit	Anteil in %
Eingriff nahe an horizontaler Fachgrenze	23	34.3%
normaler Ein- und Ausgriff, nichts Auffälliges	17	25.4%
Eingriff nahe an vertikaler Fachgrenze	18	26.9%
schräger Ein-/Ausgriff horizontal	5	7.5%
zu wenig weit eingegriffen	3	4.5%
verweilt länger im Fach	1	1.5%
	67	100%

Im letzten Schritt werden die beobachteten Fehlerursachen mit den eingeteilten Fehler-Unterkategorien zusammen dargestellt (siehe Tabelle 16 und Tabelle 17). Auffällig ist hier, dass bei der Fehlerunterkategorie „A richtig erkannt, kein E erkannt“ immer Eingriffe nahe der vertikalen Grenze zwischen den Entnahmeorten als mögliche Fehlerursachen identifiziert werden können. Das System erkennt somit bei Eingriffen über die Mitte zwischen zwei horizontal nebeneinanderliegenden Entnahmeorten die Eingriffe nicht. Bei der Fehlerunterkategorie „E falsch erkannt und A richtig erkannt und keine zusätzlichen Detektionen“ sind fast ausschließlich Eingriffe nahe der horizontalen Grenze zwischen den Entnahmeorten für die Fehler verantwortlich. Hier wird der Eingriff fälschlicherweise im oberen oder unteren Entnahmeort erkannt. Diese Fehler könnten durch eine Optimierung der Position der horizontalen Grenze zwischen den Entnahmeorten beseitigt werden. Die beobachtete Fehlerursache „zu wenig weit eingegriffen“ tritt nur bei Fehlern mit Mehrfachdetektionen auf (Unterkategorien 12 und 13). Dies deutet auf eine fälschliche Erkennung vor der eigentlichen Eingriffsebene hin.

Tabelle 16: Fehlerursachen und Fehler-Unterkategorien 1 bis 8 im zweiten Feldtest

Fehlerunterkategorie	Beschreibung	Fehlerursachen	Häufigkeit	Anteil
1	Nichts erkannt	nichts Auffälliges	3	100%
			3	100%
2	E und A falsch	Grenze horizontal	6	60%
		schräg horizontal	3	30%
		nichts Auffälliges	1	10%
			10	100%
4	A richtig und kein E	Grenze vertikal	13	100%
			13	100%
5	E und A richtig und einzelne zusätzliche Detektionen	nichts Auffälliges	1	100%
			1	100%
8	E richtig und A falsch	nichts Auffälliges	2	50%
		Grenze horizontal	1	25%
		schräg horizontal	1	25%
			4	100%

Tabelle 17: : Fehlerursachen und Fehler-Unterkategorien 9 bis 13 im zweiten Feldtest

Fehlerunterkategorie	Beschreibung	Fehlerursachen	Häufigkeit	Anteil
9	E richtig und A falsch und zusätzliche Detektionen	Grenze horizontal	1	50%
		verweilt in Fach	1	50%
			2	100%
10	A richtig und E falsch	Grenze horizontal	12	80%
		schräg horizontal	2	13%
		nichts Auffälliges	1	7%
			15	100%
11	A richtig und E falsch und zusätzliche Detektionen	Grenze horizontal	2	50%
		Grenze vertikal	2	50%
			4	100%
12	E und A richtig aber mehrfach	nichts Auffälliges	8	80%
		verweilt in Fach	1	10%
		zu wenig weit eingegriffen	1	10%
			10	100%
13	E und A richtig und zusätzliche falsche Mehrfachdetektionen	verweilt in Fach	2	40%
		zu wenig weit eingegriffen	2	40%
		nichts Auffälliges	1	20%
			5	100%

Da das zeitliche Auftreten der Fehler in Zusammenhang mit den Offset-Kalibrierungen bereits im ersten Feldtest untersucht und ausgeschlossen wurde, wurde im zweiten Feldtest auf diese Betrachtung verzichtet.

Die Vorstellung der Ergebnisse der durchgeführten Fragebogenbefragung der Kommissionierer erfolgt in Kapitel 9.4.

9.2.4 Zusammenfassung

Insgesamt kann festgestellt werden, dass im Zuge des zweiten Feldtests abermals viele Systemfehler aufgetreten sind. Die Anzahl der Entnahmen je Entnahmeort war dabei aufgrund unterschiedlicher Bedarfe stark unterschiedlich. Über 70% der Positionen mussten aus Entnahmeort vier entnommen werden. Die Fehlerwahrscheinlichkeiten wichen ebenfalls stark voneinander ab. Trotz der geringen Entnahmemengen traten in den Entnahmeorten 1 bis 3 die meisten Fehler auf. Bei näherer Untersuchung der Fehler fiel auf, dass häufig Ein- und Ausgriffe falsch erkannt wurden, nur Eingriffe falsch erkannt wurden sowie Ein- und Ausgriffe zwar richtig aber mehrfach vom System detektiert wurden. In den meisten Fällen (>60%) konnten für diese Fehler Eingriffe nahe sowie über die horizontale oder vertikale Grenze zwischen den Entnahmeorten als mögliche Ursachen zugeordnet werden. Es zeigte sich zudem, dass Eingriffe über die vertikale Grenze zwischen den Entnahmeorten häufig nicht erkannt werden und Eingriffe nahe der horizontalen Grenze fälschlicherweise dem oberen oder unteren Entnahmeort zugeordnet werden. Des Weiteren wurden Erkennungen des Systems beobachtet, obwohl der Kommissionierer mit seinem Armband die Eingriffsebene nicht vollständig

durchstoßen hatte. In diesen Fällen erkannte das System sogar mehrere Ein- und Ausgriffe am jeweiligen Entnahmestandort, obwohl der Kommissionierer nur eine Entnahme durchgeführt hatte.

In Hinblick auf eine Reduzierung von Kommissionierfehlern in der Praxis muss das ValidKomm-System noch weiter optimiert werden. Ziel des Systems im Produktstadium ist laut Anforderungsdefinition (siehe Kapitel 4) eine Systemfehlerquote ähnlich automatischen Kommissioniersystemen (nach *ten Hompel et al.* ca. 0,01% [Hom-2011, S. 84]).

9.3 Probandentest

Der Probandentest wurde einen Monat nach dem zweiten Feldtest im Labor des Fraunhofer IIS in Nürnberg durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Metallteile (z. B. Schrauben, Scheiben usw.) kommissioniert. Bei diesem Test wurden erstmals das Gesamtsystem aus Regal, Armband, Integrations- und Anwendungsplattform sowie die Informationsweiterleitung an ein WMS getestet. Um auch die Nebenziele Akzeptanz, Bedienbarkeit und Ergonomie zu überprüfen wurden von den Probanden Aufträge einmal ohne und einmal mit dem ValidKomm-System kommissioniert.

9.3.1 Aufbau

Für den Probandentest wurde dasselbe Regal mit Kameras wie im zweiten Feldtest verwendet, weshalb der grundsätzliche Aufbau hier nicht noch einmal beschrieben wird. Einzige Änderung waren LED-Streifen, welche an der Unterseite der einzelnen Entnahmestände angebracht wurden (siehe gelbe Markierungen in Abbildung 59). Diese wurden beim Kommissionieren mit ValidKomm-System zur Meldung richtiger oder falscher Entnahmen an die Kommissionierer eingesetzt. War der Ein- und Ausgriff an einem Entnahmestand richtig, d. h. der vom ValidKomm-System erkannte Entnahmestandort entsprach der im WMS hinterlegten nächsten Auftragsposition, so leuchtete der LED-Streifen an der entsprechenden Position grün. War die Entnahme falsch, dann leuchteten alle LED-Streifen rot. In diesem Fehlerfall musste der Kommissionierer seinen Fehler durch eine anschließende Entnahme am richtigen Entnahmestandort korrigieren. Danach konnte der normale Ablauf wie gewohnt fortgeführt werden. Ein Zurücklegen eines unter Umständen schon fälschlich entnommenen Artikels wurde nicht durchgeführt. Wurden alle Positionen eines Auftrags kommissioniert, so leuchteten nach dem grünen Licht am letzten Entnahmestandort (Bestätigung richtige Entnahme) zusätzlich alle LED-Streifen blau auf, um auf das Auftragsende hinzuweisen.

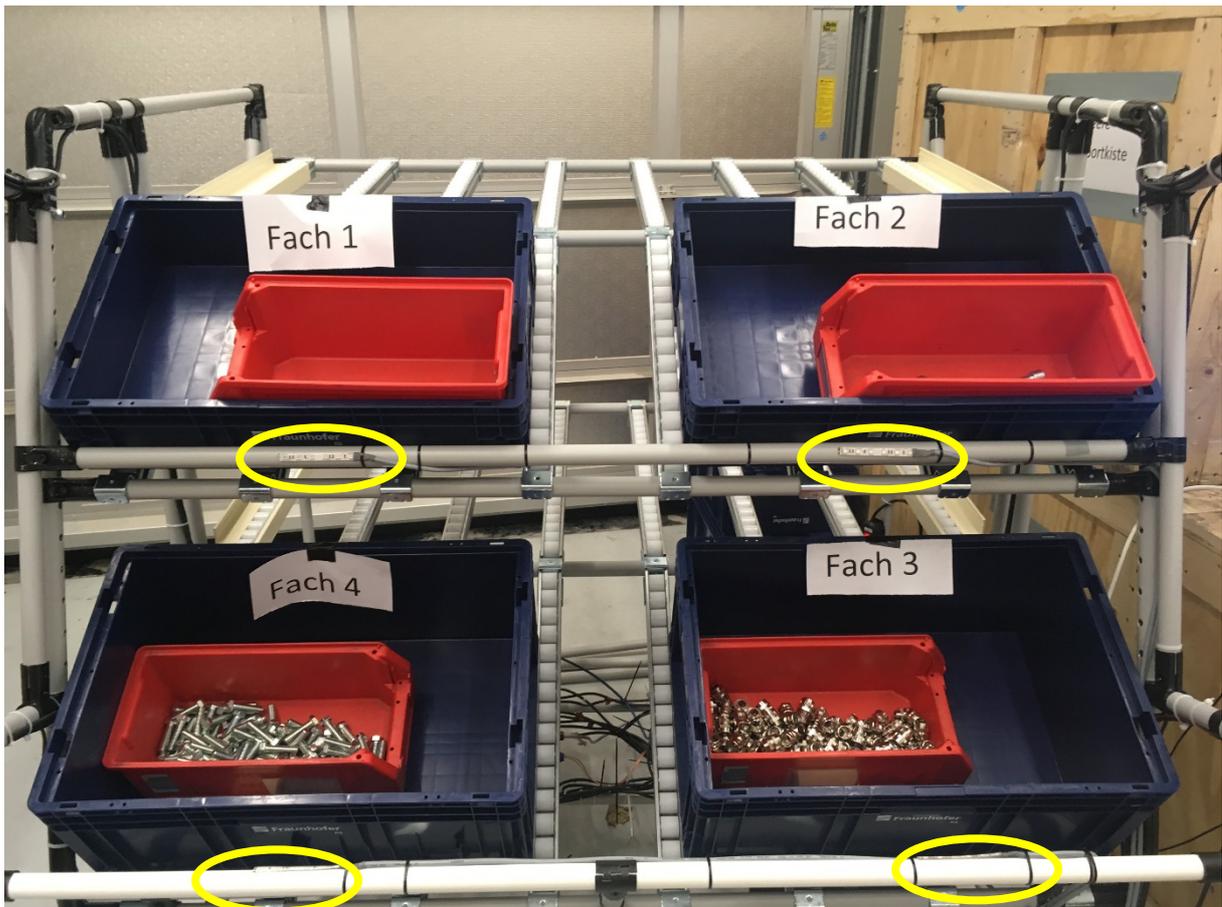


Abbildung 59: Versuchsaufbau des Probandentests

Das Materialflusssystem entsprach einer konventionellen Mann-zu-Ware-Kommissionierung (siehe Kapitel 5.1.1), d. h. die Güter wurden statisch und dezentral in einem Regal bereitgestellt. Die Kommissionierer bewegten sich eindimensional sowie manuell zwischen der Basis und den Entnahmeorten. Die Abgabe erfolgte an der Basis statisch und zentral. Die Entnahme der Güter wurde manuell durchgeführt, wobei die Kommissionierer je Eingriff einen Artikel auf einmal entnehmen konnten. Für den Transport der Artikel wurde ein Behälter eingesetzt. Es wurde einzonig und auftragsorientiert gearbeitet. Die Informationsbereitstellung wurde durch Kommissionierlisten in Papierform realisiert. Eine Quittierung der einzelnen Auftragspositionen fand nur beim Kommissionieren mit ValidKomm-System statt. Diese erfolgte durch die Entnahme von jeweils einem Artikel pro Position automatisch.

Das Artikelspektrum umfasste kleine Gegenstände (<5cm), welche aus metallischen Werkstoffen bestanden und nicht verpackt waren.

Für den Probandentest wurden zwei mal zwölf Aufträge (Auftragsgruppe 1 und 2) mit jeweils vier bis acht Positionen zufällig erstellt und im WMS hinterlegt. Die Gesamtzahl der Positionen war in beiden Auftragsgruppen gleich.

9.3.2 Durchführung

Für den Probandentest wurde insgesamt ein Tag benötigt. Dabei nahmen 17 unterschiedliche Probanden am Test teil. Je Proband standen 15 Minuten Testzeit zur Verfügung. In dieser Zeit erfolgte eine kurze Einweisung in den Testablauf sowie das System. Danach kommissionierte der Proband zwölf Aufträge ohne ValidKomm-System (Auftragsgruppe 1) und anschließend ebenso viele mit dem System (Auftragsgruppe 2). Am Ende wurde ein Fragebogen zur Erfahrung mit den beiden Kommissionierarten ausgefüllt.

Insgesamt konnten durch die 17 Probanden zweimal 1207 Positionen kommissioniert und vom System überwacht werden. Die durchschnittliche Bearbeitungsdauer für die

Kommissionierung der zwölf Aufträge ohne und mit System war mit 3 Minuten 52 Sekunden bzw. 3 Minuten 57 Sekunden nahezu identisch. Die Arbeit mit dem ValidKomm-System führt somit zu keiner signifikanten Veränderung der Kommissionierzeit. Das Ziel, die Kommissionierzeit nicht zu beeinflussen, kann als erreicht angesehen werden.

In der nachfolgenden Ergebnisdarstellung werden nur jene Positionen beschrieben, welche mit dem ValidKomm-System kommissioniert wurden, da nur diese für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Systems ausschlaggebend sind. Die Kommissionierung der Auftragsgruppe 1 ohne System war nötig, um den Probanden eine Alternative zur Verwendung des ValidKomm-Systems aufzuzeigen. Auf diese Weise konnten sie später Fragen zu Vor- und Nachteilen des Systems beantworten. Die Vorstellung der Fragebogenauswertung erfolgt in Kapitel 9.4.

9.3.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse des Probandentests werden abermals auf dieselbe Weise wie bei den beiden Feldtests zuvor ausgewertet, um eine einfache Vergleichbarkeit der Tests zu ermöglichen. Dazu werden Positionen nur als fehlerfrei betrachtet, wenn alle Ein- und Ausgriffe der jeweiligen Position fehlerfrei erkannt wurden. Zudem werden, wie auch bei den Feldtests, nur Systemfehler und keine Fehler der Kommissionierer selbst betrachtet, da diese nur sehr selten auftraten und die Systemfehlerquote des ValidKomm-Systems immer noch vergleichsweise hoch ist.

Wie in Abbildung 60 ersichtlich, wurden vom System 0.8% der ausgewerteten Position fehlerhaft und 99.2% fehlerfrei erkannt.

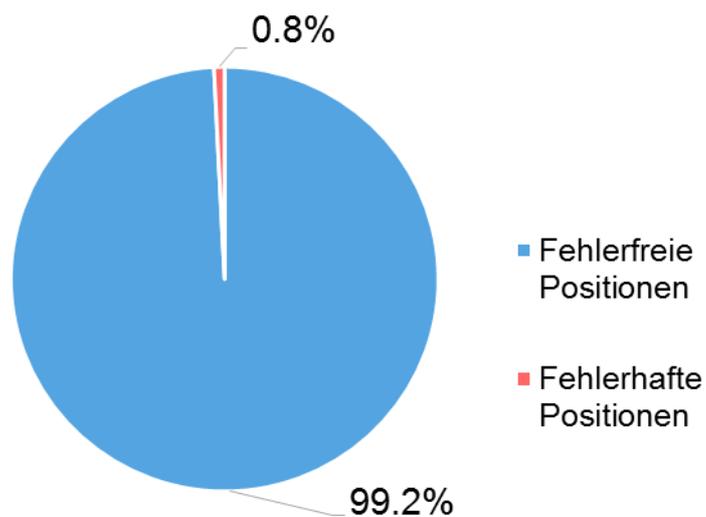


Abbildung 60: Prozentuale Fehlerhäufigkeit aller Positionen des Probandentests

Die einzelnen Auftragspositionen sowie Fehler je Entnahmeort zeigt Abbildung 61. Es ist zu beobachten, dass die Anzahl der Positionen je Entnahmeort durch die zufällige Erstellung der Aufträge nahezu gleich ist. Auffällig sind, wie in den beiden Feldtests, die verschiedenen Fehlerwahrscheinlichkeiten je Entnahmeort und die damit verbundenen Fehleranteile. Fehler traten nur in den Entnahmeorten drei und vier auf (siehe Tabelle 18). Dies sind die beiden unteren Entnahmeorte. Die meisten Fehler weist dabei Entnahmeort vier auf.

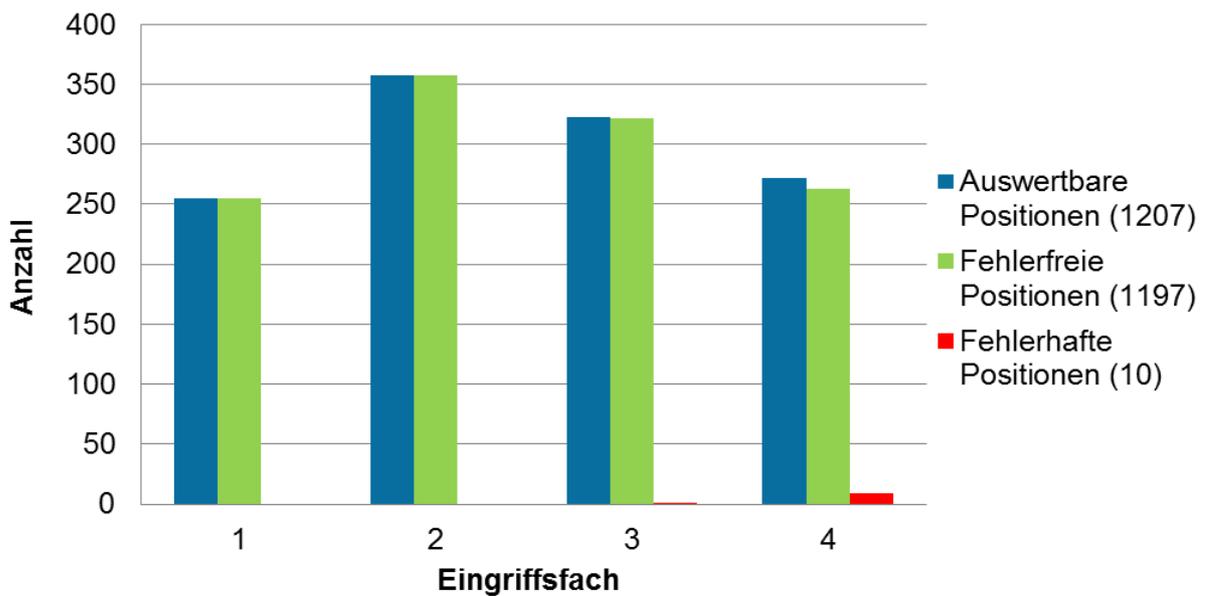


Abbildung 61: Verteilung der Positionen und Fehler über die Entnahmeorte im Probandentest

Tabelle 18: Fehlerwahrscheinlichkeit und Fehleranteil je Entnahmeort im Probandentest

Eingriffsfach	Anzahl auswertbarer Positionen	Anzahl fehlerfreier Positionen	Anzahl fehlerhafter Positionen	Fehlerwahrscheinlichkeit	Fehleranteil pro Fach
1	255	255	0	0.0%	0.0%
2	357	357	0	0.0%	0.0%
3	323	322	1	0.3%	10.0%
4	272	262	9	3.3%	90.0%
	1207	1196	10	0.8%	100.0%

Die Auswertung der Häufigkeit der einzelnen Fehler-Hauptkategorien zeigt Tabelle 19. Vertauschte Ein- und Ausgriffe, zusätzlich erkannte Ein- und Ausgriffe sowie Fehler bei Ausgriffen traten im Probandentest nicht auf. Alle identifizierten Fehler waren somit falsch erkannte Eingriffe.

Tabelle 19: Fehlerwahrscheinlichkeiten der einzelnen Fehler-Hauptkategorien im Probandentest

Eingriffsfach	Anzahl Auswertbarer Positionen	I Eingriff falsch erkannt	FW	II Ausgriff falsch erkannt	FW	III Zusätzliche Ein- / Ausgriffe erkannt	FW	IV Vertauscht	FW
1	255	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
2	357	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
3	323	1	0.3%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
4	272	9	3.3%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	1207	10	0.8%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%

Bei allen falsch erkannten Eingriffen wurde beim Eingriff nichts detektiert (Fehlerunterkategorie „A richtig erkannt, kein E erkannt“). Auf eine Tabellendarstellung wird daher verzichtet.

Durch Auswertung der aufgenommenen Videos der Ein- und Ausgriffe werden als nächstes mögliche Fehlerursachen bestimmt. Tabelle 20 gibt eine Zusammenfassung der beobachteten Ursachen sowie deren Häufigkeit an. Dabei kann beobachtet werden, dass abermals in zwei Fällen keine mögliche Ursache bestimmt werden konnte, da ein senkrechter Eingriff vorlag. In den meisten Fällen wurde jedoch ein schräger horizontaler Eingriff über die vertikale Grenze zwischen den Entnahmeorten hinweg als mögliche Ursache identifiziert. Ein Fehler konnte zudem auf einen zuvor durchgeführten Systemneustart zurückgeführt werden. Das System war zum Zeitpunkt des Eingriffs noch nicht vollständig betriebsbereit.

Tabelle 20: Mögliche Fehlerursachen und deren Häufigkeit im Probandentest

Aufgetretene Fehlerursachen	Häufigkeit	Anteil in %
Normaler Ein- und Ausgriff, nichts Auffälliges	2	20.0%
Schräger Eingriff Horizontal	7	70.0%
20-30 sec vor start System initialisiert	1	10.0%
	10	100%

Da immer dieselbe Fehlerunterkategorie „A richtig erkannt, kein E erkannt“ auftrat, wird auf eine Zuordnung der möglichen Fehler-Ursachen zu den Unterkategorien verzichtet.

Wie bereits zuvor beschrieben, traten von den zehn beobachteten Fehlern neun in Entnahmeort vier und einer in Entnahmeort drei auf. Die in den Videos identifizierte mögliche Fehlerursache für den Fehler in Entnahmeort drei (rechts unten) war ein schräger horizontaler Eingriff eines linkshändigen Probanden (Armband auch links getragen) über die vertikale Grenze zwischen den Entnahmeorten hinweg. Die übrigen sechs Fehlerursachen „schräger Eingriff horizontal“ in Entnahmeort vier (links unten) wurden bei rechtshändigen Probanden erfasst. Es könnte somit ein Zusammenhang zwischen der Händigkeit und dem Auftreten der Fehler bestehen. Für gesicherte Aussagen reicht die vorliegende Datenbasis jedoch nicht aus.

9.3.4 Zusammenfassung

Insgesamt kann festgestellt werden, dass während des Probandentests vergleichsweise wenige Systemfehler beobachtet wurden. Diese traten nur in den unteren Entnahmeorten drei und vier auf, wobei die meisten Fehler in Entnahmeort vier auftraten. Bei näherer Untersuchung der Fehler fiel auf, dass bei allen Fehlern Eingriffe nicht erkannt wurden. Als mögliche Fehlerursachen wurden durch Videoauswertungen hauptsächlich schräge horizontale Eingriffe über die vertikale Grenze zwischen den Entnahmeorten hinweg identifiziert. In einem Fehlerfall wurde das System kurz zuvor neu gestartet und in zwei Fällen konnte keine mögliche Ursache erkannt werden. Bei Betrachtung der Fehlerursachen zusammen mit den einzelnen Entnahmeorten und Videos wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen der Händigkeit der Probanden und des Fehlerauftretens vermutet.

Nach *Rammelmeier* können in der manuellen Kommissionierung Fehlerquoten von 0,1 bis etwas mehr als einem Prozent erwartet werden [Ram-2017, S. 27]. Dabei handelt es sich um Kommissionierfehler, also um Fehler die von den Kommissionierern selbst verursacht werden. Das ValidKomm-System hat zur Aufgabe Typ- und Auslassungsfehler, welche nach *Lolling* ca 50% der Kommissionierfehler ausmachen [Lol-2003, S. 48], zu reduzieren. Somit sollte die Systemfehlerquote des ValidKomm-Systems weit unter den üblichen Kommissionierfehlerquoten und möglichst nahe bei null liegen. Als Richtwert für die Systemfehlerquote des ValidKomm-Systems im Produktstadium wird laut Anforderungsdefinition (siehe Kapitel 4) die Systemfehlerquote bei automatischen Kommissioniersystemen von 0,01% [Hom-2011, S. 84] verwendet. Aus diesem Grund muss das ValidKomm-System für einen Einsatz in der Praxis noch weiter optimiert werden. Als wichtiger Ansatzpunkt ist dabei die Problematik der schrägen

horizontalen Eingriffe über die vertikale Grenze zwischen den Entnahmeorten hinweg zu nennen, da hier viele Fehler auftreten. Der Fehler könnte durch eine physische, bauliche Trennung der Entnahmeorte wie in der vertikalen Richtung erfolgen (z. B. Einbau einer Stange). Aus Aufwands- bzw. Kostengründen wäre jedoch eine softwaretechnische Lösung zu bevorzugen. Die Reduktion der Systemfehler von zweistelligen Prozentwerten im ersten Feldtest bis hin zu unter 1% im abschließenden Probandentest deutet darauf hin, dass die Technologie grundsätzlich für das Kommissionierumfeld geeignet ist.

9.4 Fragebogenauswertungen FML

Wie bereits zuvor beschrieben, wurde im Rahmen des zweiten Feldtests eine Befragung der Kommissionierer zur Akzeptanz und Ergonomie zu Teilen des ValidKomm-Systems durchgeführt. Da die Kommissionierer ohne Rückmeldung des Systems arbeiteten, konnten nur Fragen zum Armband, dem Eingriffsrahmen sowie dem elektromagnetischen Feld gestellt werden.

Bei den Probandentests wurde dann erstmals mit Rückmeldung sowie mit dem Gesamtumfang des Systems getestet. Damit die Probanden eine Alternative zur Arbeit mit dem ValidKomm-System kennenlernen konnten, mussten diese zuerst ohne und dann mit dem System kommissionieren. Auf diese Weise konnten sie später bei der Befragung Angaben zu Vor- und Nachteilen des ValidKomm-Systems tätigen. Ziel war es dabei die Akzeptanz, Ergonomie und Bedienbarkeit des Systems zu überprüfen.

Für die Befragung wurde eine schriftliche Form gewählt, da diese eine einfache Strukturierung, eine standardisierte Datenerhebung und die Anonymität der Personen ermöglicht. Letztere ist für eine ehrliche Beantwortung unerlässlich. [Bor-2006, S. 237]

Der Fragebogen wurde aus einer Einleitung mit einer kurzen Erklärung der Untersuchungsziele sowie des Datenschutzes, geschlossenen Fragen (sechs vorgegebene Antwortmöglichkeiten) mit einer verbalisierten Skala (z. B. „Stimmt überhaupt nicht“, „Stimmt weitgehend“) sowie offenen Fragen (keine Antwortmöglichkeiten vorgegeben) aufgebaut. Bei den geschlossenen Fragen wurden zur Überprüfung der Angaben Kontrollfragen vorgesehen. Beim Fragebogen des Probandentests kam der geschlossene Fragenteil zweimal vor (ohne und mit ValidKomm-System). Die vollständigen Fragebögen sind in Anhang E und F zu finden.

9.4.1 Zweiter Feldtest

Von den elf am Feldtest beteiligten Kommissionierern haben alle einen Fragebogen ausgefüllt. Für die Auswertung konnten jedoch nach Analyse der Kontrollfragen nur zehn Fragebögen herangezogen werden, da ein Fragebogen deutliche Widersprüchlichkeiten aufwies.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der geschlossenen Fragen in kurzer Form zusammengefasst. Die Kontrollfragen werden dabei nicht berücksichtigt, da diese keine neuen Informationen enthalten. Eine ausführliche Darstellung der einzelnen Fragen und Antworten ist in Anhang G enthalten.

Angaben zum Eingriffsrahmen, dem Armband sowie dem elektromagnetischen Feld:

- Der Eingriffsrahmen störte die Kommissionierer bei ihrer Arbeit nicht bis wenig.
- Die meisten Kommissionierer blieben mit dem Armband während des Kommissionierens nicht an anderen Gegenständen hängen.
- Das Anlegen des Armbands bei Arbeitsbeginn zu vergessen sahen fast ausschließlich alle Befragten nicht als Problem an.
- Das Gewicht des Armbands störte fast keinen Kommissionierer.
- Alle Kommissionierer gaben an, dass das Armband sie bei ihrer Arbeit nicht verlangsamte.
- Fast alle Kommissionierer sind vom elektromagnetischen Feld nicht verunsichert.
- Die meisten Kommissionierer empfanden das Tragen des Armbands als unangenehm.

- Die Mehrheit der befragten Personen kann sich vorstellen mit dem System auch dauerhaft zu arbeiten.

Nachfolgend werden die Antworten der befragten Kommissionierer zu den beiden offenen Fragen des Fragebogens zusammengefasst. Diese beschäftigen sich mit den Vor- und Nachteilen des ValidKomm-Eingriffsrahmens sowie des Armbands. Besonders positiv angemerkt wurde, dass durch das System keine zusätzliche psychische Belastung entsteht und keine Sprachkenntnisse zur Benutzung notwendig sind. Negativ wurden die Form und das Material des Armbands bewertet. Viele Befragte empfanden das Armband als zu warm und manche hatten die Befürchtung bei dauerhafter Benutzung einen Hautausschlag zu bekommen. Das Problem der Wärme wurde höchstwahrscheinlich durch die hohen Raumtemperaturen während des Testzeitraums als besonders störend empfunden. Jeweils ein Kommissionierer gab an, dass durch den Eingriffsrahmen ein tieferes Bücken zur Entnahme der Artikel notwendig sei und die Gefahr des Hängenbleibens mit dem Armband an Gegenständen besteht. Ebenfalls angemerkt wurde auch, dass während des Tests Rücksicht auf die Kameras genommen werden musste. Diese Informationen sind für einen späteren Praxiseinsatz jedoch nicht relevant, da dann keine Kameras verwendet werden.

Insgesamt zeigt sich, dass der ValidKomm-Eingriffsrahmen und das Armband von den beteiligten Kommissionierern überwiegend positiv bewertet wurden. Fast kein Kommissionierer hat zudem ein Problem mit dem vorherrschenden elektromagnetischen Feld. Einzig negativ fiel der Tragekomfort des Armbands auf. Dieses Problem sollte sich jedoch einfach durch die Verwendung anderer Materialien lösen lassen.

9.4.2 Probandentest

Von den 17 am Probandentest beteiligten Personen konnten nach Analyse der Kontrollfragen alle 17 Fragebögen für die Auswertung herangezogen werden.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der geschlossenen Fragen ohne Kontrollfragen in kurzer Form zusammengefasst. Der erste Teil bezieht sich allgemein auf den Prozess des Kommissionierens. Im zweiten Teil findet ein Vergleich zwischen der Arbeit ohne und mit dem ValidKomm-System statt. Der dritte Teil der geschlossenen Fragen beschäftigt sich wie im zweiten Feldtest mit Angaben zum Eingriffsrahmen, dem Armband sowie dem elektromagnetischen Feld. Eine ausführliche Darstellung der einzelnen Fragen und Antworten ist in Anhang G zu finden.

Angaben zum Kommissioniersystem:

- Die Mehrheit der Probanden empfand die geistige und physische Beanspruchung während des Kommissionierens als niedrig.
- Fast ausschließlich alle Probanden gaben an, dass sie den Kommissionierprozess mit wenig Anstrengung verstehen konnten.
- Nahezu alle Probanden schätzten ihre durchgeführten Arbeiten als erfolgreich bis sehr erfolgreich ein.
- Bei der Frage nach dem Stress während des Kommissionierens zeigte sich keine erkennbare Antworttendenz. Ein Teil fühlte sich gestresst und ein Teil nicht.

Angaben zur Arbeit ohne und mit dem ValidKomm-System:

Tabelle 21: Fragen und Antworten zur Arbeit ohne und mit dem ValidKomm-System während des Probandentests; überwiegend... mehr als die Hälfte, fast ausschließlich... mehr als 85%, ja/nein...alle

Fragen	Antworten	
	ohne System	mit System
Ich fand das Kommissionieren in dieser Form interessant.	überwiegend nein	fast ausschließlich ja

Die Tätigkeit machte mir wenig Spaß.	überwiegend ja	überwiegend ja
Das System zeichnet sich durch seine Übersichtlichkeit aus.	überwiegend ja	ja
Ich würde diese Form des Kommissionierens zur Aufgabenbewältigung empfehlen.	keine eindeutige Tendenz	fast ausschließlich ja
Die Handhabung war einfach zu lernen.	ja	ja
Ich fühlte mich überfordert	fast ausschließlich nein	
Ich war mir manchmal unsicher, ob ich in den richtigen Entnahmeort greife.	keine eindeutige Tendenz	
Das Kommissioniersystem motiviert mich bei der Arbeit.		fast ausschließlich ja
Das System hilft Fehler zu reduzieren.		fast ausschließlich ja

Angaben zum Eingriffsrahmen, dem Armband sowie dem elektromagnetischen Feld:

- Kaum ein Proband war vom elektromagnetischen Feld verunsichert.
- Die meisten Probanden gaben an, dass das System sie bei ihrer Arbeit nicht verlangsamte.
- Kaum ein Proband blieb mit dem Armband während des Kommissionierens an anderen Gegenständen hängen.
- Bezüglich der Frage nach Vergessen auf das Anlegen des Armbands kann keine eindeutige Antworttendenz erkannt werden.
- Der Eingriffsrahmen störte die Probanden bei ihrer Arbeit mehrheitlich nicht.
- Die meisten Probanden fanden das Tragen des Armbands als angenehm.
- Der überwiegende Anteil der Probanden gab an, dass das System ihre Aktionen stets sofort erkannt hat.
- Die meisten Probanden fühlten sich durch die Rückmeldung des Systems sicherer in ihrer Arbeit.
- Der überwiegende Teil der Probanden fühlte sich durch die visuelle Rückmeldung nicht abgelenkt.
- Die Mehrheit der befragten Personen würde das Kommissionieren mit dem System empfehlen.

Nachfolgend werden die Antworten der befragten Probanden zu den offenen Fragen des Fragebogens zusammengefasst. Diese beschäftigen sich mit den Vor- und Nachteilen des Kommissionierens ohne und mit ValidKomm-System.

Besonders positiv wurde beim Kommissionieren ohne ValidKomm-System angemerkt, dass die Arbeit einfach, übersichtlich und verständlich gestaltet ist. Des Weiteren muss nicht auf Feedback gewartet werden. Negativ wurde das Fehlen einer Rückmeldung über die Richtigkeit der Entnahme und die damit verbundene hohe Fehlergefahr bewertet. Beim Arbeiten ohne Eingriffsüberwachung war einigen Probanden zu Folge eine höhere Konzentration erforderlich.

Als Vorteile des Kommissionierens mit ValidKomm-System sahen die Probanden, dass die Komplexität des Kommissionierprozesses nicht erhöht wurde, der Prozess an sich nicht verändert wurde und eine optische Rückmeldung über die Entnahme stattfand. Zusätzlich wurden das geringe Gewicht des Armbands sowie die Position des Eingriffsrahmens als positiv angemerkt. Als verbesserungswürdig wurde die Form der Rückmeldung angegeben. Diese sei in der optischen Form zu wenig sichtbar und teilweise ablenkend. Zudem lag eine gewisse

Zeitverzögerung zwischen Entnahme und Rückmeldung vor. Einige Probanden äußerten den Wunsch nach einer direkten Rückmeldung am Armband (z. B. Vibration). Des Weiteren wurde die Spule am Armband als zu groß bezeichnet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das für den Probandentest verwendete Kommissioniersystem für die Probanden nicht zu beanspruchend oder schwer zu verstehen war. Im Vergleich des Kommissionierens ohne und mit ValidKomm-System schnitt die Arbeit mit System in allen Fragen gleich oder besser als ohne System ab. Die Probanden empfanden das Kommissionieren mit dem ValidKomm-System vor allem interessanter und motivierender. Zudem wurde die Fähigkeit des Systems zur Fehlerreduzierung als hoch eingeschätzt. Ähnlich den Ergebnissen der Befragung im Zuge des zweiten Feldtests wurden auch das Kommissionierarmband und der Eingriffsrahmen positiv bewertet. Diesmal wurde von den Probanden auch der Tragekomfort des Armbands als angenehm empfunden, obwohl dieses zwischen den Tests nicht verändert wurde. Gründe hierfür können die vergleichsweise kurze Tragedauer und die geringere Raumtemperatur sein. Bei den offenen Fragen zeigte sich die gute Bewertung der Rückmeldung bzw. Kontrolle durch das ValidKomm-System sowie des unveränderten Kommissionierprozesses. Verbesserungspotenzial birgt die Form der Rückmeldung. Diese sollte nach Möglichkeit direkt am Armband und ohne Zeitverzögerung erfolgen. Insgesamt würden nahezu alle Probanden die Verwendung des ValidKomm-Systems empfehlen.

9.5 Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit

Der Energieverbrauch der Basisstation mit Regal und Antennen ohne angeschlossenen PC oder sonstige Datenverarbeitungseinheiten liegt aktuell bei 30 Watt. Da es sich hier um einen Prototypen handelt, sind noch nicht alle Baugruppen und Module auf minimalen Energieverbrauch optimiert. Es besteht jedoch noch weiteres Einsparpotential. Die aktuelle Angabe bezieht sich auf den Dauerbetrieb und ist unabhängig ob tatsächlich Eingriffe oder andere Aktionen am Regal stattfinden. Diese haben keinen Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch. Das verwendete passive Wearable verfügt über keine eigene Energiequelle und hat somit keinen eigenen Energieverbrauch vorzuweisen.

Für den aktuellen Prototypen des ValdiKomm-Systems können folgende Kosten abgeschätzt werden:

- Elektronikkomponenten (Platinen, Bauteile, Verdrahtung)	ca.	700 Euro
- Sonstige elektrische Komponenten (Verbindungstechnik)	ca.	80 Euro
- Mechanische Komponenten	ca.	700 Euro
- Kommerzielles Netzteil		39 Euro
- Steuercomputer Basisstation		900 Euro

Diese Preisangaben beziehen sich auf die Fertigung des Prototyps in Einzelstückzahlen und sind nur bedingt repräsentativ für die Fertigung eines Produktes in Stückzahlen.

10 Zusammenfassung und Ausblick

10.1 Zusammenfassung

Im Vorhaben ValidKomm wurde in iterativen Schritten ein System zur Eingriffskontrolle in Kommissionierprozessen entwickelt. Dabei erfolgten erste Ausbaustufen eines Demonstrators mit einem Holzregal, diese wurden angepasst und schrittweise wurde die Technologie in mehreren Durchlaufregalen aus Rohrstecksystemen verbaut. Die letzten Ausbaustufen zeigen dabei auf, wie die Technologie in zukünftigen Produkten verbaut werden könnte. Die unauffällige Integration des Systems innerhalb der Rohre eines Stecksystems gewährt Robustheit gegenüber physischen Störgrößen und verändert den Kommissionierprozess nicht. Im Rahmen der Hannover Messe der Industrie (HMI) wurde abschließend ein Demonstrator mit integriertem Pick-by-Light System vorgestellt (siehe Abbildung 62). Dafür wurden LEDs in den weissen Querstangen des Demonstrators verbaut, die Eingriffsorte anzeigten, umlaufende LEDs zeigten nach getätigtem Eingriff an, ob der Griff korrekt oder nicht erfolgte.



Abbildung 62: ValidKomm Demonstrator auf der HMI 2018

Mit fortschreitender Projektdauer zeigte sich, dass es eine der größten Herausforderungen im Projekt sein würde, die Störanfälligkeit des Systems zu minimieren. Die umgesetzte fortlaufende und automatisierte Rekalibrierung des Systems trägt dazu bei, dass das ValidKomm System auch gegenüber kurzfristigen Einflüssen robust bleibt. Im Rahmen interner Forschungsaktivitäten am Fraunhofer IIS wird in Zukunft weiter an der verbesserten Robustheit

des Systems gegenüber externen Störgrößen geforscht. Zum einen erfolgt dies über die weitere Verbesserung der automatisierten Kalibrierung des Systems, zum anderen soll an der frühzeitigen Erkennung von Störgrößen mit Hilfe von Komponenten aus dem Feld der künstlichen Intelligenz geforscht.

Einen großen Mehrwert bei der Entwicklung und Verbesserung der Systemkomponenten stellen die ausgedehnten Versuchsaufbauten sowohl in der Laborumgebung als auch bei den Praxispartnern dar. Im Rahmen der Laborversuche half die strukturierte und reproduzierbare Testprozedur dabei, Schwachstellen und Entwicklungsbedarfe aufzudecken. Bei den Feldversuchen sorgte insbesondere die unterschiedliche Art und Weise wie die verschiedenen Kommissionierer Ein- und Ausgriffe tätigten für die Realisierung von Optimierungspotenzialen des Systems.

Die größten Potenziale liegen nach wie vor in der Optimierung der hardware-nahen Software sowie ihrer Auswertungskomponenten. Demnach lagen hier auch die Arbeitsschwerpunkte während der Projektlaufzeit. Daneben war ein weiterer Schwerpunkt die Anbringung unterschiedlicher passiver Spulenkörper auf den Wearable Devices. Nur durch das Zusammenspiel von Primärseite und Sekundärseite konnten abschließende Probandentests mit zufriedenstellenden Testergebnissen durchgeführt werden. Hier gilt es weitere Forschungsaktivitäten zu fokussieren. Aufwände in der Schaffung eines aktiven Wearable Device wurden durch das Aufkommen von ausgereiften Pick-by-Watch Verfahren (bspw. von SSI Schäfer oder LUCA) während der Projektlaufzeit in den Hintergrund gestellt.

Die vorliegenden Projektergebnisse haben weitere Forschungspotenziale offenbart, auf die im folgenden Kapitel 10.2 näher eingegangen wird.

10.2 Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten sowie Ausblick

Im Zuge der weitergehenden Optimierung von Kommissionierprozessen können die im Projekt erarbeiteten Entwicklungen zukünftig einen veritablen Baustein darstellen. Auch wenn Kommissionierprozesse immer stärker automatisiert werden, werden auch in Zukunft viele Unternehmen eine klassische Mann-zu-Ware Kommissionierung einsetzen, um die notwendige Flexibilität innerhalb ihrer Prozesse gewährleisten zu können. Die Reduzierung von Kommissionierfehlern wird allerdings eine wichtige Rolle einnehmen, wenn es darum geht die Konkurrenzfähigkeit manueller Prozessabläufe gegenüber automatisierten sicherzustellen. In logistischen Distributionszentren liegen die jährlichen Kosten verursacht durch Kommissionierfehler bei 290.000€ [DAS-13]. Ausgehend von den Kosten eines Prototypensystems, hätten sich damit die Kosten für die Ausstattung von 1000 Regalen mit der ValidKomm-Technologie innerhalb eines Jahres amortisiert. Neben Anwendungen in der Logistik benötigen gerade Kommissionierprozesse bei produzierenden Unternehmen Unterstützung bei der Fehlerminimierung.

Große Potenziale bestehen für den Einsatz der ValidKomm-Technologie insbesondere in der Zusammenstellung von Warenkörben oder Kits in der Automobilindustrie. Hierbei werden sequenziell Artikel kommissioniert und gruppiert, die in späteren Arbeitsschritten bei Montageprozessen verbaut werden. Um sicherzustellen, dass keine Bandstillstände bei der Montage erfolgen, müssen daher alle Waren in richtiger Art und Menge kommissioniert werden. ValidKomm kann dazu beitragen, dass Auslassungsfehler und Art-Fehler bei der Kommissionierung nicht vorkommen und damit zu einer höheren Effizienz der gesamten Wertschöpfungskette beitragen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens haben sich weitere Entwicklungsmöglichkeiten der ValidKomm zugrundeliegenden IndLoc Technologie zur induktiven Nahfeldlokalisierung herauskristallisiert. Neben zahlreichen nicht-funktionalen Potenzialen, wurde ebenso die Möglichkeit entdeckt, Güter mit einem Metallanteil markerlos zu detektieren und identifizieren. In diese Funktion sollen weitere Forschungsaktivitäten münden. Zudem sollen weitere logistische Anwendungen für die Technologie IndLoc untersucht werden: Beispielhaft zu nennen ist die Ausweitung der IndLoc Technologie zur Detektion von Paletten und darauf gelagerten Artikeln, die Anbringung der Technologie an wichtigen Punkten von Materialkreisläufen als „Gate“, um Materialflüsse transparenter zu gestalten oder die Anbringung an Beladepunkten, um die Vollständigkeit von Sendungen zu überprüfen. Parallel dazu werden im Projekt „Digitalisierte Wertschöpfung“, gefördert mit Mitteln des Landes Bayern, die Softwarekomponenten hinter ValidKomm weiter verbessert, zusätzliche Feldtests durchgeführt und dadurch zusätzliche Potenziale der Technologie gehoben.

Eines der größten Potenziale bei der Technologie sind die niedrigen Kosten für das System und seine Teilkomponenten. Ohne Optimierung lagen diese im Projekt bei etwa 2500€ pro Regal. Durch die Verwendung von Standardkomponenten und größeren Stückzahlen könnten die Kosten pro Regal im dreistelligen Bereich liegen. Je nach Anordnung der Fächer und Größe des Regals sind dadurch Kosten unter 100€ pro Fach für die Eingriffsüberwachung mit ValidKomm realisierbar. Denkbare Schritte bei einer Produktisierung wäre eine direkte Kopplung der Technologie an zu kaufende Regale, der Verkauf von Rahmensystemen, welche direkt an Regalen angebracht werden können bzw. ein Verkauf von Steckelementen mit denen Rahmen flexibel je nach Bedarf zusammengebaut werden könnten. Optimierungspotenziale stecken jedoch nicht nur in den Elektronikkomponenten für den Rahmen, sondern auch in der Basisstation. Es ist noch zu testen, ob eine Basisstation für mehrere ValidKomm-Regale eingesetzt werden kann, wie viele Regale damit unterstützt werden können und welche Auswirkungen dies auf die Reaktionszeiten haben könnte. Zudem wären auch Umsetzungen mobiler Systeme ohne eine direkte Stromversorgung denkbar. Diese mobilen Systeme könnten auf Kommissionierwägen oder integriert in Transportbehältnissen zum Einsatz kommen.

10.3 Verwendung der zugewendeten Mittel

- FE 1 (Fraunhofer IIS): Es wurden ein wissenschaftlicher Mitarbeiter gemäß A1 im Umfang von 24,17 Personenmonaten sowie technisches Personal gemäß A2 im Umfang von 3,34 Personenmonaten und studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte im Umfang von 22,14 (mit 20 Stunden pro Woche) Personenmonaten eingesetzt. Es wurde eine HP Z440 Workstation als Server angeschafft. Diese kostete im Einkauf bei der Bechtle GmbH&Co KG 3445,47€. Die beschaffte Workstation wurde als Baustein zur Durchführung der Feldtests in AP7 sowie von Labor- und Probandenversuchen beschafft. Beantragt waren 28 Personenmonate für Personal entsprechend A1 und 23 Personenmonate für Personal gemäß A3. Eine Umwidmung der Mittel wurde entsprechend veranlasst.
- FE 2 (TU München, Lehrstuhl fml): Es wurden ein wissenschaftlicher Mitarbeiter im Umfang von 23 Personenmonaten sowie studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte im Umfang von 24 Personenmonaten (mit 20 Stunden pro Woche) eingesetzt. Dies entspricht den beantragten Personenmonaten.

Der Einsatz von wissenschaftlichem Personal war in dieser Form notwendig. Gründe hierfür liegen zum einen in der Durchführung von interdisziplinären Arbeiten zur Realisierung des Demonstrators. Dafür waren sowohl Kenntnisse aus den Fachgebieten Elektrotechnik, Informatik, Mathematik als auch betriebswirtschaftliches Fachwissen notwendig. Bei der Umsetzung und Integration der physischen Komponenten als auch der Realisierung des hochwertigen HMI Demonstrators wurde ebenfalls technisches Personal eingesetzt, um handwerkliche Tätigkeiten fachmännisch durchzuführen. Insbesondere die iterative Entwicklung des Demonstrators für die Feldtests, bei der kontinuierlich die Systemleistung ausgewertet, Algorithmen angepasst und physische Bauteile überarbeitet wurden bedingten den Einsatz von wissenschaftlichem Personal in diesem Maße.

10.4 Ergebnistransfer in Wirtschaft und Forschung IIS

Die im Langantrag vorgestellten Transfermaßnahmen für das Forschungsprojekt konnten im Rahmen der Projektlaufzeit durchgeführt werden. Die Maßnahmen haben zielführend dazu beigetragen das Projekt ValidKomm, die dazugehörige IndLoc-Technologie und die entstandenen Entwicklungen Unternehmen vorzustellen. Besonders hervorzuheben sind die Maßnahmen:

„B3 Präsentation bei dem RFID Anwenderzentrum München“ – Hier konnten das Vorhaben und ein erstes Proof of Concept vor einem hochkarätigen Publikum bestehend aus Anwendern und Anbietern von Auto-ID Technologien vorgestellt werden.

„D1 Vorstellung des Demonstrators auf der Hannover Messe der Industrie“ – Auf einem ausgedehnten Gemeinschaftsstand der Fraunhofer Gesellschaft wurde der ValidKomm Demonstrator in Form eines „Simon Says“-Spiels präsentiert. Der Zulauf der Besucher im Speziellen für den ValidKomm-Demonstrators war aufgrund der exponierten Lage sehr hoch.

„E1 Vorstellung des Projekts in der Fachzeitschrift Hebezeuge und Fördermittel“ – Im Rahmen eines mehrseitigen Artikels von TU München und Fraunhofer IIS wurde das Projekt und die angedachten Entwicklungen dargestellt und damit einer großen Anzahl an interessierten Unternehmen zugänglich gemacht.

Im Folgenden werden gegliedert nach Jahr die durchgeführten Transfermaßnahmen vorgestellt.

Durchgeführte Transfermaßnahmen 2016:

	Ziel	Rahmen	Zeitraum
Maßnahme A: Projektbegleitender Ausschuss (PA)	Der Projektbegleitende Ausschuss (PA) stellt ein tragendes Element in der Konzeption dieses Forschungsvorhabens dar.	A1 Vorstellung des Projekts und Einbringung bedarfsbezogener Anforderungen der KMU	4.Mai 2016
	Er sichert den engen Praxisbezug und sorgt zugleich für eine frühzeitige Weitergabe von Untersuchungsergebnissen während der Projektlaufzeit	A2 Vorstellung und Diskussion von Konzepten	11.November 2016
Maßnahme B: Vorträge	Präsentation von (Teil-) Ergebnissen des Projekts auf Fachtagungen von Industrie und Wissenschaft	B3 Präsentation bei dem „RFID AZM München“	November 2016
	Präsentation von (Teil-) Ergebnissen des Projekts auf Fachtagungen von Industrie und Wissenschaft	B3 Posterpräsentation 33. Deutscher Logistik-Kongress, Berlin	Oktober 2016
Maßnahme C: Internetdarstellung	Elektronische Verbreitung der Forschungsinhalte und -ergebnisse zur Gewinnung weiterer interessierter Unternehmen	C1 Vorstellung des Projekts über den Newsletter des Logistik-Innovations-Zentrums (liz) des Lehrstuhls fml	III. Quartal 2016

Maßnahme F: Übernahme in die Lehre		C2 Internetauftritt des Forschungsvorhabens	ab April 2016, laufende Aktualisierungen
	Einbringung der erarbeiteten Ergebnisse in den Lehrbetrieb	F1 Mitarbeit studentischer Hilfskräfte	Gesamte Projektlaufzeit
		F2 Betreuung von studentischen Qualifikationsarbeiten und Praktika	Gesamte Projektlaufzeit

Durchgeführte Transfermaßnahmen 2017:

	Ziel	Rahmen	Zeitraum
Maßnahme A: Projektbegleitender Ausschuss (PA)	Der Projektbegleitende Ausschuss (PA) stellt ein tragendes Element in der Konzeption dieses Forschungsvorhabens dar. Er sichert den engen Praxisbezug und sorgt zugleich für eine frühzeitige Weitergabe von Untersuchungsergebnissen während der Projektlaufzeit	A1 Vorstellung der Projektergebnisse und Abstimmung der Feldtests	8.Dezember 2017
Maßnahme B: Vorträge	Präsentation von (Teil-) Ergebnissen des Projekts auf Fachtagungen von Industrie und Wissenschaft	B1 Präsentation auf der Messe „LogiMAT“	März 2017
		B3 Präsentation auf dem „Logistikforum“ sowie den „Fraunhofer Technologietagen“	Juli 2017 bzw. November 2017
Maßnahme C: Internetdarstellung	Elektronische Verbreitung der Forschungsinhalte und -ergebnisse zur	C2 Internetauftritt des Forschungsvorhabens	laufende Aktualisierungen

Maßnahme E: Veröffentlichungen	Gewinnung weiterer interessierter Unternehmen	C3 Online Artikel im Portal Factory.net	August 2017
	Präsentation von (Teil-) Ergebnissen des Projekts in Fachzeitschriften	E1 Publikation in einschlägigen Fachzeitschriften wie „Hebezeuge Fördermittel“ und „LogRealWorld“ sowie der „Lebensmittelzeitung“	Januar 2017/ Februar 2017/ November 2017
Maßnahme F: Übernahme in die Lehre	Einbringung der erarbeiteten Ergebnisse in den Lehrbetrieb	F1 Mitarbeit studentischer Hilfskräfte	Gesamte Projektlaufzeit
		F2 Betreuung von studentischen Qualifikationsarbeiten und Praktika	Gesamte Projektlaufzeit

Durchgeführte Transfermaßnahmen 2018:

	Ziel	Rahmen	Zeitraum
Maßnahme A: Projektbegleitender Ausschuss (PA)	Der Projektbegleitende Ausschuss (PA) stellt ein tragendes Element in der Konzeption dieses Forschungsvorhabens dar.	A3 Vorstellung und Diskussion der Projektergebnisse	März 2018
Maßnahme B: Vorträge	Präsentation von (Teil-) Ergebnissen des Projekts auf Fachtagungen von Industrie und Wissenschaft	B3 Präsentation bei den FIS Innovationstagen	16.Mai 2018
Maßnahme D: Messepräsentationen	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	D1 Vorstellung von Projekt und Demonstrator auf der „Embedded World“ und Hannover Messe	Februar und April 2018
Maßnahme E: Veröffentlichungen	Präsentation von (Teil-) Ergebnissen des Projekts in Fachzeitschriften	E1 Einbringung von Teilergebnissen im Rahmen eines Interviews in der DVZ (Deutsche Verkehrs Zeitschrift)	Oktober 2018

Neben den in den Tabellen dargestellten Maßnahmen sind weitere Maßnahmen im Anschluss an die Laufzeit geplant. Aktuell sind mehrere ValidKomm-Demonstratoren in der Forschungseinrichtung 1 in unterschiedlichen Demo-Räumen wie beispielsweise dem Industrie 4.0 Labor ausgestellt. Dort können interessierte Unternehmen den Demonstrator begutachten. Zudem ist geplant weitere Demonstratoren in Pilotanwendungen bei Unternehmen aus Logistik und Produktion einzusetzen sowie externe Industrie 4.0 und Logistik 4.0 Demoräume außerhalb der Forschungseinrichtungen mit Demonstratoren auszustatten. Darüber hinaus werden die Demonstratoren bei Veranstaltungen in der Forschungsstelle 1 im Anschluss an das Vorhaben ausgestellt (Technologiekompas, Logistikforum sowie Veranstaltungen mit lokalen IHKs).

15. Literaturverzeichnis

- [Ama-2018] Amazon Inc.: Amazon Go. <https://www.amazon.com/b?ie=UTF8&node=16008589011>, Aufruf am 19.06.2018.
- [Arn-2007] Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. Springer, Berlin, 2007.
- [Arn-2008] Arnold, D.: Handbuch Logistik. Springer, Berlin, 2008.
- [Bak-2008] Baker and Perotti: UK Warehouse Benchmarking Report, 2008.
- [Bec-2016] Beck, J.: Freiburg. Expertengespräch am 22.06.2016.
- [Bod-2018] Bodega AI Inc.: Everyday Essentials, Instantly. <https://www.bodega.ai/>, Aufruf am 19.06.2018.
- [Bor-2006] Bortz, J.; Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation - Für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer-Medizin-Verl., Heidelberg, 2006.
- [DGU-103-014] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Elektromagnetische Felder. DGUV Nr. 103-014, 2002.
- [DAS-13] DASHÖFER Verlag: Kommissionierungsfehler kosten Unternehmen über 290.000 Euro im Jahr, 2013. Einsehbar unter: <https://www.dashofer.de/dasfibuwissen/kommissionierungsfehler-kosten-unternehmen-mehrals-290.000-euro-pro-jahr.html>
- [DIN-1450] Deutsches Institut für Normung e.V.: Schriften - Leserlichkeit. DIN Nr. 1450, 2013.
- [DIN-9241-125] Deutsches Institut für Normung e.V.: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 125: Empfehlungen zur visuellen Informationsdarstellung. DIN EN ISO Nr. 9241-125, 2018.
- [DIN-9241-303] Deutsches Institut für Normung e.V.: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen. DIN EN ISO Nr. 9241-303, 2012.
- [Fis-1994] Fischer, J. H.: Zero-defect-picking – Neue Strategien in der Kommissionierung. In: VDI-Berichte, Jg. 1131 (1994), S. 11–22.
- [Föl-2009] Föllner, J.: Vergleichsstudie "Pick-by-Voice"-Systeme. In: F+H Fördern und Heben (2009) Nr. 9, S. 468–472.
- [Fra-2018] Fraunhofer IIS Nürnberg: GoalRef - Die Torlinientechnik, Aufruf am 13.06.2018.
- [Glä-2010] Gläser, J.; Laudel, G.: Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. VS Verlag, Wiesbaden, 2010.
- [Gud-2010] Gudehus, T.: Logistik. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2010.

- [Gün-2012a] Günthner W.A.; Rammelmeier T.: Auf dem Weg zur Null-Fehler-Kommissionierung - Neu entwickeltes Konzept mit Zukunftspotenzial. In: f+h Produktgide Intralogistik (2012) Nr. Sonderausgabe, S. 16–18.
- [Gün-2012b] Günthner W.A.; Rammelmeier T.: Vermeidung von Kommissionierfehlern mit Pick-by-Vision. Abschlussbericht. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2012.
- [Gün-2016] Günthner W.A.: Skriptum Förder- und Materialflusstechnik, 2016.
- [Höl-2016] Hölczli, A.; Lang, A.: Pick-by-local-light. Forschungsbericht. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Fraunhofer IIS Nürnberg, Technische Universität München,, 2016.
- [Hom-2011] Hompel, M. ten; Sadowsky, V.; Beck, M.: Kommissionierung. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [KBS-2018a] KBS Industrieelektronik GmbH: Effizienter kommissionieren mit PickTerm Tray – Die universelle Fachausleuchtung für Kommissionierplätze. <https://www.kbs-gmbh.de/systeme/pickterm-tray>, Aufruf am 18.06.2018.
- [KBS-2018b] KBS Industrieelektronik GmbH: Eingriffsüberwachung mit PickTerm Sentinel – Für eine "Nullfehlerkommissionierung". <https://www.kbs-gmbh.de/systeme/pickterm-sentinel>, Aufruf am 19.06.2018.
- [KBS-2018c] KBS Industrieelektronik GmbH: PickTerm Pointer – Die kostengünstige Alternative für die An- und Ausleuchtung einzelner Fächer. <https://www.kbs-gmbh.de/systeme/pickterm-pointer>, Aufruf am 18.06.2018.
- [Koe-2008] Koether, R.; Augustin, S.: Taschenbuch der Logistik. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, op. 2008.
- [Kos-2007] Koster, R. de; Le-Duc, T.; Roodbergen, K. J.: Design and control of warehouse order picking – A literature review. In: European Journal of Operational Research (2007) Nr. 182, 2, S. 481–501.
- [Lol-2003] Lolling, A.: Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten. Shaker, Aachen, 2003.
- [LUC-2018] LUCA GmbH: Pick-Radar. <http://www.luca.eu/de/pick-assistantr>, Aufruf am 20.06.2018.
- [Men-1999] Menk, J.: Beitrag zur Planung qualitätsfähiger Kommissioniersysteme – Ein humanorientierter Ansatz. Verl. Praxiswissen, Dortmund, 1999.
- [Nap-2012] Napolitano, M.: 2012 Warehouse/DC operations survey: mixed signals, 2012.
- [Pin-2004] Pinkster, I.; van de Burgt, B.; Janssen, D.; van Veenendaal, E.: Successful Test Management 2 – An Integral Approach. Springer, 2004.
- [Pro-2016] Projektbegleitender Ausschuss Forschungsprojekt ValidKomm: Nürnberg. Expertengespräch am 04.05.2016.
- [Pul-2009] Pulverich, M.; Schietinger, J.: Handbuch Kommissionierung – Effizient picken und packen. Vogel, München, 2009.

- [Ram-2012] Rammelmeier T.; Galka S.; Günthner W.A.: Fehlervermeidung in der Kommissionierung. In: Logistics Journal (2012)
- [Ram-2017] Rammelmeier T.: Vermeidung und prozessintegrierte Erkennung von Kommissionierfehlern auf Basis der Pick-by-Vision-Technologie. Dissertation. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, 2017.
- [Rei-2009] Reif, R.: Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten Kommissioniersystems. Dissertation. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, 2009.
- [Saf-2018] SafeLog GmbH: Beamer-Shuttle – Ein Gerät für eine unbegrenzte Anzahl von Fächern, Aufruf am 18.06.2018.
- [Shi-2006] Shingo, S.: Zero quality control – Source inspection and the poka-yoke system. Productivity Pr, New York, 2006.
- [SSI-2018] SSI Schäfer Fritz Schäfer GmbH: Wamas Smart Watch Picking. <https://www.ssi-schaefer.com/de-de/software-loesungen/software-produkte/smartwatch-picking-wamas-352544>, Aufruf am
- [Sta-2018] Standard Cognition: AI-powered Checkout – Skip the line. <https://www.standardcognition.com/>, Aufruf am 19.06.2018.
- [VDI-3311] Verein Deutscher Ingenieure: Beleglose Kommissionierung. VDI Nr. 3311, 1998.
- [VDI-3590-1] Verein Deutscher Ingenieure: Kommissioniersysteme - Grundlagen. VDI Nr. 3590-1, 1994.
- [VDI-3590-2] Verein Deutscher Ingenieure: Kommissioniersysteme - Systemfindung. VDI Nr. 3590-2, 2002.
- [VDI-3590-3] Verein Deutscher Ingenieure: Kommissioniersysteme - Praxisbeispiele. VDI Nr. 3590-3, 2002.
- [VDI-3657] Verein Deutscher Ingenieure: Ergonomische Gestaltung von Kommissionierarbeitsplätzen. VDI Nr. 3657, 1993.
- [Wöl-2014] Wölfler M.: Kontextsensitive Arbeitsassistenzsysteme zur Informationsbereitstellung in der Intralogistik. Dissertation. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2014.

16. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht bestehender Informationsbereitstellungssysteme und deren Einteilung in Anlehnung an Günthner [Gün-2016, S. 5]	17
Tabelle 2: Vergleich von Systemen zur Fehlerreduzierung	24
Tabelle 3: Bewertung klassischer Kommissioniersysteme für den Einsatz der induktiven Nahfeldortung; Kommissioniersysteme nach ten Hompel et al. [Hom-2011, S. 66ff.]	28
Tabelle 4: verschiedene Lagergüter (einzeln): praxisnahe Eingriffe, Bereich 30cm vor bis 10cm hinter Ebene; ✓ erfolgreiche Erkennung, X keine Erkennung.....	67
Tabelle 5 Anforderungen an aktives Wearable.....	69
Tabelle 6: Fehlerwahrscheinlichkeit und Fehleranteil je Entnahmeort im ersten Feldtest.....	84
Tabelle 7: Fehlerwahrscheinlichkeiten FW der einzelnen Fehler-Hauptkategorien im ersten Feldtest	85
Tabelle 8: Fehlerwahrscheinlichkeiten der einzelnen Fehler-Unterkategorien im ersten Feldtest	86
Tabelle 9: Mögliche Fehlerursachen und deren Häufigkeit im ersten Feldtest.....	87
Tabelle 10: Fehlerursachen und Fehler-Unterkategorien 1 bis 5 im ersten Feldtest.....	88
Tabelle 11: Fehlerursachen und Fehler-Unterkategorien 6 bis 13 im ersten Feldtest.....	89
Tabelle 12: Fehlerwahrscheinlichkeit und Fehleranteil je Entnahmeort im zweiten Feldtest.	94
Tabelle 13: Fehlerwahrscheinlichkeiten FW der einzelnen Fehler-Hauptkategorien im zweiten Feldtest	94
Tabelle 14:Fehlerwahrscheinlichkeiten der einzelnen Fehler-Unterkategorien im zweiten Feldtest	95
Tabelle 15: Mögliche Fehlerursachen und deren Häufigkeit im zweiten Feldtest.....	95
Tabelle 16: Fehlerursachen und Fehler-Unterkategorien 1 bis 8 im zweiten Feldtest.....	96
Tabelle 17: : Fehlerursachen und Fehler-Unterkategorien 9 bis 13 im zweiten Feldtest.....	97
Tabelle 18: Fehlerwahrscheinlichkeit und Fehleranteil je Entnahmeort im Probandentest .	101
Tabelle 19: Fehlerwahrscheinlichkeiten der einzelnen Fehler-Hauptkategorien im Probandentest.....	101
Tabelle 20: Mögliche Fehlerursachen und deren Häufigkeit im Probandentest	102
Tabelle 21: Fragen und Antworten zur Arbeit ohne und mit dem ValidKomm-System während des Probandentests; überwiegend... mehr als die Hälfte, fast ausschließlich... mehr als 85%, ja/nein...alle.....	104

17. Abkürzungsverzeichnis

A	Ausgriff
AP	Arbeitspaket
AKL	Automatisches Kleinteilelager
E	Eingriff
FW	Fehlerwahrscheinlichkeit
ERP	Enterprise Resource Planning
IAP	Integrations- und Anwendungsplattform
MDT	Mobiles Datenterminal
MTM	Methods-Time Measurement
PA	Projektbegleitender Ausschuss
WMS	Warehouse-Management-System

18. Anhang

10.5 Anhang A - Interviewleitfaden

Leitfadengestütztes Experteninterview zur Analyse von Eingriffsüberwachungs- und Informationsbereitstellungssystemen

A...Anwender

H...Hersteller

Angaben zum Gesprächspartner:

Unternehmen: _____

A H

Interviewpartner: _____

Position: _____

Kontakt Daten: _____

Interviewdatum: _____

Dauer: _____

Allgemeines

1 **H:** Für welche Art von Kommissioniersystemen stellen Sie technische Systeme her? (manuell, halbautomatisch, vollautomatisch)
A: Welche Kommissioniersysteme verwenden Sie in Ihrem Lager? (manuell, halb-automatisch, voll-automatisch)

2 **H:** Welche Informationsbereitstellungs- und Eingriffsüberwachungssysteme werden vertrieben?
A: Welche Informationsbereitstellungs- und Eingriffsüberwachungssysteme werden verwendet?

3 Bitte beschreiben Sie den genauen Kommissionierablauf beginnend mit dem Erhalten eines neuen Kommissionierauftrages.

4 Morphologischer Kasten Informationssystem nach VDI 3590 (entsprechendes ankreuzen/markieren) mit zusätzliche Anmerkungen/Beschreibungen/Erklärungen:

Alternativ: Bitte nennen und beschreiben Sie einige Ihrer Produkte/eingesetzten Kommissioniersysteme:

5 Morphologischer Kasten Materialflusssystem nach VDI 3590 (zutreffendes ankreuzen/markieren) mit zusätzliche Anmerkungen/Beschreibungen/Erklärungen:
Alternative: Nennen Sie die Ihnen bekannten Eingriffsüberwachungssysteme. Verwenden Sie bei Ihren Produkten bereits eines dieser Eingriffsüberwachungssysteme und wenn ja, welche(s)?

6 Morphologischer Kasten Organisationssystem nach VDI 3590 (zutreffendes ankreuzen/markieren) mit zusätzliche Anmerkungen/Beschreibungen/Erklärungen:

7 Welche Kommissionierfehler kommen am häufigsten vor und wie wird beim einem Kommissionierfehler weiter verfahren? Entstehen durch den Fehler weitere Probleme?

8 Welche Stärken hat Ihrer Meinung nach das Kommissioniersystem X?

9 Welche Optimierungspotenziale hat Ihrer Meinung nach das Kommissioniersystem X?

10 **H:** Warum entscheiden sich Ihre Kunden am häufigsten für das Kommissioniersystem X?
A: Warum haben Sie sich für Ihr Lager für das Kommissioniersystem X entschieden?

11 Wie schätzen Sie den Installationsaufwand des Kommissioniersystems X ein?

12 Wie schätzen Sie den Wartungsaufwand ein des Kommissioniersystems X ein?

13 Welche Verfügbarkeit hat das Kommissioniersystem X?

14 **H:** Welches Inventurverfahren eignet sich für Ihr Kommissioniersystem X?
A: Welches Inventurverfahren wird in Ihrem Lager verwendet?

Artikelanalyse

15 **H:** Wie viele unterschiedliche Artikel können mit dem Kommissioniersystem X kommissioniert werden?
A: Wie viele unterschiedliche Artikel kommissionieren Sie in Ihrem Lager?

16 **H:** Für welche Art von Produkten/Teilen/Artikeln ist das Kommissioniersystem üblicherweise einsetzbar?
A: Für welche Art von Produkten/Teilen/Artikeln setzen Sie das Kommissioniersystem üblicherweise ein?

17 **Nur A:** Wie häufig kommt es zu Artikelwechseln? (Wie oft kommen neue Artikel hinzu, werden andere aus dem Sortiment genommen?)

18	Wurde das Lager bzw. Kommissioniersystem X unter bestimmten Aspekten optimiert?
----	---

19	Wie ist/wird das Lager ausgestattet (Anzahl an Hubwagen/Rollwagen/Ameise/Stapler etc.; Stockwerke, Ebenen des Lagers, Außenbereich, etc.)?
----	--

20	Wie häufig kommt es Ihrer Erfahrung nach zu Umbauten jeglicher Art im Lager? Bitte beschreiben Sie die Art des Umbaus.
----	--

Kommissionierung	
-------------------------	--

21	Benutzen Sie eine bestimmte Bewegungsstrategie der Kommissionierer?
----	---

22	Verfolgen Sie in Ihrem Lager eine bestimmte Leergutstrategie?
----	---

23	Verfolgen Sie in Ihrem Lager eine bestimmte Nachschubstrategie?
----	---

24	Wie werden Eilaufträge im System verarbeitet und wie häufig kommt es zu Eilaufträgen?
----	---

25	Welche Behälter (Art, Material, Größe) werden zum Transport der kommissionierten Artikel verwendet?
----	---

26	Welche Kommissionierleistung wird mit dem Kommissioniersystem X erreicht?
----	---

27	Wo und wie finden in der Kommissionierung Kontrollen statt? (Stichproben; Wareneingang/-ausgang; Vor der Versendung zum Abnehmer; jeder Abgabebehälter)
----	---

28	Wie hoch ist die Fehlerquote des Kommissioniersystems X? Welche Kosten entstehen durch die gemachten Fehler?
----	--

Lagereigenschaften	
---------------------------	--

29	Welche Regale werden für den Aufbau des Kommissioniersystems X verwendet?
----	---

30	Für welche Regalabmessungen ist das Kommissioniersystem X geeignet?
----	---

31	Welchen äußeren Einwirkungen kann/muss das Kommissioniersystem X standhalten (besonders hohen Temperaturen, hohe Feuchtigkeit, ...)?
----	--

32	Welchen Funk- und Magnetfeldern ist das Kommissioniersystems X ausgesetzt?
----	--

33	Hat der Picker bei Ihrem Kommissioniersystem Zusatzaufgaben, wie leere Behälter entnehmen oder Verpackungen öffnen?
----	---

Faktor Mensch

34 Wie zufrieden sind die Mitarbeiter mit dem derzeitigen Kommissioniersystem? Was sind typische Kritikpunkte daran?

Lagerverwaltungssystem

35 Welches Warehouse-Management-System (WMS) verwenden Sie in Ihrem Lager?

Wirtschaftliche Aspekte

36 Wie hoch sind die Anschaffungskosten/Installationskosten/Wartungskosten/Systemkosten für das Kommissioniersystem X?

ValidKomm

37 Welchen äußeren Einwirkungen werden die unterschiedlichen Komponenten ausgesetzt sein?

38 Welche Informationen sollen auf dem Display des Armbands angezeigt werden?

39 Welche (Sonder-/Zusatz-) Funktionen muss/sollte das neue System erhalten/zusätzlich haben?

40 Welches Fehleraufmerksamkeitssignal soll für die Fehlererkennungen verwendet werden?

41 Wie soll der Ablauf für eine Fehlerbehebung gestaltet sein?

42 Wie lange sollte die Akkulaufzeit des Kommissionierarmbands idealerweise sein und wie sollte der Ladevorgang gestaltet sein?

43 Worauf sollte beim Entwurf des Kommissionierarmbands geachtet werden?

44 Wie kurz sollte die Reaktionszeit für das neue Kommissioniersystem/Eingriffsüberwachungssystem sein, um möglicherweise ein Herausnehmen des falschen Teils zu verhindern?

45 Soll die Informationsbereitstellung durch das Kommissionierarmband mehrsprachig angeboten werden oder mit Symbolbildern durch das Menü leiten?

46 Für welchen Einsatz eignet sich Ihrer Meinung nach das neue Kommissioniersystem am besten?

47 Wie viel darf das Eingriffsüberwachungssystem pro Stellplatz maximal kosten?

48 Welche Anforderungen haben Sie an das neue Kommissioniersystem/Eingriffsüberwachungssystem?

49	Worin sehen Sie ein Problem bei dem neuen Produkt?
----	--

10.6 Anhang B - Gesamtanforderungsliste

Kommissionierarmband				
funktional				
ID	Merkmal	Ausprägung	Erläuterung	Gewichtung nach MoSCoW
A_03.6.01 B_VDI 3590 Bl1_1	Anzeige Auftragsinformationen	Anzeige auf Display	Ausgewählte Auftragsinformationen (z. B. Entnahme-/Ablagemenge, verbleibende Auftragspositionen) werden am Display dargestellt.	M
	Hinweis Auftragsende	Ton/Licht/Vibration	Der Kommissionierer wird auf das Ende des Auftrags hingewiesen.	S
	Anzeige Akkuladung	Anzeige auf Display	Der Füllgrad des Akkus wird am Display angezeigt	S
	Hinweis geringe Akkuladung	Anzeige auf Display	Beträgt der Füllgrad des Akkus weniger als 20% wird eine entsprechende Warnmeldung angezeigt.	S
	Quittierung manuell	Taste/Schaltfläche	Funktion zur manuellen Quittierung der aktuellen Position	M
A_04.1.07 B_VDI 3311_15	Scan-Funktion	Kamerabasiertes Scannen oder separater Scanner	Das Kommissionierarmband kann 1D/2D-Barcodes scannen.	C
A_07.4.01	Meldung eines Fehleingriffs	Vibration, Ton oder Licht	Zur Meldung eines Fehleingriffs erfolgt ein entsprechender Hinweis an den Kommissionierer.	M
	Anzeige Mitteilung	Anzeige auf Display	Es können verschiedene Mitteilungen angezeigt werden: Systemfehler, Warnung schwerer Artikel, Mitteilung von IAP.	S
A_39.5.01	Eingriffsüberwachung deaktivieren/aktivieren	Taste/Schaltfläche	Über eine Taste kann die Eingriffsüberwachung temporär deaktiviert und aktiviert werden.	W
A_39.7.02	Ruf-Funktion	Taste/Schaltfläche	Die Ruffunktion kann bi-direktional genutzt werden. Der Kommissionierer kann den Vorarbeiter über die IAP rufen und umgekehrt.	C
B_VDI 3311_10	Kommunikation mit IAP	Funknetzwerk	Um Echtzeitdaten übermitteln zu können, muss das System eine online Kommunikation mit dem System aufweisen.	M

A_14.4.01 B_VDI 3311_6	freie Tastenbelegung	Tasten	Physische Tasten am Kommissionierarmband können frei mit Funktionen belegt werden: z. B.: Ruf-Funktion, Nachschub auslösen usw. (Funktionen können von Kunden spezifisch festgelegt/erstellt werden)	S
	Mitteilung eines Fehleingriffs einstellen	Vibration, Ton oder Licht	Es kann zwischen Vibration, Ton und/oder Licht gewählt werden	M
	Fehleingriff Bestätigen	Taste/Schaltfläche	Der Kommissionierer muss mittels einer Taste bestätigen, dass er den Fehleingriff bemerkt hat.	C
	manuelle An-/Abmeldung Kommissionierer	Dialog anzeigen	Der Kommissionierer kann sich über das Armband in der IAP als aktiv/inaktiv melden (Passwortschutz wenn nötig).	M
A_48.2.01	Meldung erfolgreiche automatische Quittierung	Vibration, Ton oder Licht	Bei automatischer Quittierung wird nach jeder erfolgreichen Quittierung ein Signal an den Kommissionierer übermittelt (Ton, Vibration, Licht)	S

Kommissionierarmband				
nicht funktionale Anforderungen				
ID	Merkmal	Ausprägung	Erläuterung	Gewichtung nach MoSCoW
A_04.1.03 B_BGI 523_2	Einfachheit der Informationsdatendarstellung	leicht erkennbar	Auftragsinformationen sollen so einfach wie möglich dargestellt werden, um eine schnelle Informationsaufnahme zu gewährleisten.	S
A_38.4.01 B_VDI 3311_1	Informationsmenge	minimieren	Nur die nötigsten Informationen einfach und intuitiv darstellen.	S
A_39.4.01	Systemanpassungsfähigkeit	hardwareunabhängig	Die Software wird hardwareunabhängig gestaltet, damit eine Übertragung auf ein anderes Produkt einfach möglich ist.	C
A_39.7.07 B_BGI 523_1	Displayhelligkeit	ausreichend	Informationen müssen für den Mitarbeiter auch bei Dunkelheit oder starker Helligkeit gut lesbar sein	M

A_45.0.01	Anzeigesprache	bildlich/intuitiv, Englisch	Die Informationsdarstellungen am Display sollten soweit wie möglich bildlich und intuitiv erfolgen. Texte sollten in englischer Sprache ausgeführt werden.	M
	Mehrsprachigkeit	änderbar	Möglichkeit zur Änderung der Anzeigesprache	C
A_48.6.01	Anderweitige Nutzung	nicht möglich	Die Nutzung des Armbands zu anderen Tätigkeiten als der Kommissionierung sollte nicht möglich sein	M
B_§ 1 II 4 BildscharbV_1	Leserlichkeit	hoch	Die Zeichengröße, sowie der Zeilen- oder Buchstabenabstand spielen eine wichtige Rolle bei der Leserlichkeit von Informationen.	S
B_E DIN EN ISO 9241-125:2016-06_3	Fehlermeldung und Mitteilungen erkennen	zuverlässig	Werden Fehler oder Mitteilungen an den Kommissionierer übermittelt, so muss sichergestellt sein, dass diese vom Kommissionierer auch bei äußeren Einflüssen immer zuverlässig wahrgenommen werden.	M
B_E DIN EN ISO 9241-125:2016-07_4	Leuchtdiodenkontrast	hoch	Ein hoher Leuchtdiodenkontrast verbessert die Leserlichkeit	S
D_14	Datenaustauschgeschwindigkeit mit IAP	Echtzeit	Eingriffsfehler müssen direkt nach dem Eingriff in einen falschen Entnahmeort gemeldet werden, damit der Kommissionierer das falsche Teil gar nicht erst entnimmt	M
A_04.1.06	Produktakzeptanz	hoch	Voraussetzungen für eine hohe Produktakzeptanz sind eine gute Lesbarkeit der angezeigten Informationen, eine intuitive und einfache (schnelle) Bedienung, ein hoher Tragekomfort sowie ein fehlerfreier Prozessablauf.	M
A_37.2.01 B_VDI 3311_16	Robustheit	hoch	Das Kommissionierarmband muss vor Feuchtigkeit und Eindringen von Teilen geschützt sein. Des Weiteren muss es kratzfest und stoßsicher ausgeführt werden.	M
A_42.0.01	Akkukapazität	mind. 8h	Akkulaufzeit mindestens eine Schicht, optimal zwei Schichten. Schichtlänge zwischen 7,7 und 9 h	M
A_43.7.02	induktives Laden	möglich	Das Armband kann induktiv (ohne Anschluss eines Kabels) geladen werden	C

A_48.9.03	Armband-Werkstoff	weich	Das Armband sollte aus einem weichen Werkstoff bestehen oder von einem solchen umgeben sein, um das Zerkratzen von Artikeln zu vermeiden.	S
A_49.5.05	Verschleiß	niedrig	Das Armband muss gegen Verschleiß geschützt werden.	C
B_DIN 1450:2013-04_1	Schriftgröße	9pt (bzw. 7pt)	Mindestgröße der Lese- bzw. Konsultationstexte. Die Lesbarkeit soll auf eine Entfernung von 40 cm (Armband zu Augen) optimiert werden. (Nahpunkt des Pickers ist relevant)	M
B_E DIN EN ISO 9241-125:2016-06_2	Farbgebung	max. 6 versch. Farben	Die maximale Anzahl von verschiedenen Farben mit Bedeutung sollte nicht überschritten werden, um keine Verwirrung zu verursachen (Achtung Rot-Grün-Schwächen)	S
B_DIN EN ISO 9241-303:2012-03_1	Sicherheits- und Warnfarben	Farben	Diese sollen den Definitionen entsprechend verwendet werden.	S
B_VDI 3311_11	Gewicht	so leicht wie möglich	Um ein möglichst ergonomisches und angenehm zu tragendes Produkt zu entwickeln, sollte das Armband möglichst leicht sein.	S
B_VDI 3311_12	Größe	passend für das Kommissionieren	Es soll ein Armband mit Display gewählt werden, auf dem alle nötigen Informationen dargestellt werden können. Da das Display den Greifvorgang nicht behindern soll, darf das Display nicht größer als übliche Unterarmbreiten sein.	M
B_VDI 3657_7	Farbdifferenz	hoch	maximaler Kontrast zwischen Schrift und Hintergrund für bessere Lesbarkeit	S
C_07	Bildschirmauflösung	so hoch wie möglich	Die Bildschirmauflösung ist ein Schlüsselpunkt für die Leserlichkeit der dargestellten Informationen. Daher sollte sie idealerweise hoch sein.	S
C_08	Speicherplatz	groß	Der Speicher muss groß genug sein um die Software des Valid-Komm-Systems ausführen zu können.	M

D_01	Recyclingfähigkeit	möglich	Das Armband sollte leicht von der Technik trennbar sein; Wiederverwendbarkeit der Armbänder/Technik	C
D_02	Produktlebensdauer	hoch	Die Produktlebensdauer sollte möglichst hoch sein	S
D_16	Leserichtung	links oben nach rechts unten	Für Deutschland und das europäische Ausland geeignet.	M
D_17	Struktur der Informationsdarstellung	optimiert	Eine strukturierte Informationsdarstellung soll die Fehlerwahrscheinlichkeit senken.	S
D_18	Bedienung	intuitiv	Um die Einlernphase zu verkürzen und eine möglichst geringe Fehlerquote zu erreichen, sollte die Bedienung intuitiv gestaltet sein.	S
D_23	Ergonomie	hoch	Der Tragekomfort muss hoch genug sein, damit keinerlei gesundheitliche Schäden nach langem Tragen entstehen.	M
	Position Eingriffsspule	fehlerfreie Eingriffserkennung	Die Eingriffsspule(n) muss so an der/den Hand/Händen befestigt sein, dass Eingriffe in Entnahmorte sicher detektiert werden können (auch wenn nur die Fingerspitzen die Regalfrontebene durchstoßen).	M
	Taste/Schaltfläche für manuelle Quitting	hervorgehoben, einfach/sicher zu betätigen	Taste muss farblich hervorgehoben werden, eine ausreichende Größe für häufiges und schnelles Betätigen aufweisen und gegen unabsichtliches Betätigen geschützt sein	M
	Bedienung mit Handschuhen	möglich	Die Bedienung des Kommissionierarmbands soll auch mit Handschuhen möglich sein.	S
A_04.6.02 B_§ 4 II 1 ArbStättV_1	Armbandhygiene	leicht zu reinigen	Das Armband muss leicht zu reinigen sein. Jeder Kommissionierer besitzt eigenes Armband	M
A_04.7.01 B_VDI 3311_18	Akkuwechsel	schnell	Der Akku des Armbands sollte ohne Werkzeug tauschfähig sein	C

Eingriffsrahmen
funktionale Anforderungen

ID	Merkmal	Ausprägung	Erläuterung	Gewichtung nach MoSCoW
	Eingriffserkennung	Eingriffsrahmen	Wenn ein Kommissionierer in das Regal greift und einen Artikel entnimmt oder ablegt, muss dies vom ValidKomm-System erkannt werden. (auch wenn nur mit Fingerspitzen im Regal)	M
A_08.2.02 B_VDI 3590 BI2_6	Erkennung gleichzeitiger Eingriffe	gegeben	Das ValidKomm-system muss in der Lage sein mehrere Eingriffe gleichzeitig zu erkennen. (beidhändiges und paralleles Kommissionieren)	M
B_VDI 3311_10	Kommunikation mit IAP	Funknetzwerk oder LAN-Verbindung	Um Echtzeitdaten übermitteln zu können, muss das ValidKomm-System eine online Kommunikation mit der IAP aufweisen.	M

Eingriffsrahmen				
nicht funktionale Anforderungen				
ID	Merkmal	Ausprägung	Erläuterung	Gewichtung nach MoSCoW
A_49.5.05	Verschleiß	niedrig	Der Eingriffsrahmen muss gegen Verschleiß geschützt werden.	S
A_04.1.01 B_VDI 3590 BI2_3	Skalierbarkeit	gegeben	Der Eingriffsrahmen soll skalierbar ausgeführt sein, damit für unterschiedliche Regalgrößen entsprechende Rahmen erstellt werden können.	M
	Modularisierung	gegeben	Der Eingriffsrahmen sollte auf übliche Regalabmessungen ausgelegt werden. Zur Bestückung einer Regalzeile können dann mehrere Rahmenmodule nebeneinander angeordnet werden	S
A_18.4.01	ergonomische Regalfronten	geneigter Rahmen	Bildet die Regalfront aus ergonomischen Gründen keine vertikale Ebene, so muss auch der Eingriffsrahmen geneigt werden	S
A_11.2.01	Befestigungsmethode	Einfach und multifunktional	Es muss eine Befestigungsmethode ausgewählt werden mit der der Eingriffsrahmen zugleich einfach und schnell auf verschiedenen bestehenden Regaltypen montierbar ist.	M

A_37.2.01 B_VDI 3311_16	Robustheit	hoch	Der Eingriffsrahmen muss gegen Feuchtigkeit und Eindringen von Teilen geschützt sein. Des Weiteren muss es kratzfest und stoßsicher ausgeführt werden.	M
A_49.6.02	Stromversorgung mittels Akku	mind. 8h	Der Eingriffsrahmen kann auch mit einem Akkumulator betrieben werden. Die Akkulaufzeit muss mindestens 1 Schichtlänge betragen (8h)	C
B_VDI 3311_13	Gewicht (Rahmen)	so leicht wie möglich	Um die Montage einfach zu gestalten sollte der Rahmen so leicht wie möglich sein	C
B_VDI 3311_14	Größe (Rahmen)	an Regale angepasst	Die Größe des Rahmens sollte den modularen Regalabmessungen entsprechen. Der Rahmen darf die Größe der Regalfächer nicht vermindern	M
B_DGUV 103-013 (BGR B11)_1	Frequenzbereich	unter max Werten	Einhaltung der maximal zulässigen Werte nach DGUV 103-013	M
D_01	Recyclingfähigkeit	möglich	Der Eingriffsrahmen und die Eingriffsspulen sollten leicht zerlegbar bzw. trennbar sein; Wiederverwendbarkeit der Technik	C
D_02	Produktlebensdauer	hoch	Die Produktlebensdauer sollte möglichst hoch sein	S
D_08	Regalkonstruktion	unverändert	Es soll keine Veränderung der Regalkonstruktion zur Anbringung des Eingriffsrahmens vorgenommen werden müssen	S
A_14.2.04 B_VDI 3657_2	Genauigkeit	hoch	Die Eingriffs-ID sowie die Eingriffskordinaten müssen möglichst genau erfasst werden, damit die IAP später mit ausreichender Sicherheit den Eingriffskordinaten einen entsprechenden Lagerort zuordnen kann.	M
A_16.1.01	Fehleranfälligkeit	niedrig	Die Erkennung der Eingriffs-ID sowie der Eingriffskordinaten muss reproduzierbar sein.	M

	Herzschrittmacher	Warnung	Wenn festgestellt wird, dass das vom Eingriffsrahmen erzeugte Magnetfeld problematisch für Personen mit Herzschrittmacher oder sonstigen medizinisch-elektrischen Implantaten ist, muss in einem ausreichenden Abstand auf die Gefahr hingewiesen werden.	S
	mehrere Rahmen nebeneinander	möglich	Es ist möglich mehrere Eingriffsrahmen direkt nebeneinander (entlang Regalzeile) oder hintereinander (beide Seiten Regalzeile) zu platzieren und zuverlässig/genau zu betreiben.	S
	Größe/Positionierung Basisstation	in Regal integriert	Die Basisstation des Eingriffsrahmens muss so in der Regalkonstruktion integriert werden, dass keine Lagerorte verloren gehen.	S
	Artikelwerkstoff	unabhängig	Das ValidKomm-System kann Eingriffe unabhängig vom Artikelwerkstoff immer zuverlässig und mit ausreichender Genauigkeit erkennen.	S
	Regalwerkstoff	unabhängig	Das ValidKomm-System kann Eingriffe unabhängig vom Regalwerkstoff immer zuverlässig und mit ausreichender Genauigkeit erkennen.	M
A_09.7.01	Installationsaufwand	minimal	Es sollte ein minimaler Montage und Verkabelungsaufwand entstehen.	M
D_14	Datenaustauschgeschwindigkeit mit IAP	Echtzeit	Eingriffsfehler müssen direkt nach dem Eingriff in einen falschen Entnahmeort gemeldet werden, damit Kommissionierer das falsche Teil gar nicht erst entnimmt	M

Integrations- und Anwendungsplattform				
funktionale Anforderungen				
ID	Merkmal	Ausprägung	Erläuterung	Gewichtung nach MoSCoW

	Benutzermanagement	Dialog auf Bildschirm anzeigen	Funktion zum Erstellen/Ändern/Löschen von Benutzerdaten der Kommissionierer. Neben der Angabe des Namens ist die Verheiratung des Benutzers mit den IDs der Armbänder durchzuführen.	M
B_VDI 3311_7	Speichern von Benutzeraktivitäten	Benutzer-Log	Jede Benutzeraktivität wird im jeweiligen Benutzerkonto mit einer Zeitmarke gespeichert. (z. B. 11.10.2016 16:56 Anmeldung, 11.10.2016 16:57 Eingriff Entnahmeort XYZ)	S
	Auftragszuweisung	Software-Funktion	unbearbeitete Aufträge werden automatisch freien sowie aktiven Kommissionierern zugewiesen	M
	Aufträge abrufen	Software-Funktion	IAP sendet Anfrage an WMS zum Abruf neuer Aufträge. Erhaltene Aufträge werden als unbearbeitet markiert und in einer Liste gespeichert.	M
A_04.1.05 B_VDI 3590 BI2_8	Eingriffsquittierung einstellen	manuell/automatisch	Für Positionen mit nur einer Entnahme sowie mehreren zu entnehmenden Artikeln kann separat eingestellt werden ob Entnahmequittierung manuell am Armband oder automatisch erfolgt.	M
A_07.1.01	Fehlerquittierung einstellen	Ja/Nein	Eingriffsfehler müssen vom Kommissionierer quittiert werden.	C
A_39.7.02	Ruffunktion	Mitteilung an Kommissionierer	Die Ruffunktion kann bi-direktional genutzt werden. Kommissionierer können den Vorarbeiter über IAP rufen und umgekehrt.	C
	Anzeige/Senden von Mitteilungen	Software-Funktion	Es können verschiedene Mitteilungen angezeigt und versendet werden: Systemfehler, Ruf von Kommissionierer	S
	Auftragsabwicklung	Software-Funktion	IAP sendet Mitteilungen über Statusupdates der bearbeiteten Aufträge an WMS (z. B.: Quittierung einer Position, Änderung einer Bestandsmenge)	M

	Abgleich Eingriff	Software-Funktion	Wird ein Eingriff vom Eingriffsrahmen gemeldet, so werden die Eingriffskordinaten mit den Grenzen des Entnahmeorts der aktuellen Position der Eingriffs-ID verglichen. Besteht eine Abweichung, so wird ein Fehler an das Armband gemeldet. Besteht keine Abweichung, wird entweder automatisch quittiert oder auf die manuelle Quittierung gewartet. Zufällige Bewegungen der Eingriffsspulen in der Nähe des Eingriffsrahmens dürfen nicht als Eingriff gezählt werden.	M
	Diagnosefunktion	Software-Funktion	Das IAP sende Status-Anfragen an die Armbänder und Eingriffsrahmen. Diese Antworten mit ihrem Funktionsstatus. Auf diese Weise können Systemfehler schnell erkannt werden.	S
A_07.1.02 B_VDI 3590 BI2_9	Zählfunktion	Software-Funktion	Muss an einer Auftragsposition mehr als ein Artikel entnommen werden, so darf der Kommissionierer je Griff nur jeweils einen Artikel entnehmen. Jeder Eingriff wird vom Eingriffsrahmen erfasst und von der IAP mitgezählt. Sind alle Artikel entnommen wird die Position automatisch quittiert. Auf diese Weise können auch Mengenfehler erkannt werden.	C
	automatische Quittierung (1 Artikel je Position)	Software-Funktion	Muss nur ein Artikel je Position entnommen werden, so kann die Entnahme nach erkanntem Eingriff automatisch quittiert werden.	M
	automatische Quittierung (mehrere Artikel je Position)	Software-Funktion	Sind mehrere Artikel je Position zu entnehmen, so wird der Entnahmeort der aktuellen Auftragsposition als aktiv geschaltet. An diesem Entnahmeort sind dann beliebig viele Eingriffe möglich. Sind alle Artikel der aktuellen Position gepickt muss nur in die nächste Position gegriffen werden, um die aktuelle Position zu quittieren und die neue Position zu aktivieren.	M

	Verwaltung der Grenzen zwischen den Entnahmeorten	Bildschirmanzeige + Eingabe	Die Größen der Entnahmeorte je Eingriffsrahmen müssen eingegeben (je Ebene und je Spalte nur 1 Größe möglich), geändert und gelöscht werden können.	M
A_39.7.05	Speichern von Benutzerleistungsdaten	Benutzer-Log	Das System speichert wichtige Leistungsdaten je Kommissionierer: Pickleistung, Fehleingriffsquote (Anzahl Fehleingriffe zu Gesamtzahl Eingriffe)	W
	automatisches Fehlermanagement	Software-Funktion	Fehler werden selbstständig erkannt und behoben. Ist dies nicht möglich erfolgt eine entsprechende Warnung.	S
	Auftragsabbruch		Bei einer Abmeldung des Kommissionierers muss dessen aktueller Auftrag abgebrochen und wieder der Liste unbearbeiteter Aufträge zugeführt werden.	M
	Kommunikation mit WMS	Funk- oder LAN-Verbindung	Die IAP muss über eine online Kommunikation mit dem WMS verfügen.	M

Integrations- und Anwendungsplattform				
nicht funktionale Anforderungen				
ID	Merkmal	Ausprägung	Erläuterung	Gewichtung nach MoSCoW
A_04.1.06	Produktakzeptanz	nötig	Die Produktakzeptanz ist hoch wenn die Software-Ergonomie hoch ist und das System fehlerfrei und schnell funktioniert.	M
D_18	Software Ergonomie	intuitiv	Die Software muss intuitiv und einfach aufgebaut sein, um ein möglichst schnelles Erlernen der Funktionen zu ermöglichen.	S
D_14	Datenaustauschgeschwindigkeit	Echtzeit	Informationen über den Kommissionierprozess müssen in Echtzeit an das WMS gemeldet werden.	M
A_17.7.01 B_VDI 3590 Bl2_2	Änderungen Lagerplatzgröße/Position	einfach/schnell	Einfache/schnelle Anpassung des Systems auf geänderte Regalkonfigurationen und Platzbelegungen.	M

A_38.4.01 B_VDI 3311_3	Informations- menge	minimieren	Nur die nötigsten Informationen einfach und intuitiv darstellen.	S
A_39.4.01	Systemanpas- sungsfähigkeit	hoch	Die ValidKomm-Software muss hardwareunabhängig gestaltet sein, damit ein Übergang zu einem neueren Armband-Produkten ein- fach möglich ist.	S
B_§ 1 II 4 Bild- scharbV_1	Leserlichkeit	hoch	Die Zeichengröße, sowie der Zei- len- oder Buchstabenabstand spie- len eine wichtige Rolle bei der Le- serlichkeit von Informationen.	M
D_15	Erweiterungsfähig- keit	nötig	Bei einem neu hinzukommenden Regal soll der neue Rahmen schnell in das System integriert werden können.	M

Gesamtsystem				
funktionale Anforderungen				
ID	Merkmal	Ausprägung	Erläuterung	Gewichtung nach MoSCoW
	Automatische An- /Abmeldung	An-/Abmelde- rahmen oder beliebiger Rah- men	Der Kommissionierer kann sich über einen Eingriff in einen belie- bigen Eingriffsrahmen oder über einen speziellen An-/Abmelderah- men automatisch an der IAP als aktiv/inaktiv melden. (Abmeldung bei beliebigem Eingriffsrahmen kritisch, da nicht mit normalen Eingriffen für Aufträge verwech- selt werden darf)	C
B_VDI 3311_19	Notfallstrategien	vorhanden (off- line)	Bei einem vollständigen Sys- temausfall muss es einen Alternat- ivvorgang geben, beispielsweise eine papiergebundene Pickliste. Bei Störungen einzelner Armbän- der können Ersatzgeräte genutzt werden.	S
	Notfallmanage- ment	Software-Funk- tion	Bei unvorhergesehenen Unterbre- chungen bspw. einem Stromaus- fall, werden die zu diesem Zeit- punkt aktiven Kommissionierauf- träge von vorn gestartet.	S

A_04.1.10 B_VDI 3590 BI2_7	Ablageüberwachung	Ablagerahmen	Beim artikelorientierten Kommissionieren und auftragsorientierten Ablegen stehen dem Kommissionierer mehrere Ablagebehälter zur Verfügung. Zur Kontrolle des richtigen Ablageorts kann ebenfalls das ValidKomm-System eingesetzt werden.	S
A_07.3.02	Rücksortier-Überwachung	Eingriffsüberwachung	Funktion zur überwachten Rücksortierung von falsch gepickten Artikeln oder bereits gepickten Artikeln aus abgebrochenen Aufträgen. (Ablageinformationen über Informationsbereitstellungssystem mitgeteilt)	C

Gesamtsystem				
nicht funktionale Anforderungen				
ID	Merkmal	Ausprägung	Erläuterung	Gewichtung nach MoSCoW
A_13.1.01 B_VDI 3590 BI2_4	Verfügbarkeit	hoch	Die Verfügbarkeit des Gesamtsystems sollte so hoch wie möglich sein. (nahe 100%)	M
A_12.3.02 B_VDI 3311_21	Instandhaltungsaufwand	gering	Die Komponenten des ValidKomm-Systems müssen einfach und kostengünstig zu warten sowie Instand zu halten sein.	S
A_37.2.03 B_§ 618 BGB_1	Arbeitssicherheit	hoch	Es darf bei bestimmungsgemäßer Ausübung der Tätigkeit (Kommissionieren) selbst bei äußerlichen Extremsituationen (Temperatur, Feuchtigkeit oder Eindringen) zu keiner Gefährdung oder Verletzung der Mitarbeiter kommen.	M
A_31.0.01	Temperaturbereich	0°C-30°C	Das System sollte innerhalb der genannten Temperaturgrenzen problemlos funktionieren.	S
A_37.2.0 B_VDI 3590 BI2_52	Zuverlässigkeit	hoch	Die Erkennung von Eingriffen muss zuverlässig (fehlerfrei, reproduzierbar) möglich sein.	M
B_VDI 3657_9	Luftfeuchtigkeit	bis 70%	Einsatz soll bis 70% rel. Luftfeuchte problemlos möglich sein	S
A_09.7.01	Installationsaufwand	minimal	Es sollte ein minimaler Verkabelungs-/Montage- sowie Einstellungsaufwand entstehen.	S

D_19	Unterbrechung des Auftrags	möglich	Es muss möglich sein die Arbeit am aktuellen Auftrag für eine bestimmte Zeit unterbrechen zu können (z. B.: Pause).	S
B_VDI 3311_9	Investitionskosten	niedrig	Der Invest des Gesamtsystems muss niedriger als jener von funktionsgleichen Systemen (Lichtgitter, Laserscanner usw.) ausfallen. Entscheidend sind hierbei die Kosten je Lagerort. Diese sollten maximal 150€ betragen.	M
A_44.0.01	Fehlerreaktionszeit	niedrig	Um ein Herausgreifen/Ablegen von inkorrekten Teilen zu verhindern, muss die Fehlermeldung vor Entnahme/Ablage des Artikels erfolgen.	M

10.7 Anhang C – Ergebnisse Systemtests

Bereich 0-20cm neben Eingriffsfenster und 20cm vor bis 20 cm hinter Ebene, Spulenorientierung parallel vertikal, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

		1	2	3	4	5	6	7		
	E/A									
M			●				●			
L										
K	●								●	E/A
J	A								A	
I	A								A	
H	A								E/A	
G										
F	●								●	
E										A
D	A								A	
C	A								A	
B	A									
A	A								E/A	

		1	2	3	4	5	6	7		
M			●				●			
L										
K	●								●	
J										
I										
H										
G										
F	●								●	
E										
D										
C										

Bereich 0-30cm vor Ebene, Spulenorientierung parallel vertikal, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

	1	2	3	4	5	6	7
M	E/A						
L	E/A						
K							
J							
I							
H							
G							
F						E/A	
E							
D							
C							
B		E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	
A	E/A						

	1	2	3	4	5	6	7
M							
L							
K							A
J							
I							
H							
G							
F							
E	E/A						
D							
C							

Bereich 0-30cm vor Ebene, Spulenorientierung parallel horizontal, Bewegung parallel horizontal und vertikal, langsamer Eingriff

	1	2	3	4	5	6	7
M							
L							
K	E/A	E/A				E/A	E/A
J	E/A	E/A				E/A	E/A
I							
H							
G							
F	E/A	E/A				E/A	E/A
E	E/A	E/A				E/A	E/A
D	E/A	E/A				E/A	E/A
C							
B							
A							

	1	2	3	4	5	6	7
M							
L							
K							
J	E/A						
I	E/A						
H	E/A						
G	E/A						
F	E/A						
E							
D							
C							

Bereich 30cm vor bis 5cm hinter Ebene, Spulenorientierung parallel vertikal, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

	1	2	3	4	5	6	7
M	E/A						
L	E/A						
K	E/A						E/A
J							
I							
H							
G	E/A						E/A
F	E/A						E/A
E	E/A						E/A
D							
C							
B		E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	
A	E/A						

	1	2	3	4	5	6	7
M		E/A	E/A		E/A	E/A	
L							
K							
J							
I							
H							
G	E/A						E/A
F	E/A						E/A
E	E/A						
D	E/A						
C							

Bereich 30cm vor bis 20cm hinter Ebene, Spulenorientierung senkrecht, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

	1	2	3	4	5	6	7
M	E/A						
L	E/A						
K	E/A						
J	E/A						
I	E/A						
H	E/A						
G	E/A						
F	E/A						
E	E/A						
D	E/A						
C	E/A						
B	E/A						
A	E/A						

	1	2	3	4	5	6	7
M	E/A						
L	E/A						
K	E/A						
J	E/A						
I	E/A						
H	E/A						
G	E/A						
F	E/A						
E	E/A						
D	E/A						
C	E/A						

Bereich 30cm vor bis 20cm hinter Ebene, Spulenorientierung parallel horizontal, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

	1	2	3	4	5	6	7
M		E/A	E/A		E/A	E/A	
L	E/A	E/A					E/A
K	E/A	E/A				E/A	E/A
J	E/A	E/A				E/A	E/A
I	E/A	E/A				E/A	E/A
H	E/A	E/A				E/A	E/A
G	E/A	E/A				E/A	E/A
F	E/A	E/A				E/A	E/A
E	E/A	E/A				E/A	E/A
D	E/A	E/A				E/A	E/A
C							E/A
B							
A							

	1	2	3	4	5	6	7
M							
L	E/A						
K	E/A						
J	E/A						E/A
I	E/A						E/A
H							E/A
G	E/A						E/A
F	E/A						E/A
E	E/A						E/A
D	E/A						E/A
C							
B							
A							

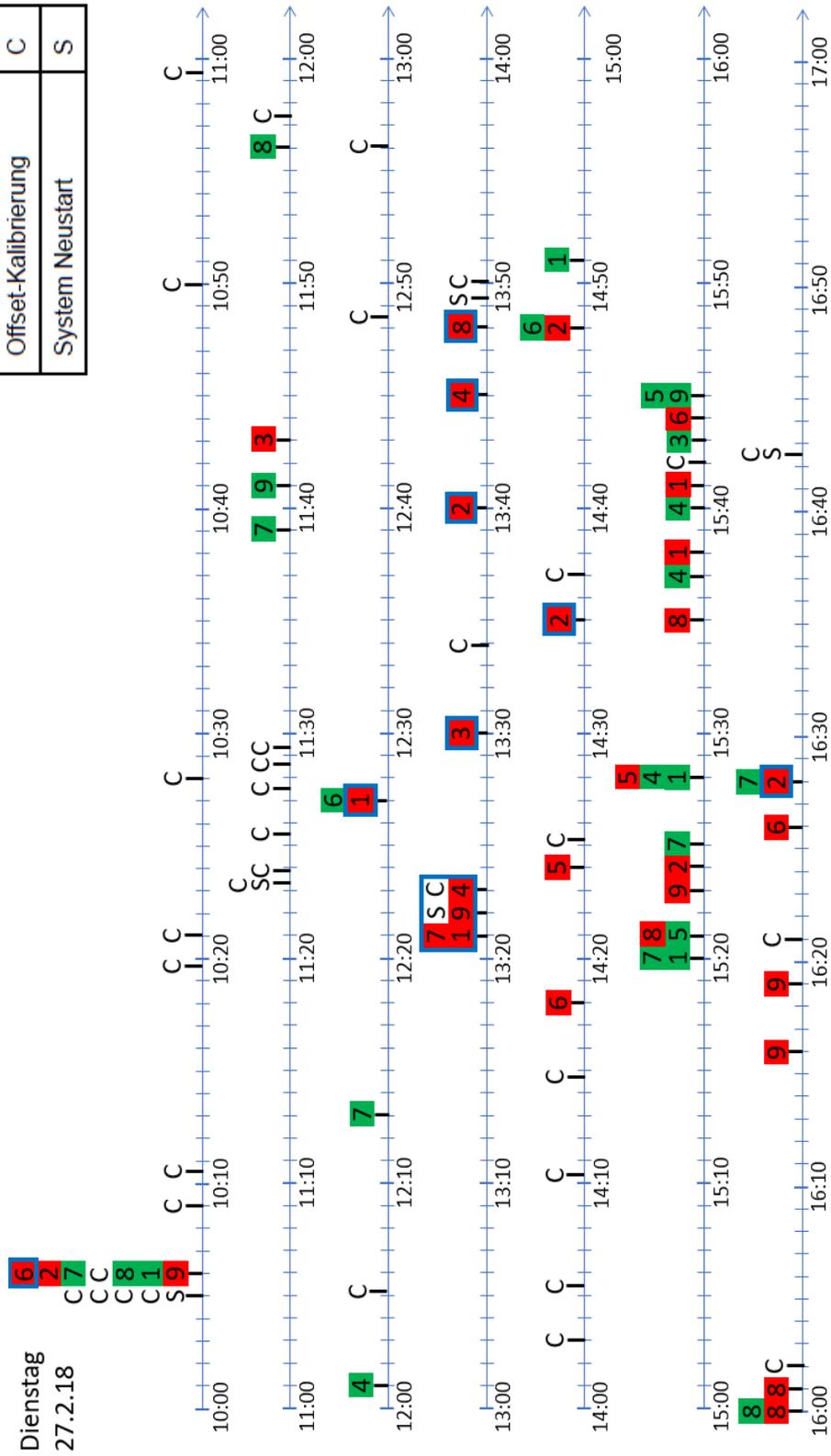
Bereich 30cm vor bis 20cm hinter Ebene, Spulenorientierung parallel vertikal, Bewegung senkrecht, langsamer Eingriff

	1	2	3	4	5	6	7
M	E/A						
L	E/A						
K	E/A						
J	E/A	E			E	E	E/A
I	E/A					E/A	E/A
H							A
G	E/A						A
F	E/A						E/A
E	E/A						E
D							E
C							E
B		E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	E
A	E/A						

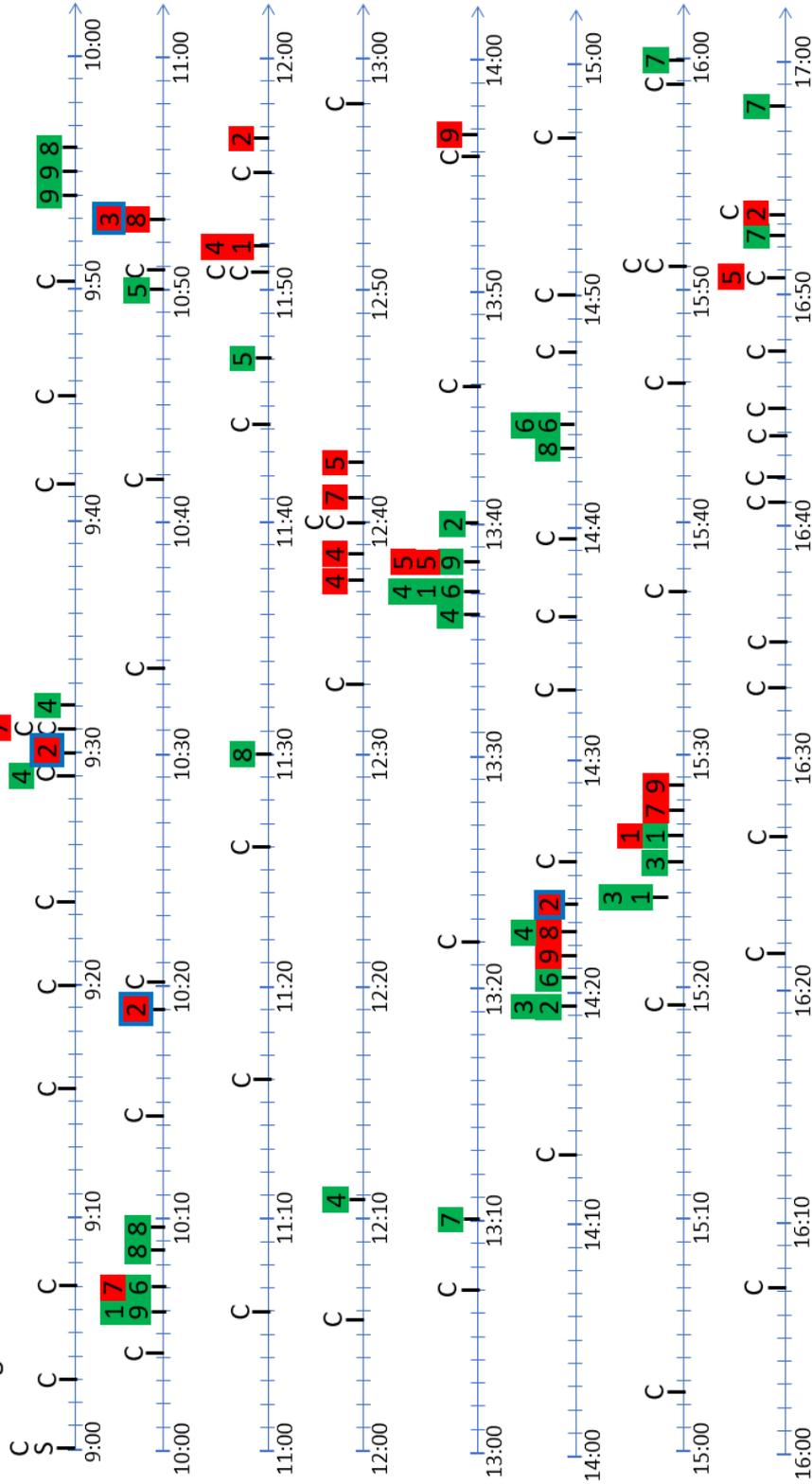
	1	2	3	4	5	6	7
M		E/A	E/A	E/A	E/A	E/A	
L							
K							
J	E/A						E/A
I	E/A						E/A
H							
G	E/A						E/A
F	E/A						E/A
E	E/A						E/A
D	E/A						
C	E/A						
B							
A							

10.8 Anhang D – Untersuchung zeitliches Auftreten der Systemfehler

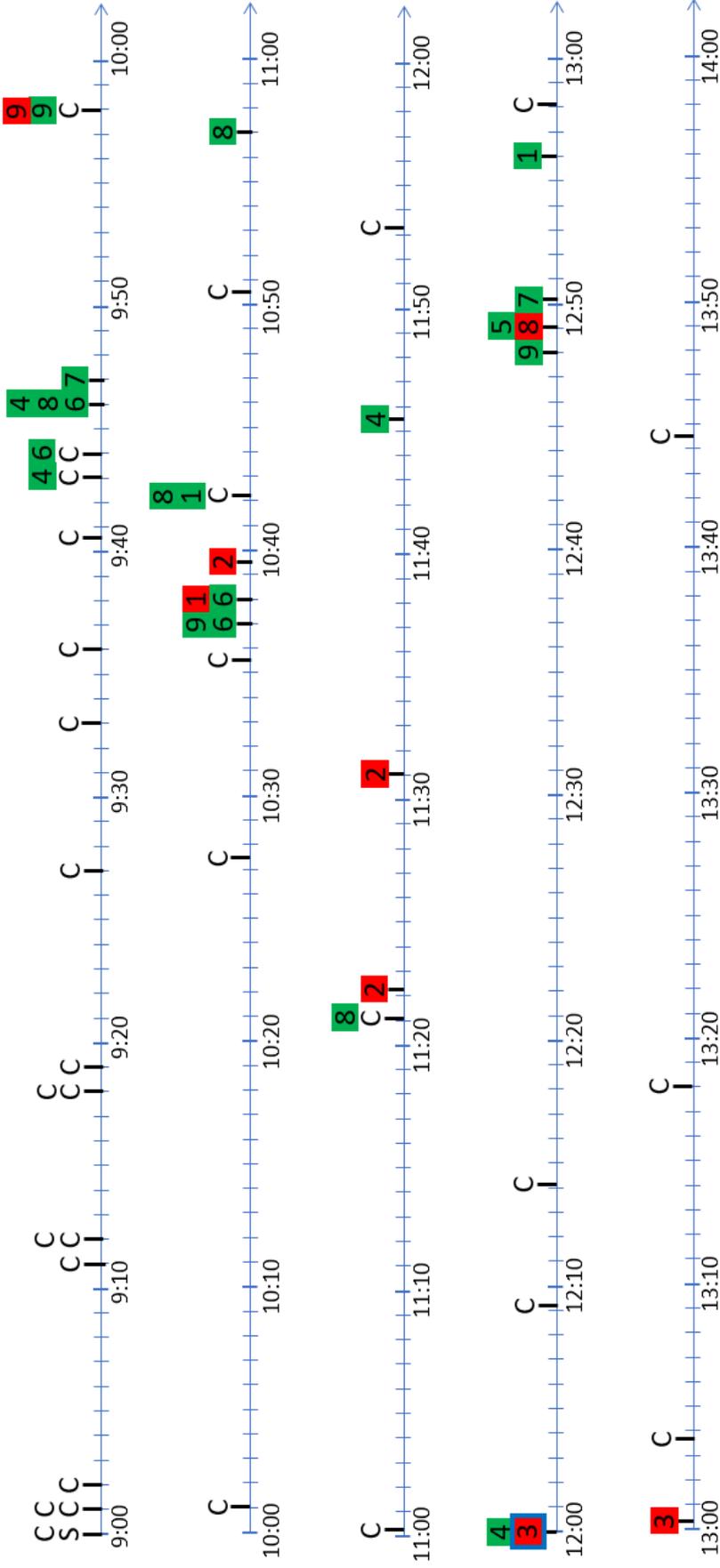
Legende	
	Erkennung richtig
	Erkennung falsch
	keine Erkennung
	Offset-Kalibrierung
	System Neustart



Donnerstag 1.3.18



Freitag 2.3.18



10.9 Anhang E - Fragebogen des zweiten Feldtests



Fragebogen zur Evaluierung des ValidKomm-Systems

Dieser Fragebogen wird im Rahmen des Forschungsprojekts „ValidKomm – Kommissionierarmband zur Validierung von Pickingprozessen“ eingesetzt. Es soll das Potenzial des Systems zur Vermeidung von Kommissionierfehlern untersucht werden.

In diesem Test wird nicht Ihre persönliche Leistung untersucht. Wir möchten damit Ihre Erfahrungen mit dem neuen System und Ihre Meinung über die neu eingesetzte Technik aufnehmen. Die Auswertung des Fragebogens erfolgt anonym.

Durch Ihre Teilnahme unterstützen sie die anwendungsnahe Forschung!

Bitte kreuzen sie je Frage nur eine Antwortmöglichkeit an.

	Stimmt über- haupt nicht	Stimmt weit- gehend nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt ein wenig	Stimmt weit- gehend	Stimmt genau
Der Eingriffsrahmen störte mich beim Kommissionieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bin mit dem Armband an anderen Gegenständen hängen geblieben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Anlegen des Armbandes ist leicht zu vergessen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Gewicht des Armbandes empfand ich als störend.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Armband verlangsamte meine Arbeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Eingriffsrahmen beeinträchtigte mich in meiner Tätigkeit nicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die elektromagnetische Strahlung des Systems verunsichert mich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Tragen eines Armbandes empfand ich als unangenehm.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Armband behinderte mich bei meiner Arbeit nicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kann mir vorstellen das System bei meiner täglichen Arbeit zu verwenden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Was gefällt Ihnen gut am eingesetzten System (Eingriffsrahmen und Kommissionierarmband)?

Welche Nachteile des Systems haben Sie beobachtet (Eingriffsrahmen und Kommissionierarmband)?

Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

10.10 Anhang F - Fragebogen des Probandentests



Fragebogen zur Evaluierung des ValidKomm-Systems

Dieser Fragebogen wird im Rahmen des Forschungsprojekts „ValidKomm – Kommissionierarmband zur Validierung von Pickingprozessen“ eingesetzt. Es soll das Potenzial des Systems zur Vermeidung von Kommissionierfehlern untersucht werden.

In diesem Test wird nicht Ihre persönliche Leistung untersucht. Wir möchten damit Ihre Erfahrungen mit dem neuen System und Ihre Meinung über die neu eingesetzte Technik aufnehmen. Die Auswertung des Fragebogens erfolgt anonym.

Durch Ihre Teilnahme unterstützen sie die anwendungsnahe Forschung!

Allgemeine probandenbezogene Fragen

Probandennummer: _____

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

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

Wie anstrengend war es für Sie die Kommissionierprozesse zu verstehen?

gar nicht anstrengend	<input type="radio"/>	sehr anstrengend					
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------

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

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

Wie gestresst fühlten Sie sich während der Tätigkeit des Kommissionierens?

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



Kommissionieren mit Liste ohne ValidKomm-System

Bitte kreuzen sie je Frage nur eine Antwortmöglichkeit an.

	Stimmt genau	Stimmt weit- gehend	Stimmt ein wenig	Stimmt eher nicht	Stimmt weit- gehend nicht	Stimmt über- haupt nicht
Ich fand das Kommissionieren in dieser Form interessant.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich fühlte mich überfordert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Tätigkeit machte mir wenig Spaß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das System zeichnet sich durch seine Übersichtlichkeit aus.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich würde diese Form des Kommissionierens zur Aufgabenbewältigung empfehlen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Handhabung war einfach zu lernen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich war mir manchmal unsicher, ob ich ins richtige Fach greife.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Was ist besonders gut an diesem Kommissioniersystem (lediglich Kommissionierliste)?

Was sind die Nachteile dieses Kommissioniersystems (lediglich Kommissionierliste)?



Kommissionieren mit Liste und ValidKomm-System

Bitte kreuzen sie je Frage nur eine Antwortmöglichkeit an.

	Stimmt genau	Stimmt weit- gehend	Stimmt ein wenig	Stimmt eher nicht	Stimmt weit- gehend nicht	Stimmt über- haupt nicht
Ich fand das Kommissionieren in dieser Form interessant.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Kommissioniersystem motiviert mich bei der Arbeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Tätigkeit machte mir wenig Spaß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das System zeichnet sich durch seine Übersichtlichkeit aus.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich würde diese Form des Kommissionierens zur Aufgabenbewältigung empfehlen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Handhabung war einfach zu lernen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das System hilft Fehler zu vermeiden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Was gefällt Ihnen gut am eingesetzten Kommissioniersystem (mit ValidKomm-System)?

Welche Nachteile des Kommissioniersystems haben Sie beobachtet (mit ValidKomm-System)?



Fragen bezüglich Eingriffsrahmen und Armband

Bitte kreuzen sie je Frage nur eine Antwortmöglichkeit an.

	Stimmt überhaupt nicht	Stimmt weitgehend nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt ein wenig	Stimmt weitgehend	Stimmt genau
Die elektromagnetische Strahlung verunsichert mich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mit dem Armband bin ich irgendwo hängen geblieben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Armband verlangsamt meine Arbeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Anlegen des Armbandes ist leicht zu vergessen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Eingriffsrahmen beeinträchtigte mich in meiner Tätigkeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Tragen eines Armbandes empfand ich als unangenehm.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch die Rückmeldung des Systems fühle ich mich sicherer beim Arbeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das System hat meine Aktionen stets sofort erkannt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die visuelle Anzeige des Systems lenkt mich zu sehr ab.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich würde das Kommissionieren mit dem System zur Aufgabenbewältigung empfehlen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Angaben zur Person

1. Geschlecht: männlich weiblich

2. Alter: _____

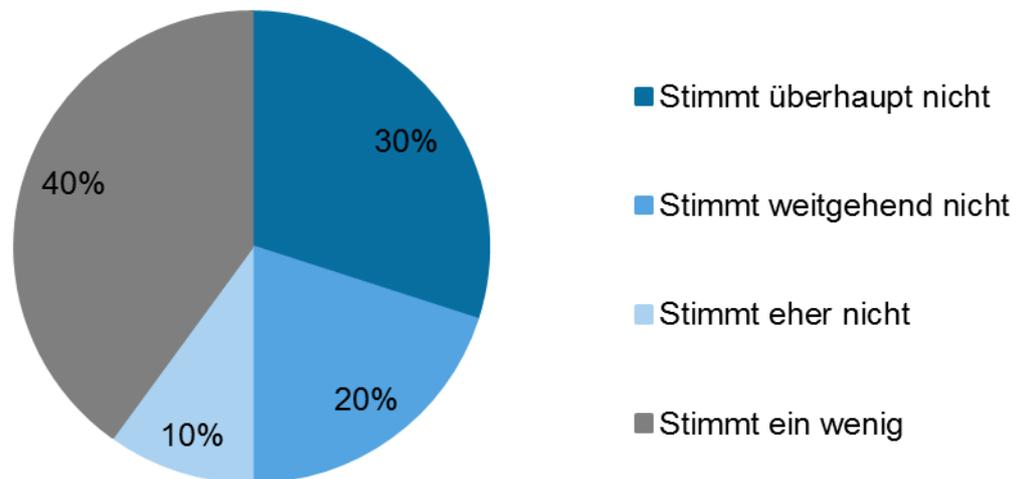
Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

Seite 4 von 4

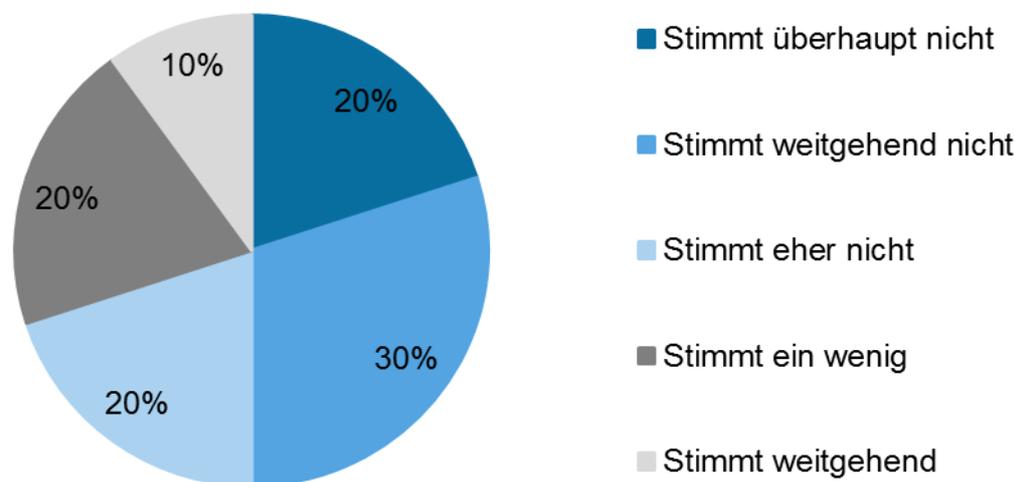
10.11 Anhang G – Ergebnisse der Fragebogenauswertungen

10.11.1 Ergebnisse zweiter Feldtest

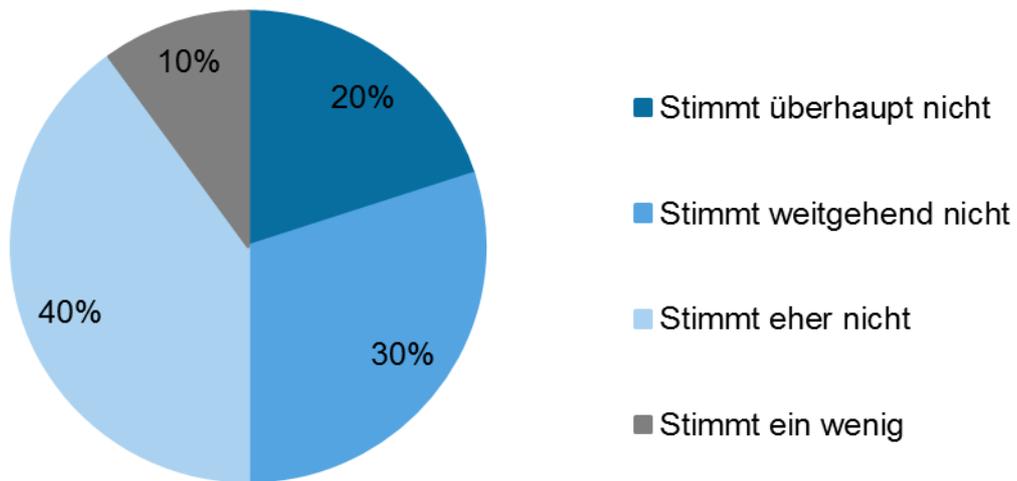
Darstellung der Antworten auf die Frage: „Der Eingriffsrahmen störte mich beim Kommissionieren.“



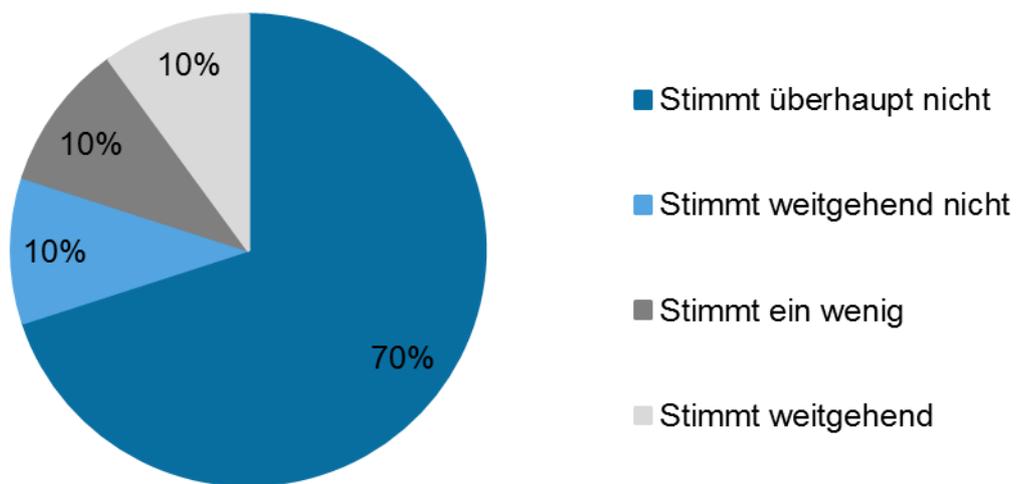
Darstellung der Antworten auf die Frage: „Ich bin mit dem Armband an anderen Gegenständen hängen geblieben.“



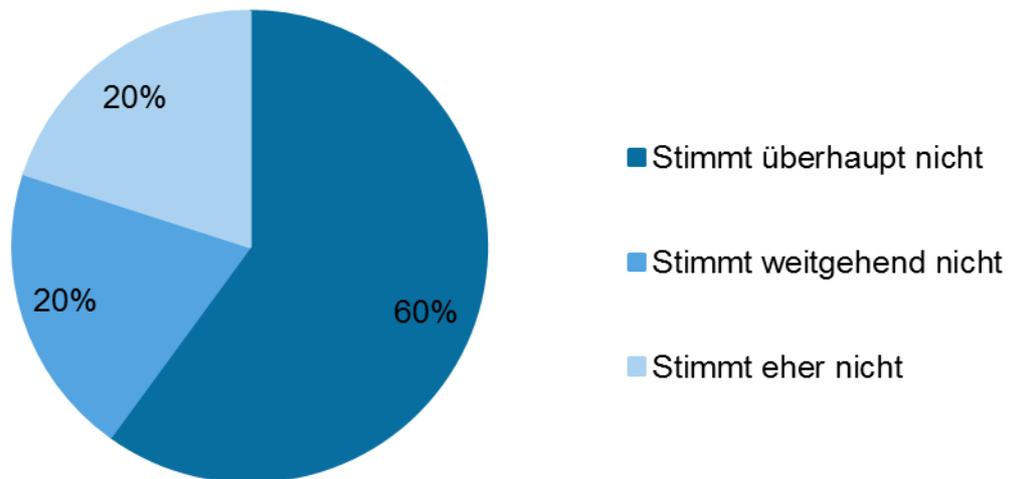
Darstellung der Antworten auf die Frage: „Das Anlegen des Armbandes ist leicht zu vergessen.“



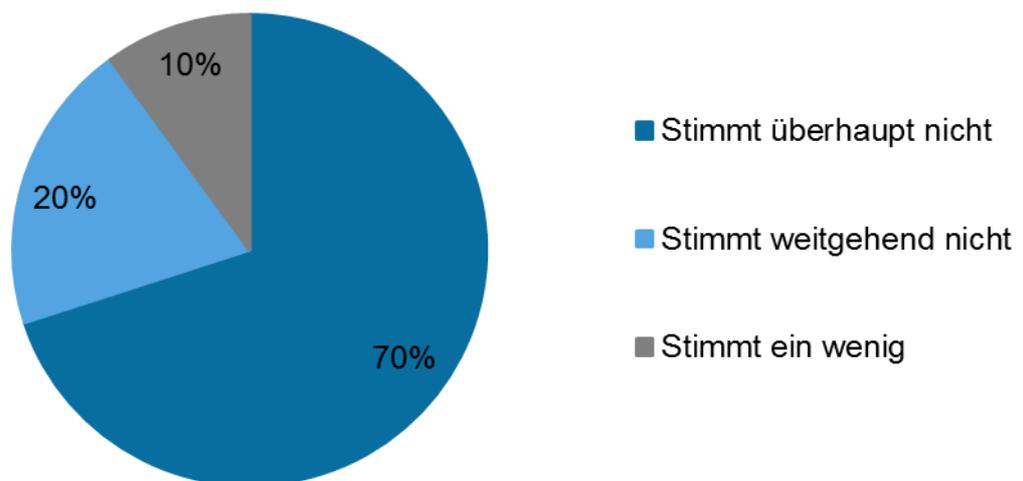
Darstellung der Antworten auf die Frage: „Das Gewicht des Armbandes empfand ich als störend.“



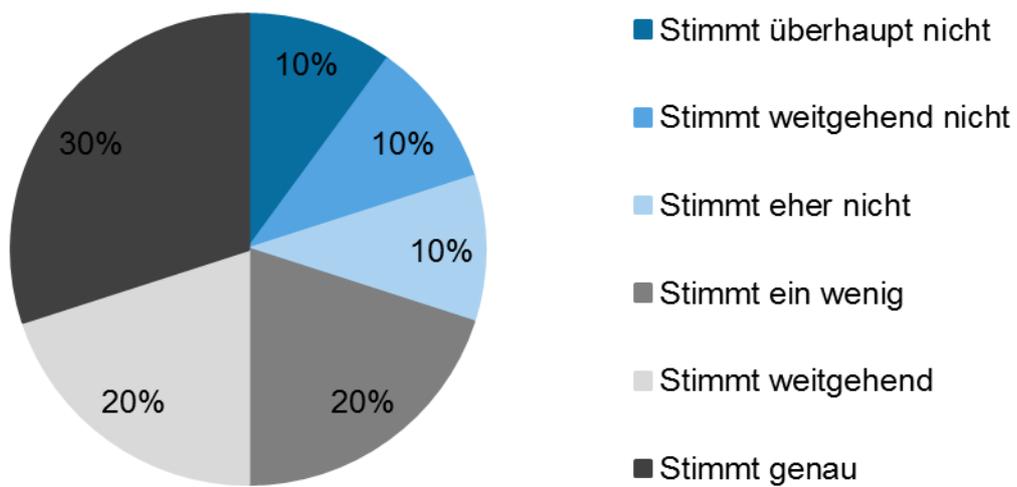
Darstellung der Antworten auf die Frage: „Das Armband verlangsamt meine Arbeit.“



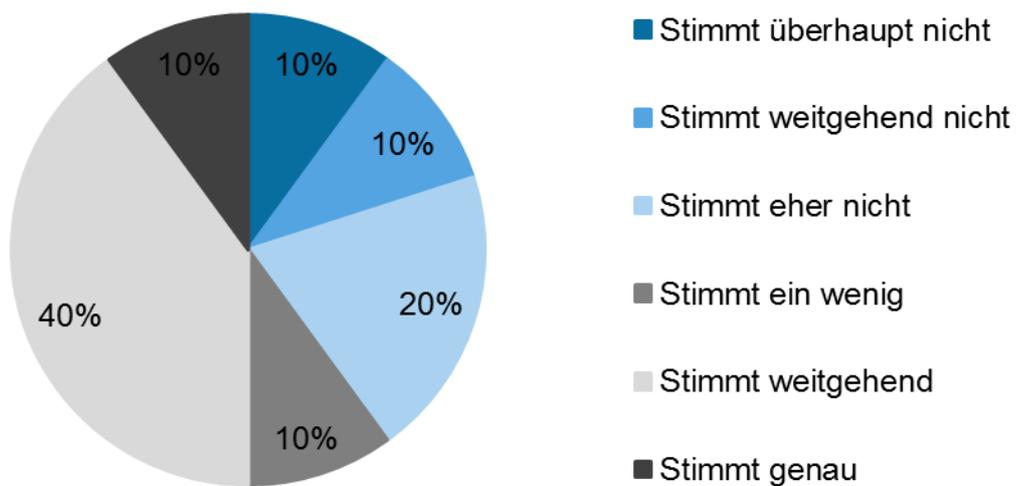
Darstellung der Antworten auf die Frage: „Die elektromagnetische Strahlung verunsichert mich.“



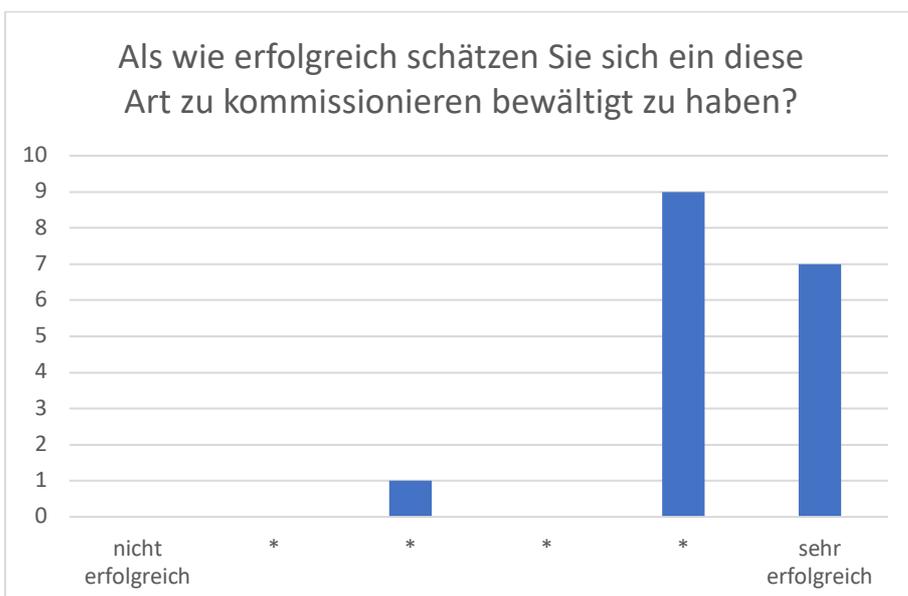
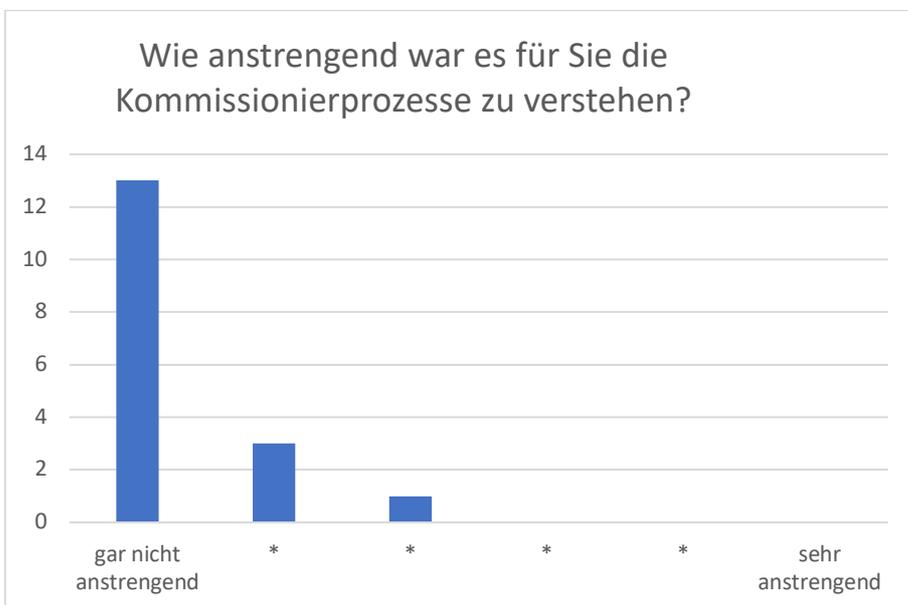
Darstellung der Antworten auf die Frage: „Das Tragen eines Armbandes empfand ich als unangenehm.“

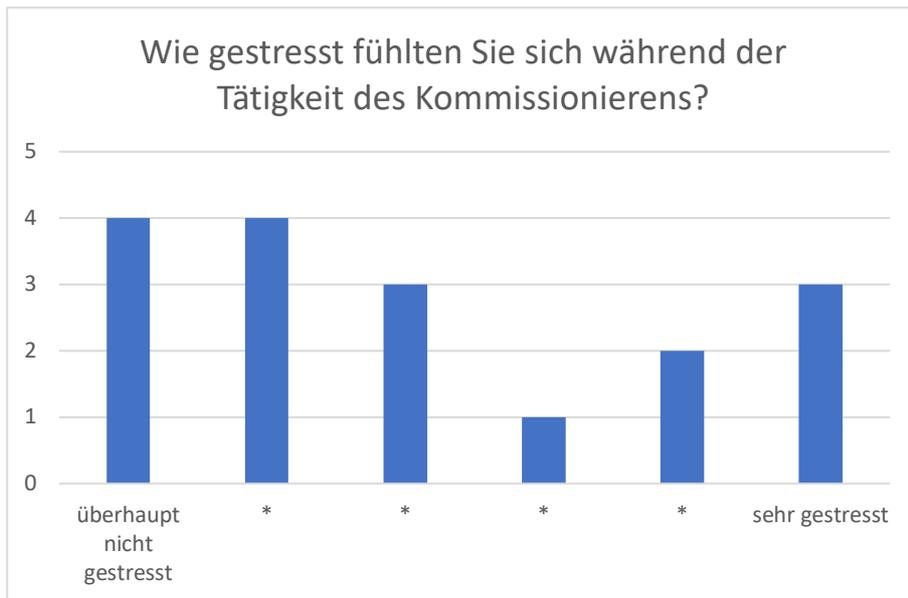


Darstellung der Antworten auf die Frage: „Ich kann mir vorstellen das System bei meiner täglichen Arbeit zu verwenden.“

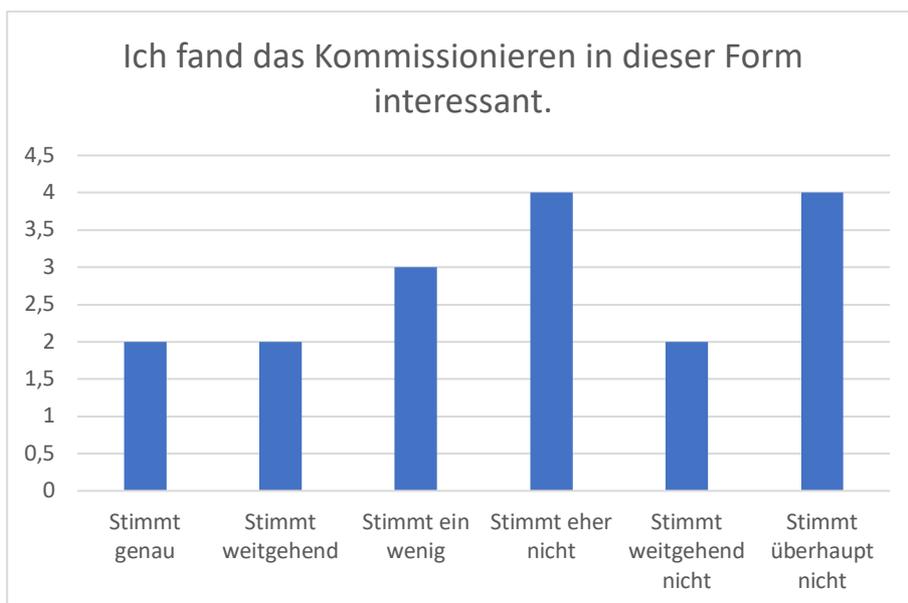


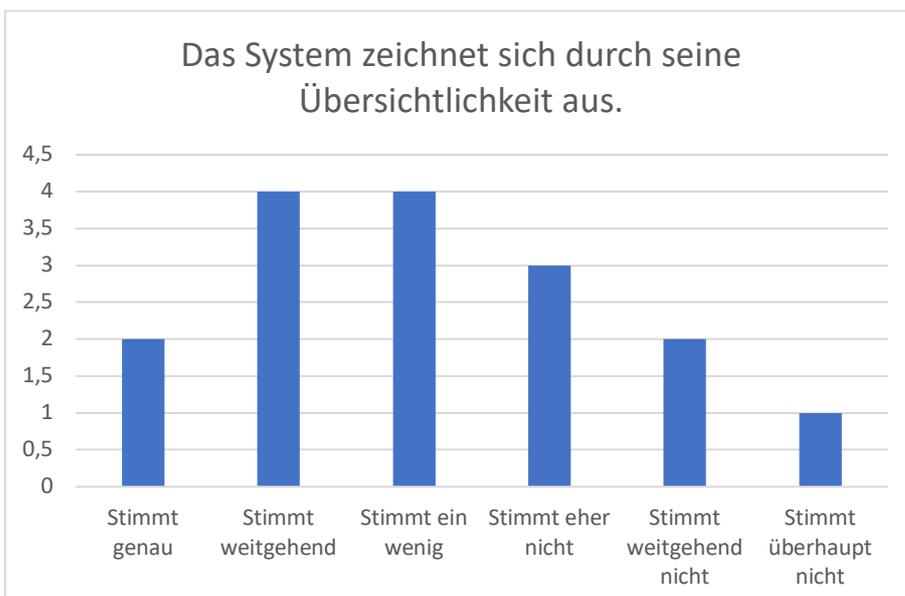
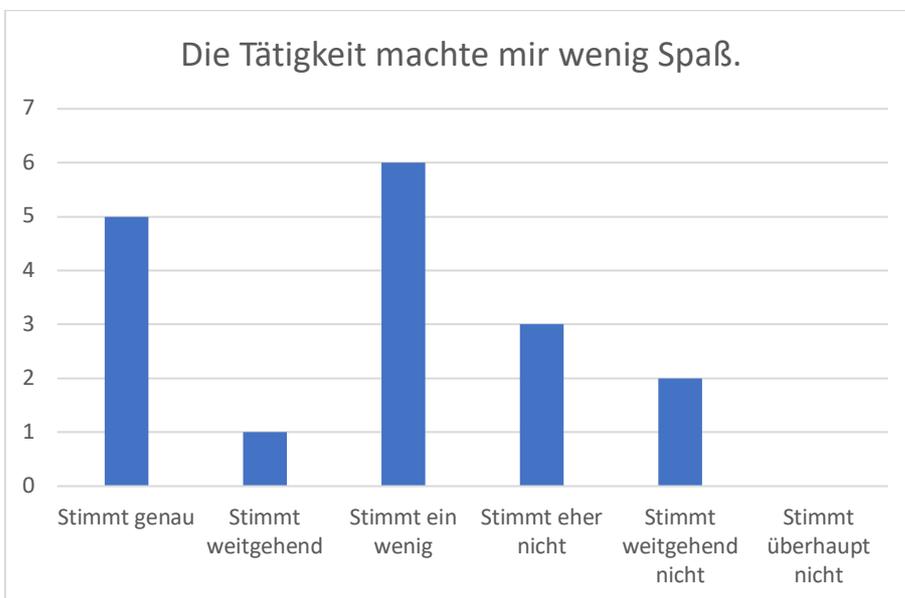
**10.11.2 Ergebnisse Probandentest
Allgemeiner Teil**

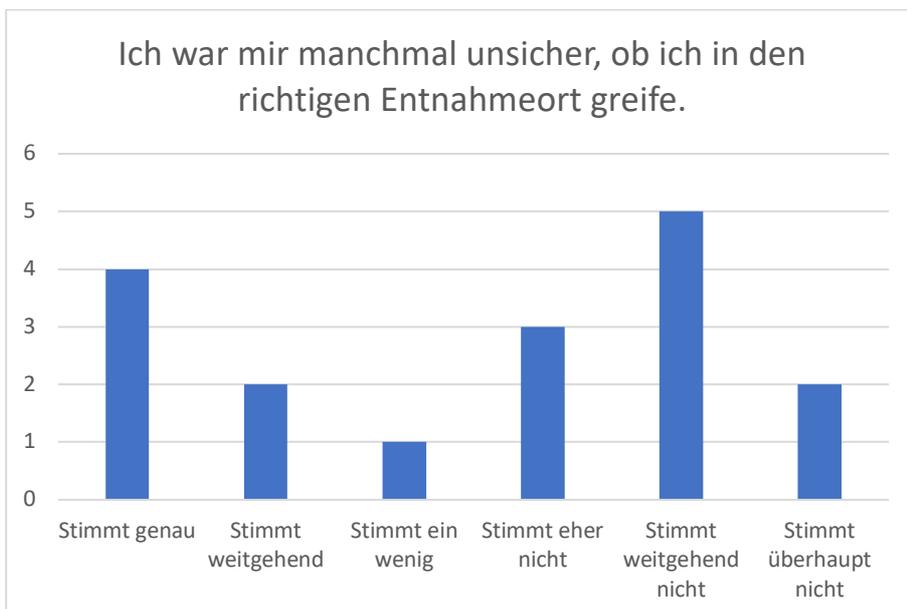
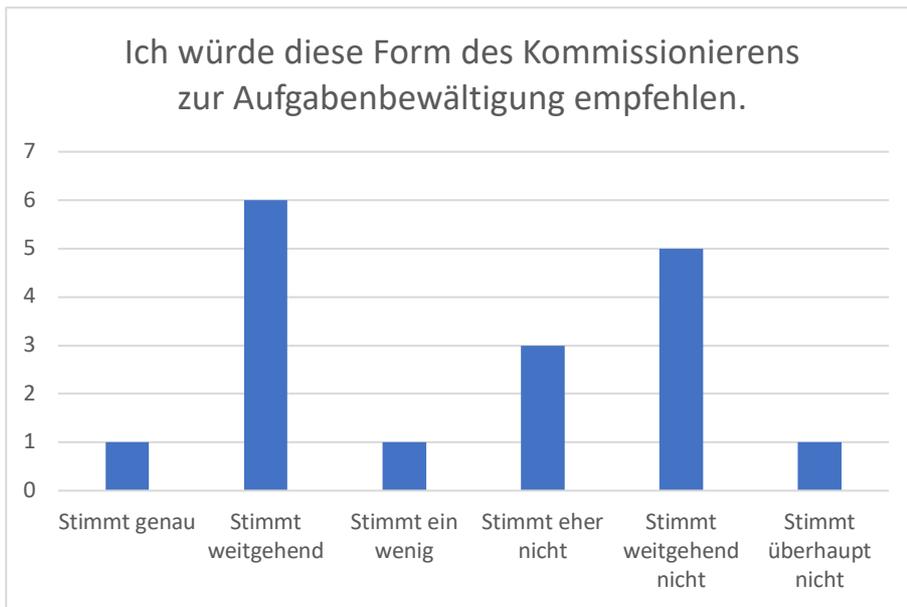




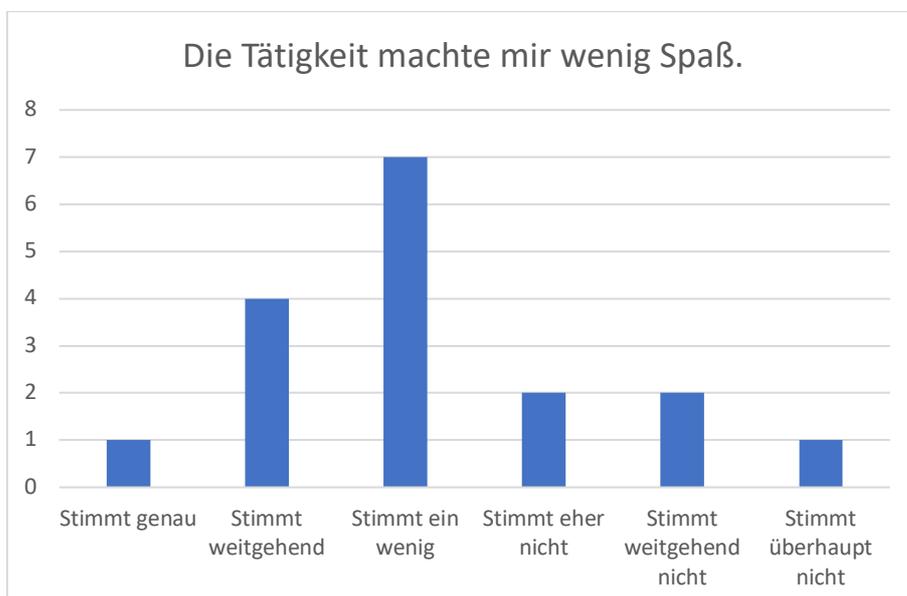
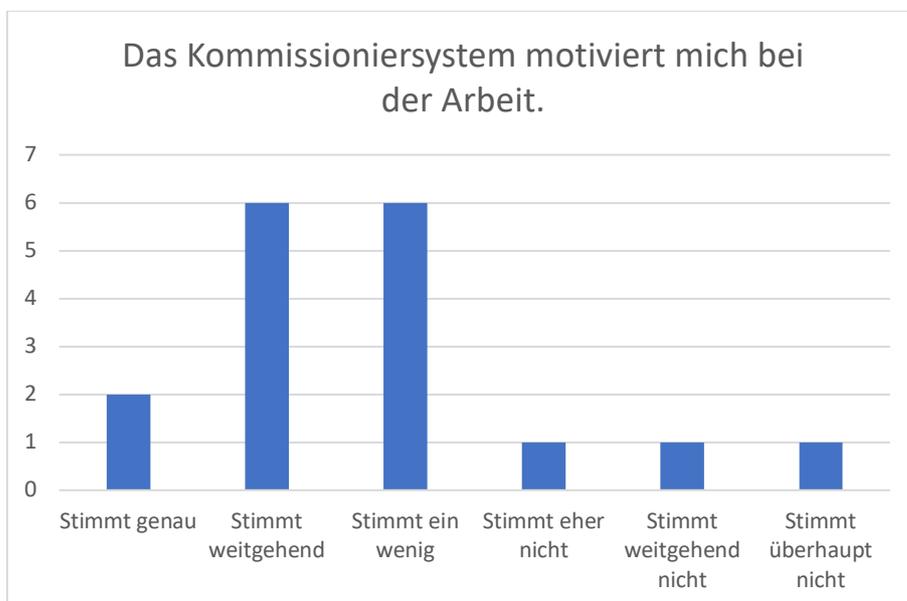
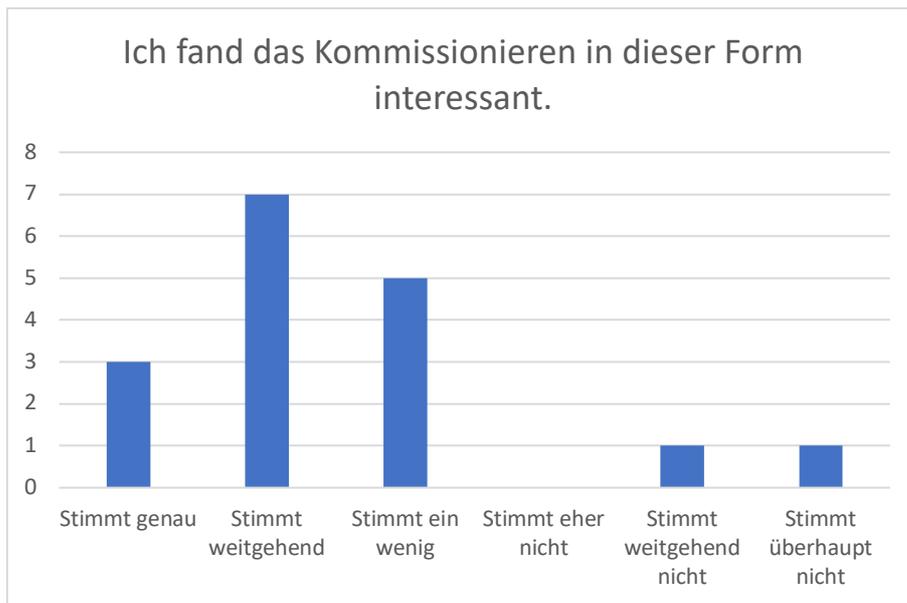
Kommissionieren mit Liste ohne ValidKomm-System

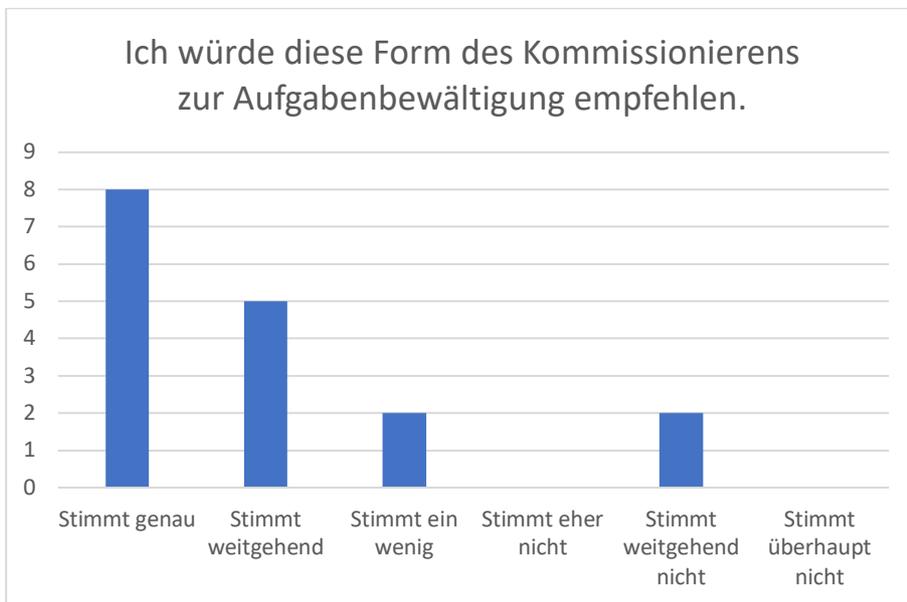
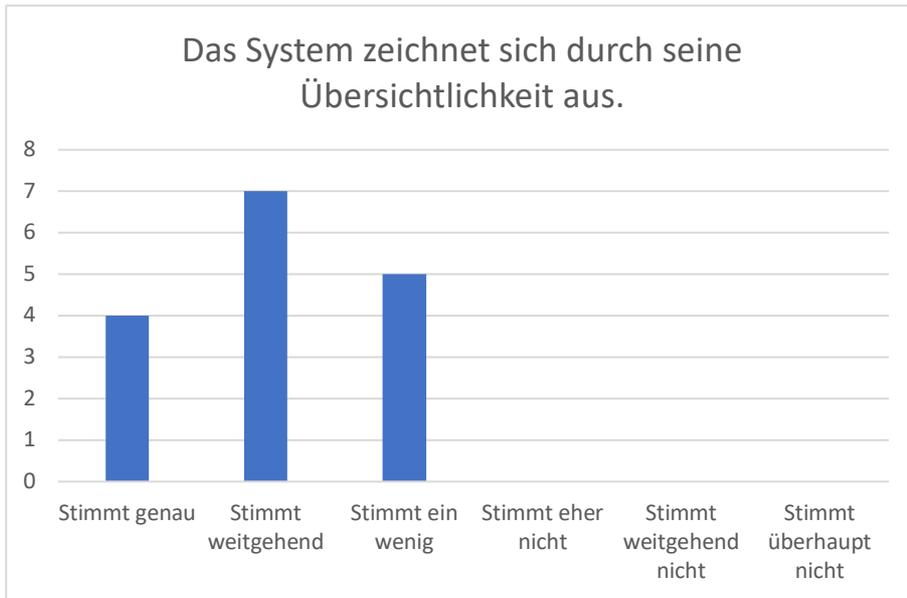


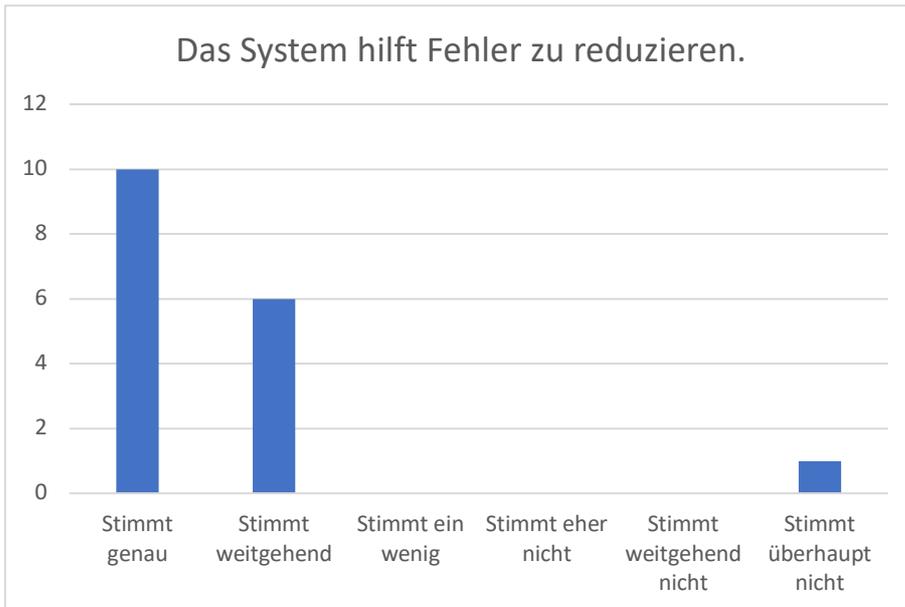




Kommissionieren mit Liste und ValidKomm-System







Fragen bezüglich Eingriffsrahmen und Armband

