

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 20263 N

## Thema

Pick-by-Light Kommissionierverfahren auf Basis passiver RFID-Tags (Pick-by-Tag)

## Berichtszeitraum

01.07.2019 - 30.09.2021

## Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

## Forschungseinrichtung(en)

1: Fraunhofer-Gesellschaft e.V., Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Nordostpark 84, 90411 Nürnberg

2: Technische Universität München, Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss und Logistik (fml), Boltzmannstraße 15, 85748 Garching

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Anforderungserhebung</b>	<b>5</b>
2.1	Analyse von Kommissioniersystemen in der Praxis	5
2.2	Gliederung und Gewichtung der Anforderungen	6
2.3	Überblick der Anforderungen	7
2.3.1	Logistische und prozesstechnische Anforderungen	7
2.3.2	Technische Anforderungen	8
2.3.3	Wirtschaftliche Anforderungen	9
<b>3</b>	<b>Einsatzszenarien</b>	<b>11</b>
3.1	Einflussfaktoren auf die Einsatzszenarien	11
3.2	Szenario 1: Kommissionierung von Kleinteilen	12
3.3	Szenario 2: Kommissionierung Ware zur Person	14
3.4	Szenario 3: Kommissioniernest	15
3.5	Szenario 4: Montagearbeitsplatz	16
3.6	Szenario 5: Artikelidentifikation	17
3.7	Wahl des Szenarios für den Demonstrator	18
<b>4</b>	<b>Ausarbeitung der Anwendungsfälle</b>	<b>19</b>
4.1	Konzepte für Szenario 1	19
4.2	Konzepte für Szenario 4	24
4.2.1	Wagenbestückung	24
4.2.2	Montageunterstützung	26
<b>5</b>	<b>Hardware</b>	<b>28</b>
5.1	Passive Lösungsansätze	29
5.2	Semiaktive Lösungsansätze	31
5.3	Aktive Lösung	34
5.4	Zusammenfassung	35
<b>6</b>	<b>Software</b>	<b>38</b>
6.1	Überblick über die Gesamtarchitektur	38
6.2	Integration der Fachanzeigen	40
6.3	Gestaltung der App	41
<b>7</b>	<b>Integrationstests und Anpassungen</b>	<b>43</b>

7.1	Probandenversuche zum Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung	43
7.1.1	Versuchsaufbau und Versuchsablauf bei der manuellen Kommissionierung	43
7.1.2	Auswertung der Ergebnisse	52
7.2	Probandenversuche zum Einsatzszenario eines Montagearbeitsplatzes	60
7.2.1	Versuchsaufbau und Versuchsablauf bei der Kommissionierung am Montagearbeitsplatz	60
7.2.2	Auswertung der Ergebnisse	64
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick:</b>	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>Verwendung der Zuwendung</b>	<b>74</b>
9.1	Forschungsstelle 1: Fraunhofer IIS	74
9.2	Forschungsstelle 2: TU München – Lehrstuhl fml	74
<b>10</b>	<b>Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit</b>	<b>75</b>
<b>11</b>	<b>Nutzen der Forschungsergebnisse für Unternehmen (insbesondere KMU)</b>	<b>75</b>
<b>12</b>	<b>Ergebnistransfer in die Wirtschaft</b>	<b>77</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>83</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>85</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>89</b>
	<b>Anhang A Fragebogen</b>	<b>91</b>

# 1 Einleitung

---

In Zeiten von individualisierten Produkten, Losgröße 1 und auftragsbasierter Fertigung verzeichnen sowohl Handel, Logistik als auch produzierende Unternehmen einen kontinuierlichen Anstieg des Artikelspektrums [WIL-05]. Die Nachfrage nach einzelnen Artikeln variiert darüber hinaus immer stärker. Um Laufwege und damit Aufwände zu minimieren, ergibt sich ein erhöhter Bedarf hinsichtlich der Anpassung von logistischen Strukturen [KES-13]. Läger, die in Aufbau, Struktur und Zusammensetzung über mehrere Monate oder Jahre gleichbleibend sind, werden auch bei KMU immer seltener [GAR-13]. Der Kommissionierung als zentralem Prozess im Lager müssen Werkzeuge zum Umgang mit der erhöhten Komplexität im Lager in die Hand gegeben werden. Effektiv geschieht dies durch technische Hilfsmittel für Mitarbeiter innerhalb der Prozesse, z.B. durch technologiegestützte Kommissionierverfahren [MIE-06]. Große Unternehmen greifen bei kritischen Kommissionierprozessen auf das Kommissionierverfahren Pick-by-Light zurück [REI-09]. Auch wenn Pick-by-Light eine verbesserte Orientierung im Lager und damit niedrigere Fehlerraten und eine höhere Kommissioniergeschwindigkeit ermöglicht, sprechen hohe Investitionskosten gegen eine flächendeckende KMU-Anwendung. Kosten entstehen dabei durch den Fachanzeigentyp, die aufwendige Montage, ggf. Hilfskonstruktionen sowie Software und liegen nach Auskunft eines führenden Herstellers je nach Anlagengröße zwischen 70 und 170€ je Lagerfach (Systempreis inkl. Montage, Inbetriebnahme, Software; je mehr Lagerfächer, desto günstiger)<sup>1</sup>. Neben der Kostenproblematik wird bei Pick-by-Light ein starres System installiert, das eine Anpassung der Artikelstruktur nur mit großen zeitlichen und monetären Aufwendungen erlaubt, da die Fachanzeigen verkabelt sind.

In Pick-by-Tag sollte daher ein Kommissionierverfahren entwickelt werden, das sich in seiner Funktionsweise an der **Pick-by-Light**-Methodik orientiert, allerdings **deutlich niedrigere Kosten** aufweist bzgl. Anschaffung (Gesamtkosten des Systems unter 30€ pro Fach<sup>2</sup>), Installation und Wartung sowie eine **hohe Flexibilität** durch eine drahtlose Funktionsweise besitzt. Die Fachanzeigen sollen auf passiven RFID-Tags basieren, die **keine eigenständige Stromzufuhr** oder Batterien benötigen, sondern deren

---

<sup>1</sup> Expertengespräch mit Herrn J. Beck, Geschäftsführer KBS Industrieelektronik GmbH, am 27.01.2017

<sup>2</sup> Beispielrechnung für Lager mit 1000 Fächern und 2 mobilen Datenterminals (je 3000€ Anschaffungskosten), Kosten pro Fach: 6€ Kosten MDT + 12€ Kosten pro RFID-Tag + 8€ Kosten pro Gehäuse= Gesamtkosten von 26 € pro Fach

Leuchtmittel zur Signalgebung mit Hilfe eines drahtlosen Signals von einem RFID-Lesegerät aktiviert werden. Auf einem Display sollen dem Kommissionierer dabei Zusatzinformationen wie Entnahmemenge und Anzahl der Positionen angezeigt werden. Dafür kann z.B. ein mobiles Datenterminal (MDT), ein Smartphone oder eine Installation auf einem Kommissionierwagen herangezogen werden. Durch die wegfallende Verkabelung wird die Installation, aber auch die Anpassung des Systems an neue Lagerstrukturen, deutlich vereinfacht.

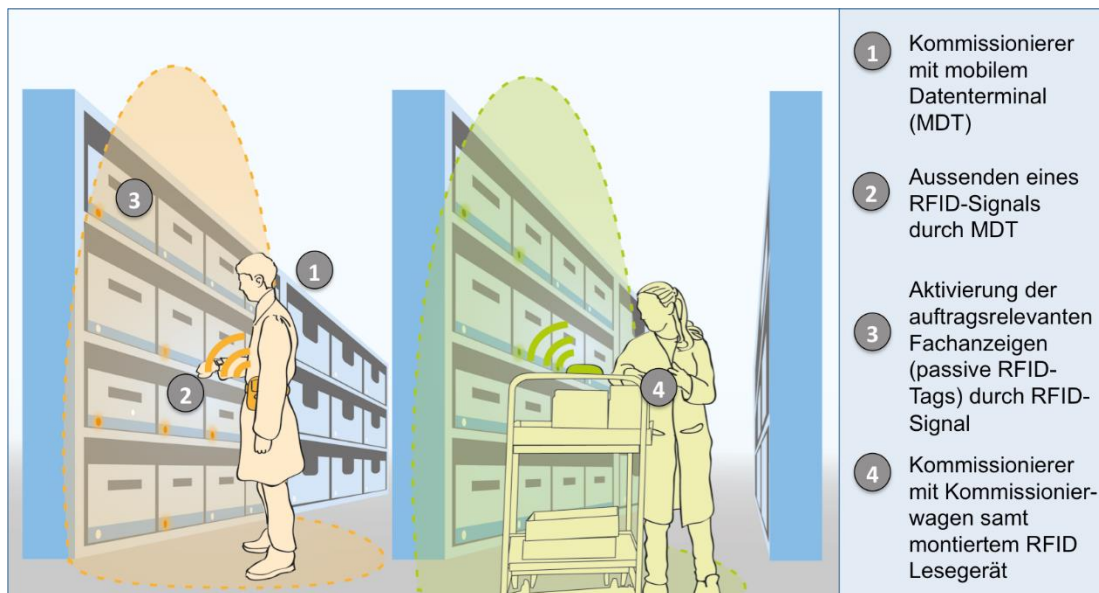


Abbildung 1-1 Vision eines Pick-by-Tag Systems

Das Kommissionierverfahren Pick-by-Tag soll es KMU dank niedriger Installationsaufwände und Anschaffungskosten ermöglichen, technische Unterstützungssysteme für die Kommissionierung einzusetzen. Diese helfen den Mitarbeitern dabei, sich zügig im Lager zu orientieren, und gewährleisten auch bei einem sich stets verändernden Artikelspektrum niedrige Fehlerraten sowie eine hohe Kommissioniergeschwindigkeit.

## 2 Anforderungserhebung

---

Als Grundlage für die Entwicklung des neuen, drahtlosen Kommissioniersystems auf Basis passiver RFID-Tags wurden zunächst bestehende Kommissioniersysteme in verschiedenen Industrieunternehmen analysiert. Dabei wurden hauptsächlich die logistischen und prozesstechnischen Gegebenheiten fokussiert betrachtet. Im nächsten Schritt wurden die daraus abgeleiteten Anforderungen in einem Lastenheft definiert.

### 2.1 Analyse von Kommissioniersystemen in der Praxis

Um einen Überblick über die Anforderungen an Kommissioniersysteme im industriellen Umfeld zu erhalten, wurden im ersten Schritt die bestehenden Kommissioniersysteme analysiert. Hierzu wurden bei den im PA beteiligten Unternehmen die eingesetzten Technologien betrachtet und Experteninterviews sowie Prozessanalysen vor Ort durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Lager hauptsächlich manuell bedient werden und der Montageversorgung dienen. Darüber hinaus standen bereits Ergebnisse von ähnlichen Befragungen aus abgeschlossenen Forschungsprojekten der Forschungsstellen zur Verfügung (vgl. [Höl-2016, Höl-2018]).

Zur Befragung wurden die Interviews bei den Unternehmen mit einem standardisierten Fragebogen (siehe Anhang A) durchgeführt. Folgende Themengebiete wurden erfasst:

- Daten zum Experten
- Lagerstruktur (Aufbau, Ausstattung mit Lagertechnik, ...)
- Artikelstruktur (Aufbau, Sortiment, ...)
- Vorgang der Kommissionierung (eingesetzte Technik, Informations- und Materialfluss, Organisationssystem, ...)
- Kennzahlen zur Kommissionierung (z. B. Picks/h, Auftragsgröße, ...)
- Vor- und Nachteile der eingesetzten technischen Hilfsmittel
- Informationen über das eingesetzte Personal (Alter, Aufgabenbereiche, Schichtzeiten, ...)
- Technische Rahmenbedingungen im Lager (verwendete Funktechnologien, minimal geforderte Verfügbarkeit für ein Kommissioniersystem, ...)

Die Auswertung der Fragebögen und Prozessanalysen ergab, dass die vorhandenen Lager manuell bedient werden und der Montageversorgung dienen. Die Bereitstellung der Waren erfolgt in Fachbodenregalen aus Stahl mit Holz- bzw. Stahlböden oder alternativ in Shuttlelagern. Die Lagerplatzzuordnung ist statisch und wird selten bis nie angepasst. Zudem sind die einzelnen Fächer artikelrein belegt. Die Fortbewegung und Entnahme erfolgen meist manuell. Es existieren jedoch auch Lagerbereiche, die aufgrund der Regalhöhe und Artikelgröße mit einem Stapler bedient werden.

Die Kommissionierung erfolgt mit Kommissionierliste und meist ohne zusätzliche technische Unterstützung. Lediglich in kleineren Subsystemen, wie einem angebundenen Shuttlelager, kommen Pick-by-Light-Systeme zum Einsatz. Abgearbeitet werden Aufträge für die Montageversorgung. Je Montageplatz und herzustellendem Produkt werden Kommissionierwagen mit den Materialien bestückt und firmenintern weitergegeben. Die vorhandene Auslastung rechtfertigt allerdings keine Investition in ein herkömmliches Pick-by-Light-System, das insbesondere die Pickleistung erhöhen soll.

## 2.2 Gliederung und Gewichtung der Anforderungen

Die Anforderungen wurden in die vier Hauptgruppen Fachanzeige, RFID-Reader, Middleware und Gesamtsystem eingeteilt (vgl. Abbildung 2-1). Jede Gruppe ist zusätzlich noch in technische, logistische und wirtschaftliche Aspekte unterteilt. Der Begriff Handheld umfasst dabei nicht nur die gängigen mobilen Datenterminals (MDT), sondern allgemein das Gerät, das für die Interaktion zwischen Nutzer und System verwendet wird.

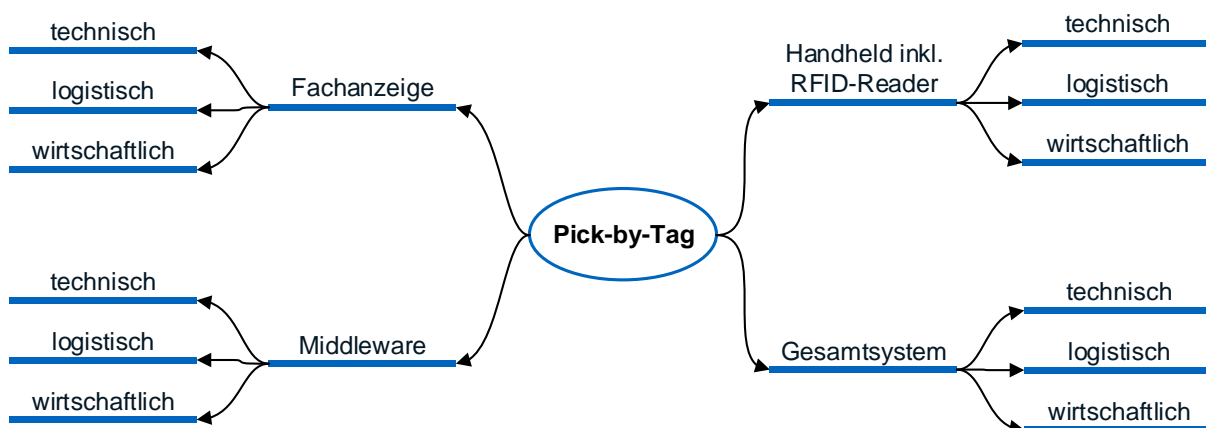


Abbildung 2-1: Gliederung der Anforderungen an das Pick-by-Tag-System

Da nicht alle gesammelten Anforderungen gleich wichtig sind und zudem nicht alle Anforderungen bei der Entwicklung des neuen Kommissioniersystems 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.

## 2.3 Überblick der Anforderungen

Die nachfolgenden Abschnitte geben einen Überblick über die wichtigsten Anforderungen an das System, auf deren Basis die weitere Entwicklung erfolgte.

### 2.3.1 Logistische und prozesstechnische Anforderungen

Die Fachanzeigen dienen in diesem System ausschließlich der Positionsanzeige der gesuchten Artikel. Daher begrenzen sich die Anforderungen, welche die logistischen Abläufe steuern, vor allem auf die Komponenten „Handheld inkl. RFID-Reader“ und „Middleware“. Die wichtigste Anforderung an die Fachanzeigen ist das Vorsehen einer leichten Identifikationsmöglichkeit des Tags über die eine Verknüpfung mit dem Lagerfach bzw. Artikel hergestellt werden kann.

Auf Seiten der Middleware muss der Standard-Kommissionierfall (vgl. Szenario 1 in Abschnitt 3.2) abgedeckt werden können. Hierzu zählen die automatische Weitergabe der vorliegenden Aufträge an die Kommissionierer, die Verarbeitung der Nutzereingaben und die entsprechende Ansteuerung des RFID-Readers. Als weitere Anwendungsfälle des Systems sind eine Inventurfunktion, die Verwendung als Hilfe



zur Einlagerung (Put-to-Light) oder die Bestellung von Nachschub, falls ein Lagerfach geleert wird vorzusehen. Eine mögliche Implementierung der Wegeoptimierung und Mitarbeiterführung ist ebenfalls zu berücksichtigen. Durch weitere Fachanzeigen an den Stirnseiten der Regale kann dem Kommissionierer angezeigt werden, dass dort Artikel zu entnehmen sind. Sind mehrere Kommissionierer gleichzeitig im Einsatz, muss über die Middleware sichergestellt werden, dass Kollisionen zwischen ihnen verhindert werden, da andernfalls die eindeutige Zuordnung der aktiven Fachanzeigen zu den Mitarbeitern nicht gewährleistet werden kann.

Die gesamte Interaktion mit dem Kommissionierer findet über das Handheld statt. Dies kann beispielsweise ein Smartphone sein oder auch ein MDT mit ausreichend Funktionalitäten. Die Anzeige der Artikelinformationen und Menge kann nur an dieser Stelle erfolgen, da die Fachanzeigen selbst keine weitere Darstellungsmöglichkeit besitzen. Auch die Quittierung der Entnahme erfolgt manuell über dieses Gerät. Die zuvor erwähnten Sonderfunktionen müssen über das Endgerät nutzerfreundlich zu steuern sein.

### **2.3.2 Technische Anforderungen**

In die Gruppe der technischen Anforderungen wurden diejenigen Anforderungen einsortiert, die für die physische Herstellung heranzuziehen sind. Als Hauptanforderung ist die Zuverlässigkeit der Einzelkomponenten und des Gesamtsystems zu nennen, die nahe 100 % liegen sollte. Da der Einsatz für Normalbedingungen eines Lagers in Innenbereichen vorgesehen ist, sind keine zusätzlichen Vorkehrungen gegen Kälte, Kondenswasser oder andere starke Umwelteinflüsse, die beispielsweise in Tiefkühlslagern vorkommen, zu treffen.

Technische Anforderungen der Fachanzeigen sind beispielsweise die maximalen Abmessungen, der Schutz gegen Umgebungseinflüsse oder die Empfangscharakteristik der Tags. Während der Entwicklung sind weitere Varianten vorzusehen, die eine zusätzliche Energiequelle beinhalten, falls eine Ausführung in der Grundausstattung nicht ausreichend ist.

Die Einheit „Handheld inkl. RFID-Reader“ kann in verschiedener Weise gestaltet sein, die sich stark nach dem geplanten Einsatzfall richtet. Auf jeden Fall muss eine Schnittstelle zur Interaktion mit dem Anwender vorhanden sein, über die alle erforderlichen Informationen ausgegeben werden und – in entgegengesetzter Richtung – auch alle Eingaben erfolgen. Beim RFID-Reader ist darauf zu achten, dass die gesetzlichen Grenzwerte zur Sendeleistung nicht überschritten werden. Der Reader wird im UHF-Frequenzbereich mit 868 MHz betrieben. Die notwendige Energieversorgung kann wahlweise über Akkumulatoren erfolgen oder bei einer festen

Installation durch Anschluss an die vorhandene Infrastruktur. Bei Verwendung eines mobilen Systems, das dauerhaft vom Kommissionierer verwendet wird, sind außerdem die hierfür geltenden gesetzlichen Grenzwerte einzuhalten.

Eine wichtige Anforderung an das neue Kommissioniersystem auf Basis passiver RFID-Tags ist das Vorhandensein anderer im Lager verwendeter Funktechnologien. Hierzu zählen beispielsweise WLAN Signale oder alternative RFID-Anwendungen. Um die Praxistauglichkeit des neuentwickelten Kommissioniersystems sicherzustellen, darf es keine Störungen bei den bereits vorhandenen Anwendungen auslösen. Andererseits muss bei der Entwicklung beachtet werden, dass das Pick-by-Tag-Kommissioniersystem unabhängig von vorhandenen Funktechnologien arbeiten kann.

Bei den technischen Anforderungen an die Middleware sind vor allem die Schnittstellen zu anderen Systemen zu beachten. Die Kommissionieraufträge müssen automatisiert aus den bestehenden ERP- oder WMS-Systemen importiert werden können. Für die Rückmeldung der abgeschlossenen Aufträge ist ebenfalls eine Schnittstelle vorzusehen.

### **2.3.3 Wirtschaftliche Anforderungen**

Der Einsatz des Pick-by-Tag-Kommissioniersystems in Lagersystemen hängt stark von den Kosten ab, da den Investitionen keine direkte Produktivitätssteigerung gegenübersteht. Die wirtschaftlichen Anforderungen beziehen sich daher hauptsächlich auf die Kosten für die Anschaffung und Installation des Systems. Die Kosten für eine Fachanzeige sollen auch im Prototypenstatus den Wert von 20 € nicht überschreiten. Die Kosten für das Gesamtsystem mit allen erforderlichen Komponenten bezogen auf ein Lagerfach sollten bei maximal 30 € liegen. Die vorgegebenen Grenzen aus dem Forschungsantrag werden dadurch ebenfalls eingehalten.



### 3 Einsatzszenarien

Die manuelle Kommissionierung von Kleinteilen ist der Standard Einsatzfall von Pick-by-Light-Systemen. Unter Berücksichtigung der technischen Eigenschaften des Pick-by-Tag-Systems werden in den nachfolgenden Abschnitten verschiedene Einsatzszenarien für dieses neue Kommissioniersystem vorgestellt.

#### 3.1 Einflussfaktoren auf die Einsatzszenarien

In der VDI Richtlinie 3590 sind Realisierungsmöglichkeiten von Materialflusssystemen durch einen morphologischen Kasten [VDI-3590] definiert. Tabelle 3-1 zeigt eine Bewertung dieser Kriterien hinsichtlich der Eignung für das Pick-by-Tag-System. Grün gekennzeichnet sind Varianten, die geeignet sind. Gelb markierte Attribute sind nur bedingt (nicht optimal) geeignet. Systemausprägungen, welche sich nicht für das Pick-by-Tag-System eignen, sind orange gekennzeichnet. Einzelne grau hinterlegte Aspekte, wie beispielsweise die Orientierung der Artikel im Lagerfach, haben keinen direkten Einfluss auf das Kommissioniersystem.

Tabelle 3-1: Eignung verschiedener Materialflusssysteme für Pick-by-Tag

Materialflusssystem				
Vorgang	Realisierungsmöglichkeiten			
Bereitstellung	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet		ungeordnet	
Fortbewegung	eindimensional ohne GW	eindimensional mit GW	zweidimensional ohne GW	zweidimensional mit GW
	manuell		mechanisch	automatisch
Entnahme	manuell	mechanisch		automatisch
	ein Teil pro Zugriff		mehrere Einzelteile pro Zugriff	
Abgabe	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet		ungeordnet	

Legende:

gut geeignet	möglich	ungeeignet	nicht relevant
--------------	---------	------------	----------------

Aufgrund der hohen Flexibilität des Pick-by-Tag-Systems bietet eine dezentral und statisch organisierte Person-zur-Ware-Bereitstellung die größten Potenziale bei der Verwendung dieses Kommissioniersystems. Bei einem weniger häufigen Wechsel der Regalbelegung kann Pick-by-Tag zwar auch sinnvoll eingesetzt werden, allerdings sind hier auch oft drahtgebundene Systeme besonders lohnenswert. Bei einer Person-zur-Ware-Bereitstellung bewegt sich der Kommissionierer in der Regalgasse eindimensional mit oder ohne Gassenwechsel (GW). Der Einsatz des Pick-by-Tag-Kommissioniersystems ist auch für eine zweidimensionale Fortbewegung möglich, bei der ein zusätzliches Transporthilfsmittel benötigt wird. Bezüglich der Entnahme kann das Kommissioniersystem sowohl bei manueller Kommissionierung als auch bei der Verwendung mechanischer Hilfsmittel (z. B. Stapler) Verwendung finden. Bei einer automatisierten Entnahme entfällt die visuelle Identifikation des zu entnehmenden Artikels. Für die Abgabe ergibt sich die gleiche Eignung wie für die Bereitstellung. Auf diesen Grundlagen wurden die nachfolgenden Einsatzszenarien für das Pick-by-Tag-System definiert.

### **3.2 Szenario 1: Kommissionierung von Kleinteilen**

Die Kommissionierung im ersten Szenario erfolgt manuell nach dem Person-zur-Ware-Prinzip und stellt den typischen Kommissionierprozess dar. In Abbildung 3-1 ist eine schematische Darstellung dieses Einsatzszenarios gezeigt. In der Kommissionierzone befinden sich die Regale mit den Artikeln. Die Bereitstellung erfolgt in Fachboden- oder Durchlaufregalen, an deren Frontseite die Fachanzeigen montiert sind. Je Lagerfach befindet sich nur ein Artikel, welcher ungeordnet gelagert ist. Als Lagerhilfsmittel können Kleinteile-Behälter, Kartonagen oder Sichtlagerkästen verwendet werden, eine Lagerung ohne weiteres Behältnis ist bei Fachbodenregalen jedoch auch möglich. In ihrer Größe und Gewicht sind die Artikel so beschaffen, dass sie manuell und ohne Hilfsmittel gehandhabt werden können. Die Abgabe erfolgt statisch und zentral an einer Basisstation, an der sich auch die Sammelbehälter befinden.

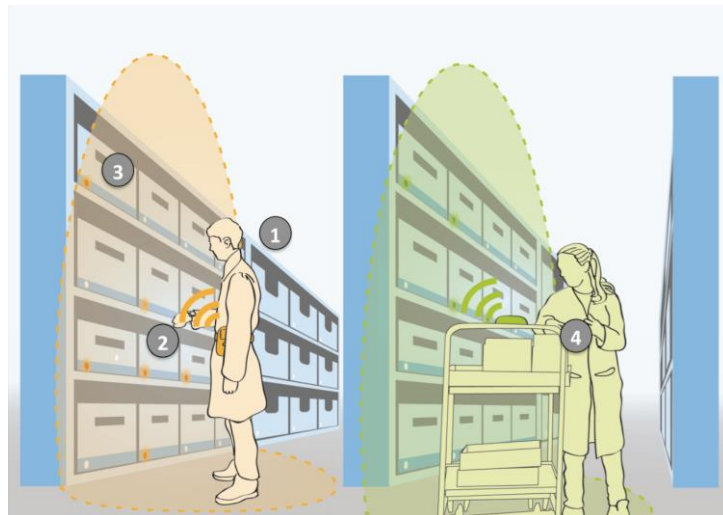


Abbildung 3-1: Manuelle Kommissionierung ohne und mit Kommissionierwagen

Beim Start eines neuen Auftrags nimmt der Kommissionierer einen neuen Sammelbehälter an der Basisstation auf und bewegt sich zur Kommissionierung der Artikel durch das Lager. Durch das ausgesendete RFID-Signal (2) blinken die Fachanzeigen (3) in Lesereichweite auf und signalisieren dem Kommissionierer den Entnahmeort. Zusätzliche Fachanzeigen an den Stirnseiten der Gassen können zur Wegfindung eingesetzt werden. Grundsätzlich kann der Kommissionierprozess mit und ohne Kommissionierwagen durchgeführt werden. Beim Einsatz eines Kommissionierwagens (4) kann auf dem Wagen der RFID-Reader zur Energieversorgung montiert werden. Während des Kommissionierprozesses können darauf die Sammelbehälter abgestellt werden. Eine gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Aufträge ist ebenfalls möglich. In diesem Fall ist auch eine Ausstattung der Sammelbehälter mit RFID-Tags sinnvoll, die dann als Put-to-Light-Anzeige fungieren. Der Vorteil eines Wagens besteht zudem darin, dass der Kommissionierer für die Artikelentnahme beide Hände zur Verfügung hat. Darüber hinaus kann weitere Technik (z. B. Waage, Drucker, o. Ä.) mitgeführt werden, falls dies notwendig sein sollte.

Eine transportable Ausführung ohne Kommissionierwagen (1) eignet sich vor allem für Aufträge mit wenigen Positionen, bei denen das Sammelbehältnis nur relativ kurz getragen werden muss und die Entnahme einhändig erfolgen kann. Als Extremfall kann ein Auftrag mit nur einer Pickposition angesehen werden, bei dem kein Behältnis erforderlich ist. Die Gestaltung des RFID-Readers mit Anzeige und Energieversorgung muss dabei sehr kompakt sein.

### 3.3 Szenario 2: Kommissionierung Ware zur Person

Ein zweites Einsatzszenario umfasst die Kommissionierung an einem festen Ort (Ware-zur-Person-Kommissionierung). Typische Umsetzungen sind Tablarlager oder Paternosterregale, an deren Entnahmeöffnung die Kommissionierung stattfindet (vgl. Abbildung 3-2). Bei diesem Szenario tritt die Reichweitenbeschränkung in den Hintergrund, da die maximale Entfernung der RFID-Tags vom Reader der Größe der Entnahmeöffnung entspricht.

Auf einem Tablar sind eine Vielzahl an KLT angeordnet, in denen sich die (leicht verwechselbaren) Artikel befinden. Zusätzlich ist an jedem Behälter ein RFID-Tag angebracht. Der RFID-Reader ist fest am Tablarlager montiert und kann auch dort an die stationäre Energieversorgung angeschlossen werden. Die Darstellung der Aufträge erfolgt über einen Bildschirm, der auch zur Bestätigung der Entnahme genutzt wird.

Besonders die Flexibilität ist mit diesem System gewährleistet. Die Anordnung der Ladungsträger auf dem Tablar ist nicht von Bedeutung, da sich die RFID-Tags stets in Reichweite des Readers befinden und keine Ortskoordinaten erforderlich sind.

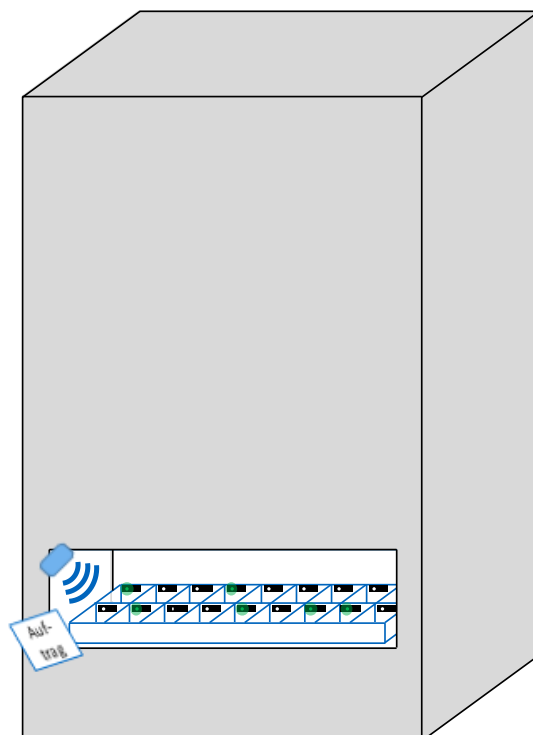


Abbildung 3-2: Pick-by-Tag an einem Tablarlager

### 3.4 Szenario 3: Kommissioniernest

Eine Abwandlung des ersten Szenarios stellt der Anwendungsfall eines Kommissioniernests dar. Es handelt sich wiederum um die Kommissionierung von Kleinteilen, allerdings in einem sogenannten Kommissioniernest und damit ohne bzw. nur sehr geringer Bewegung des Kommissionierers. Die Regale (Fachboden- oder Durchlaufregale) sind U-förmig bzw. nahezu kreisförmig auf engem Raum angeordnet, so dass der Mitarbeiter alle Fächer erreichen kann. Die Regalfächer sind mit den RFID-Tags ausgestattet und der Reader befindet sich stationär an einer Stelle, von der aus alle Tags erreichbar sind. Damit spielt in diesem Szenario die Reichweite ebenfalls eine nachgelagerte Rolle, sofern die Größe der Kommissionierzone innerhalb der Reichweite bleibt. Abbildung 3-3 zeigt schematisch ein solches Kommissioniernest.

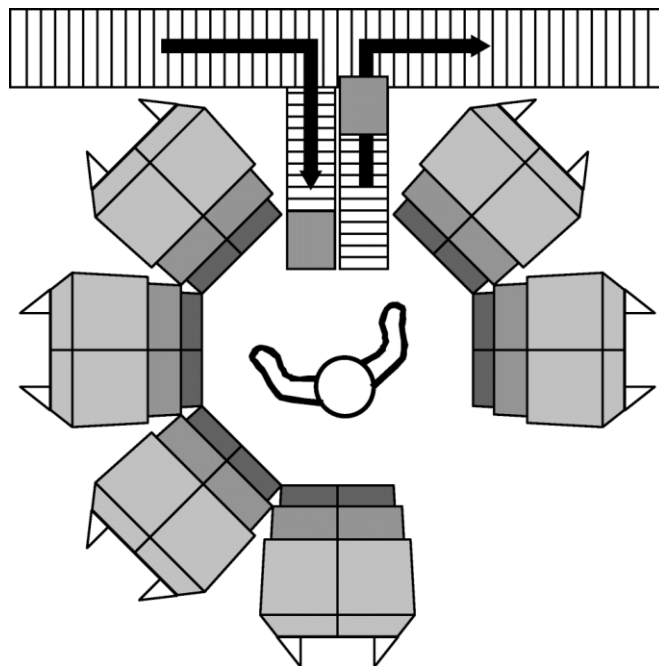


Abbildung 3-3: Schematische Darstellung eines Kommissioniernests (Draufsicht) [Hom-2019]

Über eine Fördertechnik erhält der Kommissionierer für jeden neuen Auftrag einen Sammelbehälter (z. B. KLT-Behälter) in den er die Entnahmeeinheiten ablegt. Ist der Auftrag vollständig gepickt, wird der Sammelbehälter über die Fördertechnik wieder abgeführt. Beim Kommissioniernest ist folglich immer nur ein Auftrag aktiv, der vollständig abgeschlossen sein muss, bevor der nächste bearbeitet werden kann. Die Quittierung der Entnahme erfolgt wiederum über ein externes Eingabegerät wie auch die Anzeige der Entnahmemenge oder sonstige Informationen.



### 3.5 Szenario 4: Montagearbeitsplatz

Für das vierte Einsatzszenario kann die Technik an zwei Stellen zur Unterstützung eingesetzt werden. Im ersten Schritt müssen mobile Regale mit den passenden Teilen bestückt werden. Alle Ladehilfsmittel sind mit RFID-Tags ausgerüstet. Der Mitarbeiter im Lager entnimmt die Ladehilfsmittel mit den aktivierten Tags und positioniert sie so auf dem Wagen, dass die Tags von der Entnahmeseite aus sichtbar sind. Anschließend erfolgt der Transport zum Montagearbeitsplatz, an dem die Übergabe zum zweiten Schritt erfolgt. Am Montagearbeitsplatz erfolgt der schrittweise geführte Zusammenbau des Produkts. Dort ist ebenfalls ein RFID-Reader installiert, der den Tag des benötigten Artikels aktiviert. Nach der Quittierung der Entnahme bzw. nach dem Abschluss des Montageschritts werden die bisher aktivierten Tags deaktiviert. Durch den Einsatz der Technologie bei dieser Anwendung soll der Werker insbesondere bei der Entnahme von leicht verwechselbaren Teilen unterstützt werden. Eine schematische Darstellung dieses Einsatzfalles ist in Abbildung 3-4 zu sehen.

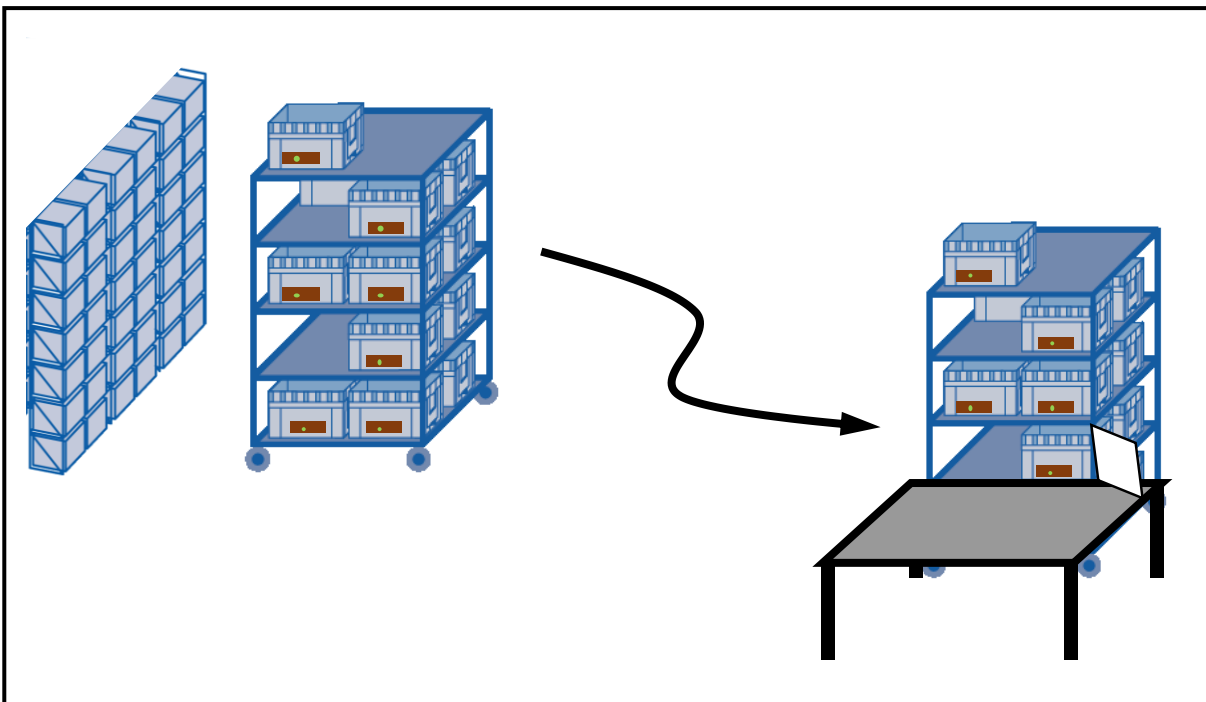


Abbildung 3-4: Zweifacher Einsatz des Pick-by-Tag-Systems bei der Unterstützung in der Montage

Das Pick-by-Tag-System ist hierfür besonders gut geeignet, da vor allem am Montagearbeitsplatz keine großen Reichweiten benötigt werden. Alle Artikel müssen in Griffweite des Werkers liegen und diese Reichweite kann sichergestellt werden. Ein Vorteil der Anbringung der Tags auf den Lagerhilfsmitteln ist die Positionsunabhängigkeit. Ist bei bisherigen Systemen die Fachanzeige am Regal

montiert, muss sichergestellt sein, dass sich der richtige Artikel an der richtigen Position befindet. Da die Tags jedoch direkt mit den Artikeln verknüpft sind, kann diese potenzielle Fehlerquelle durch Einsatz des Pick-by-Tag-Systems eliminiert werden. Ferner ist eine permanente Energieversorgung des Readers am Montagearbeitsplatz gewährleistet.

### 3.6 Szenario 5: Artikelidentifikation

Das letzte Einsatzszenario zielt darauf ab, die Verwechslungsgefahr von Artikeln zu minimieren. In Abbildung 3-5 ist dieses Szenario dargestellt. Am Wareneingang wird ein RFID-Tag auf dem Artikel angebracht und diesem im System zugeordnet. Anschließend erfolgt die Einlagerung. Werden die Teile benötigt, sind diese durch die Mitnahme des RFID-Readers eindeutig zu identifizieren und es besteht eine deutlich geringere Gefahr der Verwechslung.

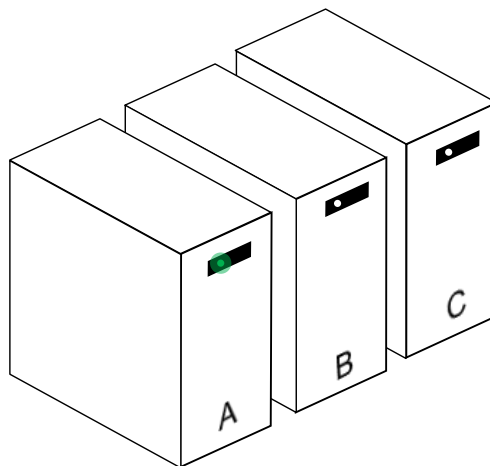


Abbildung 3-5: *Eindeutige Identifizierung verwechselbarer Artikel*

Diese Art der Kennzeichnung eignet sich besonders für teure Artikel oder bei erheblichen Kosten für die Ausbesserung eines eventuell falsch montierten Teils. Zudem ist die Kennzeichnung für Artikel interessant, die leicht verwechselt werden können, insbesondere auch bzgl. Eigenschaften, die nicht auf den ersten Blick erkennbar sind (z. B. Herstellungsdatum; Gleichheit aufgrund der Verpackung, minimale Größenabweichungen, nicht sichtbare Materialeigenschaften).

### **3.7 Wahl des Szenarios für den Demonstrator**

Für die Entwicklung des Funktionsdemonstrators wurden im Rahmen des zweiten Treffens des Projektbegleitenden Ausschusses Szenario 1 (Konventionelle Person-zu-Ware-Kommissionierung) und Szenario 4 (Montagearbeitsplatz) gewählt. Gründe für den ersten Anwendungsfall waren die weite Verbreitung dieses Kommissioniersystems sowie dessen Verwendung in zahlreichen Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses. Dies wurde vor allem in Hinblick auf die ursprünglich geplanten Feldtests in den Unternehmen als wichtig erachtet. Für die Montageunterstützung sprachen sich ebenfalls viele Mitglieder des PAs aus und es bestand der direkte Umsetzungswunsch bei einem Unternehmen. Alle anderen vorgestellten Szenarien lassen sich jedoch von diesen ableiten, da die Grundfunktionalitäten identisch sind. Einzelne Teilaspekte, wie die Bewegung des Kommissionierers entfallen bei den Szenarien 2 und 3, ansonsten ist der Prozessablauf vergleichbar.

## 4 Ausarbeitung der Anwendungsfälle

---

In diesem Kapitel werden die zuvor identifizierten Einsatzszenarien weiter detailliert und logistische Konzepte dazu entwickelt. Bedingt durch die Fachanzeigen ohne zusätzlichen Funktionsmöglichkeiten ist der Gestaltungsraum für die Prozessabläufe stark eingeschränkt. Im Anschluss wird die Informationsdarstellung für den Kommissionierer auf der entwickelten App vorgestellt.


### 4.1 Konzepte für Szenario 1


Als Unterstützung für die Erstellung eines logistischen Konzepts dient ein morphologischer Kasten, in dem verschiedene Ausprägungen von Prozessschritten oder technischen Merkmalen aufgeführt sind. Durch Kombination der Ausprägungen entstehen unterschiedliche logistische Konzepte, die sich vor allem in der Mitarbeiterführung und Softwaresteuerung unterscheiden. Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale sind in Abbildung 4-1 dargestellt.

Die Anmeldung kann entweder entfallen, manuell oder automatisch durchgeführt werden. Eine manuelle Anmeldung erfordert die Eingabe von Daten durch einen Mitarbeiter (Kommissionierer selbst oder einen Vorgesetzten). Bei der automatischen Anmeldung werden die Daten beispielsweise aus einem angeschlossenen System übernommen. Ebenso erfolgt die automatische Auftragsübermittlung an das Pick-by-Tag-System über Schnittstellen zu einem übergeordneten ERP- oder WMS-System. Eine aufwendigere Variante ist die manuelle Eingabe der Auftragsinformationen. Die Auswahl des nächsten Kommissionierauftrags erfolgt dann im Pick-by-Tag-System und kann ebenfalls automatisch oder manuell durch Auswahl aus der Liste vorhandener Aufträge erfolgen. Die Ausgabe des Behälterbedarfs dient als zusätzliche Hilfestellung um sicherzustellen, dass ausreichend Sammelbehälter in der richtigen Größe mitgeführt werden. Falls für die Entnahme der Artikel Hilfsmittel benötigt werden oder ein bestimmte Kommissionierwagen mitgeführt werden muss, wird dies über den Hilfsmittelbedarf angezeigt.

Beim Multi-Order-Picking erfolgt die Kommissionierung von mehreren Aufträgen gleichzeitig. Um die Ablage der Artikel in den richtigen Sammelbehälter zu erleichtern, können diese ebenfalls mit einem RFID-Tag ausgestattet werden. Aus diesem Grund müssen die Sammelbehälter vor Beginn der Kommissionierung mit den Aufträgen verknüpft werden, um anschließend den Ablageort anzuzeigen (Put-to-Light).

Vorgang / Merkmal	Ausprägung			
Anmeldung	Automatisch	Manuell durch Vorgesetzten	Manuell durch Kommissionierer	Ohne
Auftrag einlesen	Automatisch		Manuell	
			Scannen	Eingeben
Auftragsauswahl	Automatische Zuweisung		Manuelle Auswahl aus Liste	
Ausgabe Behälterbedarf	Ja, Anzahl und Art		Nein	
Ausgabe Hilfsmittelbedarf	Ja, Anzahl und Art			Nein
Verknüpfung mit Zielbehälter	Ja		Nein	
Informationsdarstellung	Single-order-picking Auftragsorientiert		Multi-order-picking Auftragsorientiert	Multit-order-picking Artikelorientiert
		Liste	Bildlich	
	Art.-Nr. und Name	Anzahl	Fachnummer	Zielbehälter
Wegeoptimierung	Ja		Nein	
Anzeige Zielbehälter	Ja		Nein	
	Behälternummer	RFID-Tag (Put-to-Light)		
Eingriffsquittierung / -überwachung	Automatisch	Manuell		Ohne
Fehlerquittierung	Ja, am Eingabegerät		Nein	
Ablage	Single-order-picking Auftragsorientiert		Multi-order-picking Auftragsorientiert	Multit-order-picking Artikelorientiert
Quittierung Pick	Automatisch	Manuell		Ohne
Quittierung Auftrag	Automatisch			Manuell
Abmeldung	Automatisch	Manuell		Ohne

 Einzelauftrag ohne Wegeoptimierung

 Einzelauftrag mit Wegeoptimierung

 Gleichzeitiges Kommissionieren mehrerer Aufträge (ohne Wegeoptimierung)

Abbildung 4-1: Konzeptausprägungen für den Kommissioniereinsatz

Die Anzeige der Informationen und deren Sortierung auf dem Bildschirm kann angepasst an den jeweiligen Einsatzfall erfolgen. Auch eine visuelle Unterstützung zum schnelleren Finden der Regalfächer ist durch eine schematische Darstellung der Regalfront mit den Eingriffspositionen möglich. Falls eine Wegeoptimierung implementiert ist, werden die Fachanzeigen in dieser optimierten Reihenfolge nacheinander aktiviert. Der Kommissionierer wird dadurch gezwungen der vorgegebenen Route zu folgen.

Eine Eingriffsüberwachung kann das Pick-by-Tag-System nicht bereitstellen, da hierfür zusätzliche Systeme anzubinden wären. Dagegen ist die Anzeige und Bearbeitung von Fehlern während des Kommissionierprozesses am Ein-/Ausgabegerät im Standardfall vorgesehen. Dazu zählen beispielsweise die Angabe von Fehlmengen oder falschen Artikeln. Direkt an den Fachanzeigen kann aufgrund der nicht vorhandenen Eingabemöglichkeiten keine Interaktion erfolgen. Die Quittierung der aktuellen Pickposition bzw. zum Abschluss des Auftrags erfolgt ebenfalls über das Pick-by-Tag-System und das Eingabegerät.

Die Kombination für Konzept 1, die Kommissionierung von Einzelaufträgen ist in blau gekennzeichnet. Dies stellt den typischen Anwendungsfall dar und dient als Grundlage für die Umsetzung im Demonstrator. Nach der Anmeldung im System wird dem Kommissionierer automatisch der nächste Auftrag zugewiesen. Da nur ein Auftrag bearbeitet wird, sind keine weitergehenden Informationen über Sammelbehälter notwendig. Die Anzeige der Pickpositionen erfolgt in Form einer Liste mit allen erforderlichen Informationen, so dass ein Auffinden der Artikel auch ohne Fachanzeige möglich wäre. Die Quittierungen erfolgen manuell über das Eingabegerät nach jedem entnommenen Artikel sowie nach dem Abschluss des Auftrags. Da in diesem Konzept keine Wegoptimierung hinterlegt ist, kann der Kommissionierer die nächste Position frei wählen und bestätigen. In Abbildung 4-2 ist der zugehörige physische Prozess mit den Schnittstellen zu den angeschlossenen Systemen dargestellt.

Konzept 2, die Kommissionierung von Einzelaufträgen mit Wegführung unterscheidet sich in der zusätzlich implementierten Wegeoptimierung (grün). Dem Kommissionierer ist damit nicht mehr freigestellt, in welcher Reihenfolge er die Aufträge abarbeitet. Es wird immer nur die nächste Fachanzeige aktiviert und auf dem Ein-/Ausgabegerät kann auch nur diese Position quittiert werden.

Konzept 3 stellt die gleichzeitige Kommissionierung von mehreren Aufträgen dar (rot). Dabei ist vorgesehen, dass dem Kommissionierer zusätzlich die Information angezeigt wird, wie viele und welche Sammelbehälter für die geplanten Aufträge mitgeführt werden müssen. Um den späteren Arbeitsablauf zu vereinfachen, sind diese Behälter

mit einem RFID-Tag ausgestattet, der zu Beginn mit dem Auftrag verknüpft werden muss. Bei der Kommissionierung wird anschließend neben den Fachanzeigen zur Entnahme auch der Tag an der zugehörigen Sammelkiste aktiviert. Die Ablage der Artikel in der richtigen Kiste soll damit unterstützt und die Fehler minimiert werden. In den übrigen Punkten stimmt dieses Konzept mit den vorhergehenden überein.

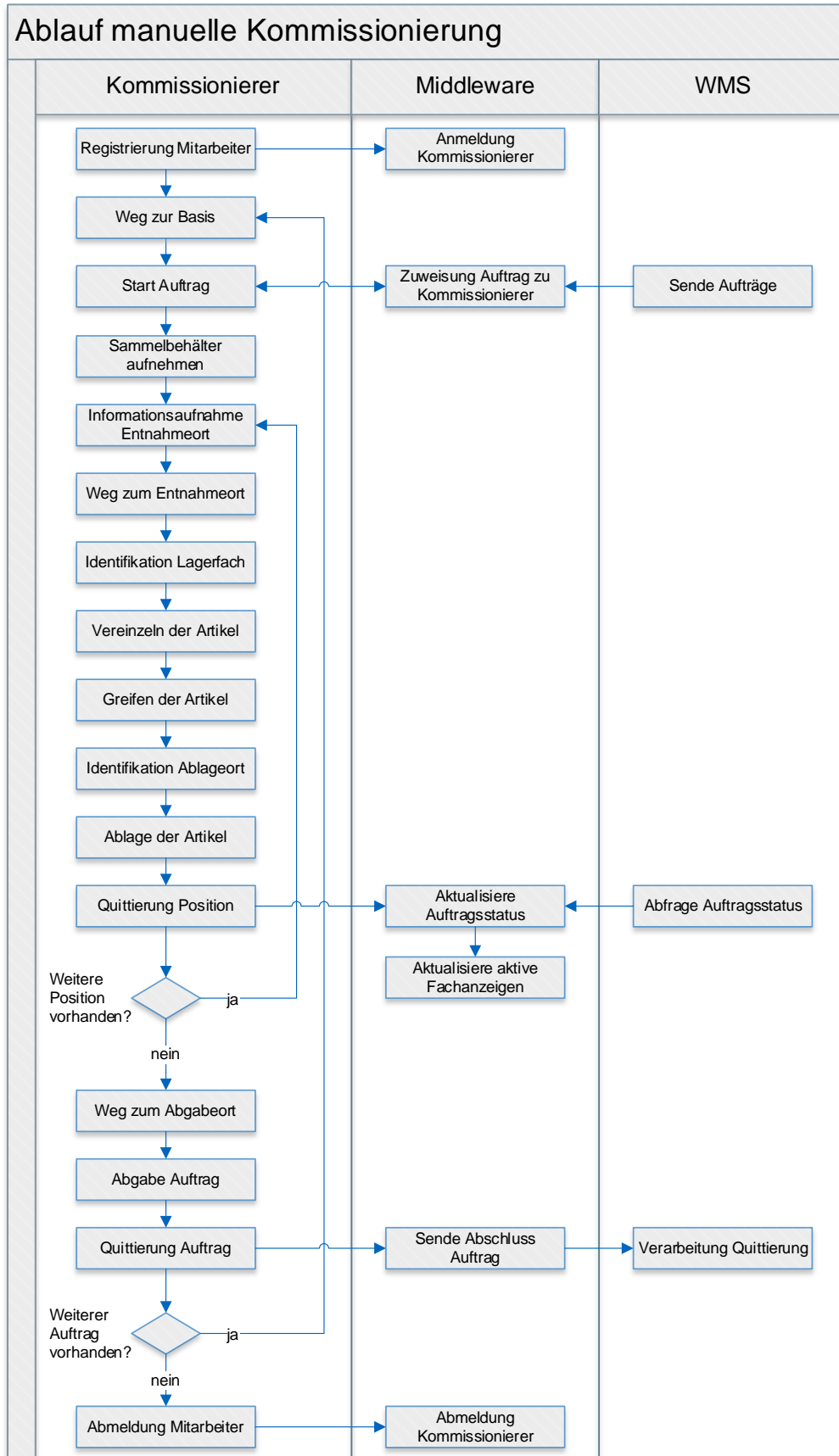


Abbildung 4-2: Kommissionierprozess und Interaktionen der Systeme



## 4.2 Konzepte für Szenario 4

Für den vierten vorgestellten Einsatzfall sind die zwei Teilprozesse Wagenbestückung und Montage zu unterscheiden, für die es jeweils verschiedene Prozessgestaltungen gibt.

### 4.2.1 Wagenbestückung

Für die Bestückung des Montagewagens im Lager sind zwei grundlegende Prozesse möglich: Die Entnahme ganzer KLT oder die Entnahme der erforderlichen Menge je Artikel für den Montageauftrag.

Die erste Möglichkeit hat zwar Vorteile bei der Zeit, die für die Wagenbestückung notwendig ist und es handelt sich um einen einfacheren Kommissionierprozess. Allerdings wird der Inhalt der KLT während der Montage nicht vollständig verbraucht und damit müssen im Nachgang die KLT wieder ins Lager zurückgebracht werden, was den Gesamtaufwand deutlich erhöht.

Aus diesem Grund wurde beschlossen, für das finale logistische Konzept die Teile entsprechend der Montageaufträge vorkommissioniert in den Montageregalen zu übergeben. Der daraus resultierende Kommissionierprozess ist in Abbildung 4-3 dargestellt.

Nach dem Start eines neuen Kommissionierauftrags wird angezeigt, wie viele leere Behälter (entspricht der Anzahl Artikelnummern) der Kommissionierer aus einem Behälter-Pool mitnehmen muss. Diese sind mit den RFID-Tags ausgestattet und müssen nun mit dem Auftrag verknüpft werden. Anschließend können die gesuchten Teile im Lager entnommen werden und in den Behälter mit dem aktiven RFID-Tag abgelegt werden. An dieser Stelle sind zwei Alternativen möglich: Der Behälter wird direkt in das mitgeführte Regal positioniert oder die gefüllten Behälter werden gesammelt und am Ende in das Montageregal überführt (wie in der Abbildung 3-4 dargestellt). Um den Kommissionierprozess vollständig vom Montageprozess zu entkoppeln wird der Wagen identifiziert und ebenfalls dem Auftrag zugeordnet. Durch die Anbringung des Pick-by-Tag-Systems direkt auf den Behältern kann die Position im Regal beliebig gewählt und auch verändert werden und es werden trotzdem die passenden Tags aktiviert.

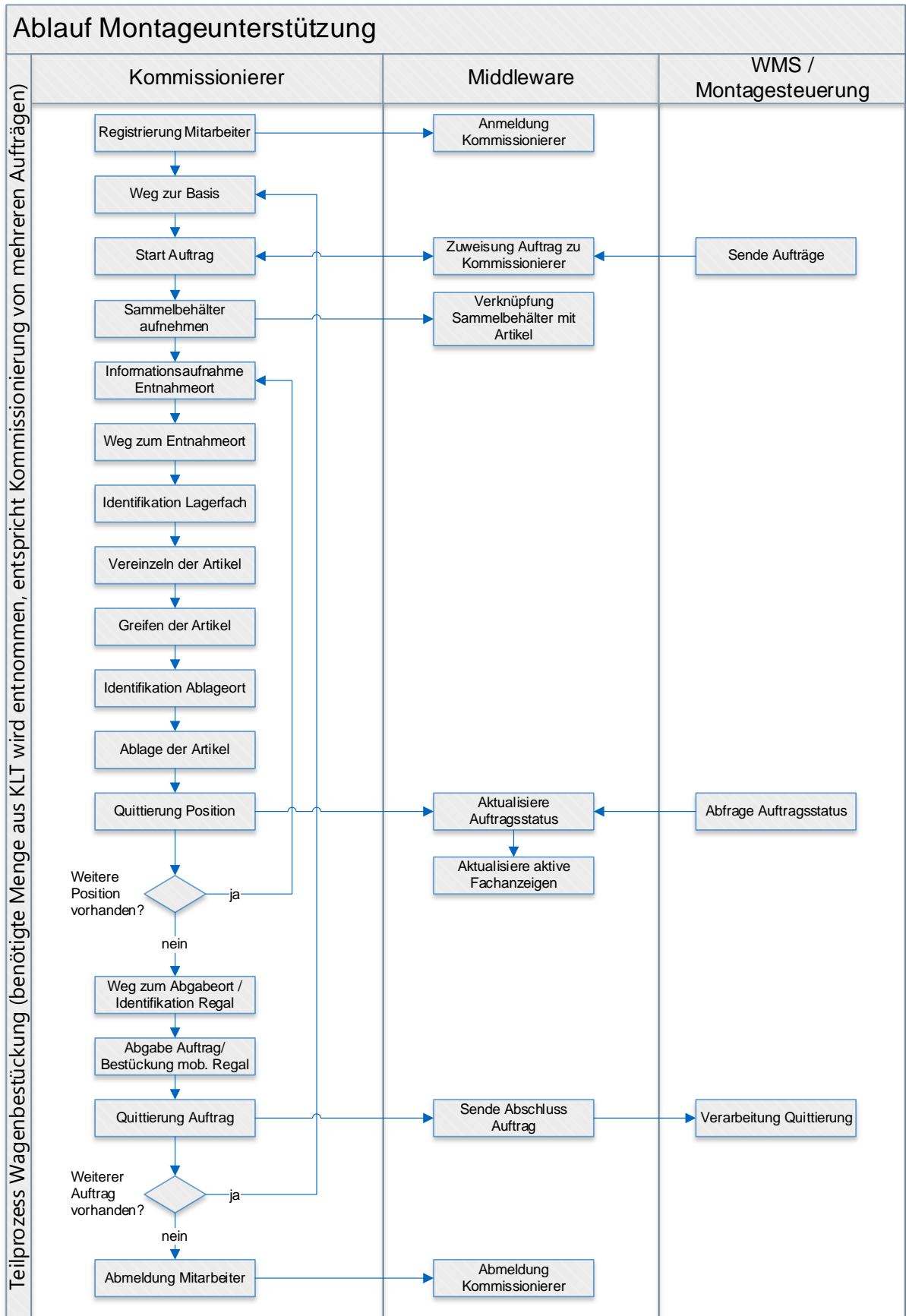


Abbildung 4-3: Ablauf des Kommissionierprozesses zur Montageversorgung

### **4.2.2 Montageunterstützung**

Der zweite Teil des Gesamtprozesses kann ebenfalls durch die Pick-by-Tag-Anzeigen unterstützt werden. Der Prozess läuft in den Grundzügen folgendermaßen ab:

Zu Beginn wird das bestückte Regal an den passenden Arbeitsplatz gebracht. Falls der dortige Mitarbeiter eine individuelle Anordnung der Behälter wünscht, kann er dies durch Umsortieren erreichen, ohne dass dabei Zuordnungsprobleme entstehen. Zwischen den Behältern und den Regalfächern besteht keine logische Verknüpfung, die dies verhindern würde. Dem Mitarbeiter werden bei der Montage auf einem Bildschirm der nächste Arbeitsschritt und die dafür erforderlichen Teile angezeigt. Zu diesem Zeitpunkt wird auch das Pick-by-Tag-System informiert, so dass die Fachanzeigen aktiviert werden und die Entnahme dadurch unterstützt wird. Nach Abschluss des Montageschritts wird der Status der Fachanzeigen angepasst. Nach Abschluss der Montage wird das Regal mit den leeren Behältern zurück an den Ausgangspunkt gebracht, wo es für den nächsten Auftrag befüllt wird.

Die Unterscheidung der Konzepte kann vor allem in Bezug auf den Grad der Systemintegration getroffen werden (vgl. Abbildung 4-4). Dies reicht von der vollständigen Integration in das bestehende System über Zwischenstufen, bei denen Informationen zwischen den Einzelsystemen ausgetauscht werden bis hin zu zwei unabhängigen Systemen.

Markmal	Ausprägung			
<b>System-integration</b>	Vollständige Integration in das Montageleitsystem	Nutzung der vorhandenen Ein-/Ausgabemöglichkeit, aber eigenes RFID-System	Zusätzliches Ein-/Ausgabegerät mit Informationschnittstelle zum Montageleitsystem	Eigenständiges System ohne Informationsaustausch
<b>Anmeldung</b>	Manuell		Automatisch	
	Über das Montageleitsystem		Im PbT-System	
<b>Auftragsauswahl</b>	Manuell aus Liste		Automatisch	
<b>Entnahmequittierung</b>	Manuell		Automatisch	
	Nach jedem Pick		Nach jedem Montageschritt	ohne
<b>Informationsdarstellung</b>	Bild		Liste	keine
	Artikelnummer	Behälternummer	Pickmenge	Name / Beschreibung
<b>Fehlerquittierung</b>	Im Montageleitsystem		Im PbT-System	ohne
<b>Abmeldung</b>	Manuell		Automatisch	

Abbildung 4-4: Systemausprägung für das PbT-System in Verbindung mit einem Montageleitsystem

Für den Demonstrator wurden die im morphologischen Kasten markierten Ausprägungen in Abstimmung mit den beteiligten Unternehmen aus dem PA gewählt und umgesetzt.

## 5 Hardware

---

Ausgangspunkt für die Hardwareentwicklung im Projekt sind kommerziell verfügbare RFID Transponder ICs mit Zusatzfunktionalitäten. Diese gibt es in unterschiedlichen RFID Frequenzbereichen wie LF, HF und UHF RFID sowie mit jeweils unterschiedlichen Funktionalitäten wie zum Beispiel Temperatur- oder Feuchtigkeitssensorik. Für die Anwendung von RFID Technologie in logistischen Prozessen steht aufgrund der hohen Lesereichweite von einigen Metern (Typisch 10-15m) und der Möglichkeit zur Ansprache, Identifikation und Verarbeitung einer hohen Anzahl an Transpondern und den damit gekennzeichneten Objekten (sog. Bulk-Reading) die UHF RFID Technologie mit Arbeitsfrequenzen bei 868 und 915 MHz im Vordergrund. Da es sich bei RFID Transpondern i.a. um passive Objekte ohne eigene Energieversorgung handelt wird für den Betrieb der Transponder Energie drahtlos vom Lesegerät an den Transponder übertragen. Mit dieser Energie, die über die Transponderantenne empfangen wird, wird der Transponder IC betrieben. Bei Standard RFID Transpondern ohne Zusatzfunktionen dient die Betriebsenergie zum Speicherzugriff auf den Transponderspeicher selber, zum Auslesen und Schreiben der Transponder ID und zusätzlicher Speicherinhalte sowie zur Übermittlung dieser Informationen an das Lesegerät durch Backscattermodulation. Bei Transpondern mit Zusatzfunktionen wie zum Beispiel Sensordatenerfassung wird der dazu notwendige Sensor noch zusätzlich aus der empfangenen Energie am Transponder versorgt.

Neben den als Produkt erhältlichen Varianten mit z.B. einem integrierten Sensor gibt es auch einige wenige Transponder ICs, die Schnittstellen für applikationsspezifische Schaltungen bieten. Hier werden reine Kommunikationsschnittstellen wie SPI und I<sup>2</sup>C geboten, um zum Beispiel mit einem Mikrocontroller auch auf den Transponderspeicher zugreifen zu können. Andere Varianten bieten auch die Möglichkeit weitere Schaltungskomponenten über einen Energy Harvesting Ausgang mit aus dem Feld des Lesegeräts gewonnener Energie zu versorgen. Beispiele sind hier ICs der Firmen NXP<sup>34</sup> und AMS<sup>5</sup>. Dabei werden i.A. aber sehr geringe Leistungen für die externen Schaltungen zur Verfügung gestellt. Die Firma Farsens<sup>6</sup> hat eine

---

<sup>3</sup> [https://www.nxp.com/products/rfid-nfc/nfc-hf/nfc-tags-for-electronics/ntag-ic-plus-2k-nfc-forum-type-2-tag-with-ic-interface:NTAG\\_I2C](https://www.nxp.com/products/rfid-nfc/nfc-hf/nfc-tags-for-electronics/ntag-ic-plus-2k-nfc-forum-type-2-tag-with-ic-interface:NTAG_I2C)

<sup>4</sup> [https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/SL3S1003\\_1013.pdf](https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/SL3S1003_1013.pdf)

<sup>5</sup> <https://ams.com/sl900a>

<sup>6</sup> <http://www.farsens.com/en/>

Familie von Transponder ICs vorgestellt, mit denen auch Energieintensivere Zusatzfunktionen wie LEDs oder Relais versorgt werden können. Diese Transponder sollen für die ersten Hardwareentwicklungen in diesem Projekt näher untersucht werden.

Neben der rein passiven Lösung auf Basis solcher RFID Transponder ICs wurden darüber hinaus auch semiaktive und aktive Lösungen untersucht, um eine Abwägung zwischen Performance und Energiekonzept zu bieten.

## 5.1 Passive Lösungsansätze

Zu Beginn der Arbeiten wurden verschiedene Lösungsansätze auf Basis der verfügbaren Transponder ICs unterschiedlicher Hersteller diskutiert. Dabei wurden sowohl passive als auch semiaktive Ansätze als Konzept erarbeitet. Die passiven und semiaktiven Lösungskonzepte werden auf Basis des schon beschriebenen Farsens Chips realisiert. Erste Vorversuche mit dem von der Firma Farsens selber bereitgestellten Evaluationsboard (Abbildung 5-1) „Stella-R“ zeigen die prinzipielle Machbarkeit der gewünschten Funktionalität. Der Chip ist dabei für die Verwendung mit einer LED empfohlen, jedoch zeigte sich in den ersten Tests eine sehr begrenzte Reichweite und auch richtungsabhängige Sensitivität. Zudem ist dieser Aufbau nicht auf leitfähigem Untergrund, wie zum Beispiel einem Metallregal verwendbar.



Abbildung 5-1 Farsens Evaluationboard

Daher wurde für den weiteren Projektverlauf ein eigenes, für die Anwendung optimiertes Antennen- und Platinendesign begonnen. Hierfür wurde ebenfalls der bereits auf dem dem „Stella-R“ verwendete „Rocky100“-Chip eingesetzt. Im Gegensatz zum Evaluationsboard sollten jedoch alle I/O Ausgänge des Chips zum Einsatz kommen. Dies ermöglicht die Ansteuerung von Mehrfarben-LEDs sowie, im Falle einer semiaktiven Lösung, die Aktivierung der aktiven Schaltungskomponenten.

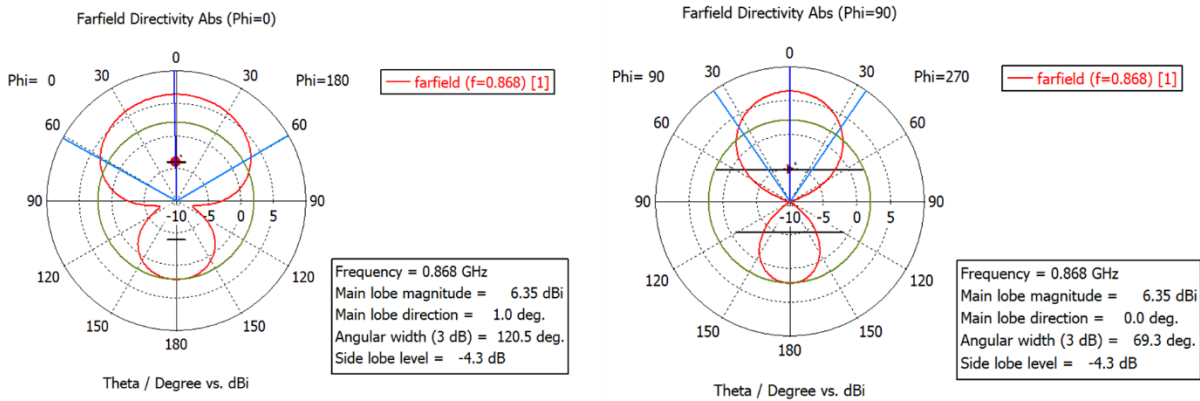


Abbildung 5-2 Richtcharakteristikdiagramme der entwickelten Transponderantennen

Für die Antennenentwicklung werden dabei die folgenden Vorgaben gemacht:

- Möglichst hoher Antennengewinn (=Effizienz) bei Reichweiten >3m
- Möglichst breiter Öffnungswinkel damit eine seitliche Ansprache z.B. bei Regalgängen möglich ist
- Anwendbar auf leitfähigen und nicht leitfähigen Untergründen hinter dem Tag (z.B. Holz oder Metallregalkomponenten)
- Möglichst geringe Abmessungen

Die entwickelte Antenne bietet für den reinen RFID Schreib-/Lesezugriff eine Reichweite von maximal 16 Metern bei einem Öffnungswinkel von 60 Grad. Abbildung 5-2 zeigt die Simulation der Richtcharakteristik der entwickelten Transponderantenne für verschiedene Lesewinkel (direkt von vorne oder seitlich).

Die simulierten Antenneneigenschaften wurden in der Antennenmesshalle des Fraunhofer IIS messtechnisch validiert (Abbildung 5-3). Die entworfene Antenne wurde im Anschluss in ein Platinendesign überführt.

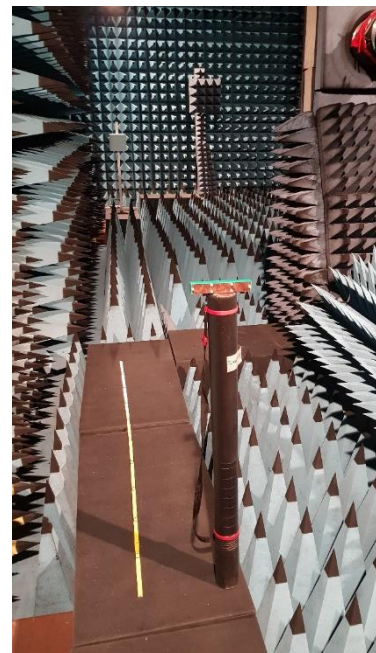


Abbildung 5-3 Messaufbau zur Validierung der Antenneneigenschaften

Herausforderungen waren hier die Integration der Anbindung der zweiten Patchebene für die Antenne sowie das Design eines flexiblen Anpassnetzwerkes zur späteren Optimierung der Antennenanpassung an den Farsens Transponder IC anhand von Messungen unter einsatznahen Bedingungen. Die entwickelte Platine wurde am Fraunhofer IIS handbestückt, getestet und im Labor hinsichtlich der Antennenanpassung optimiert.

Für den Gesamtaufbau (Abbildung 5-4) aus Antenne mit Transponderchip, Schirmmaterial für metallische Untergründe und LED Ansteuerung wurde ein Gehäuse zur Anbringung an Regalen per 3D Druck gefertigt.

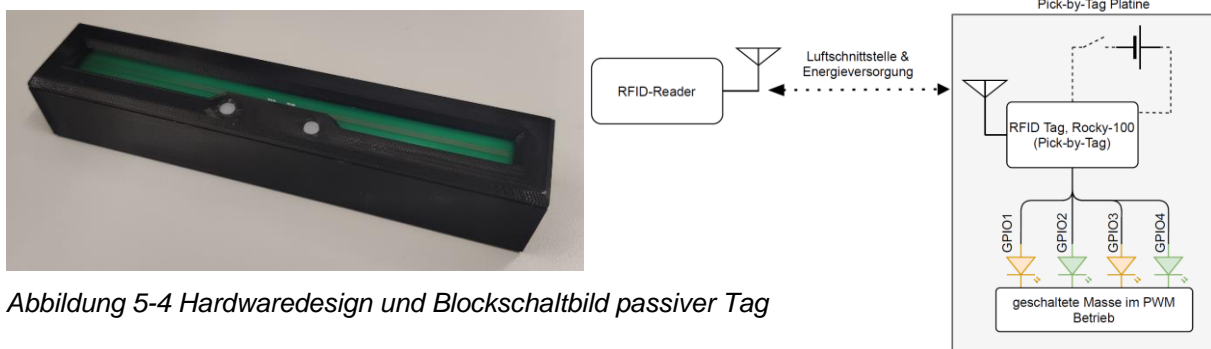


Abbildung 5-4 Hardwaredesign und Blockschaltbild passiver Tag

Allerdings zeigte sich in den weiteren Versuchen, dass bei Aktivierung der zusätzlich aus dem Lesefeld versorgten Schaltungsteile wie LED, Energiespeicher oder Mikrocontroller wesentlich geringere Reichweiten erzielt werden konnten.

So konnte mit dem verbesserten Antennendesign und der rein passiven Ansteuerung von Mehrfarben-LEDs in Regalszenarien mit einem kommerziellen Handlesegerät nur eine Reichweite von 3,5 Metern erreicht werden. Beim zusätzlichen Betrieb eines Mikrocontrollers sank die Reichweite auf 2 Meter.

Daher wurde dieser, rein passive Lösungsansatz eher für die Anwendung an einem Montagearbeitsplatz (siehe Kapitel 3.5) mit fest installiertem RFID Lesegerät weiterverwendet.

## 5.2 Semiaktive Lösungsansätze

Die aufgebaute, rein passive Lösung auf Basis des Farsens Transponder IC wurde im Folgenden zu einer semiaktiven Lösung erweitert. Dabei wird weiterhin das passive RFID Frontend für die Kommunikation mit einem Lesegerät und damit mit einem



Nutzer verwendet um eine Interaktion ohne Ruhe- bzw. Stand-by-Strom zu gewährleisten. Die aktiven Schaltungskomponenten zur Aktivierung und zum Betrieb der LED werden aus einem zusätzlichen Energiespeicher versorgt und nur bei Bedarf vom Farsens Chip nach Ansteuerung über die passive RFID Schnittstelle aktiviert. Dadurch sinkt der Ruhestrom des Gesamtaufbaus nochmal erheblich gegenüber herkömmlichen Lösungen mit aktiven Funksystemen. Gleichzeitig wird die Lese-/Schreibreichweite des RFID Frontends nicht mehr durch die zusätzliche Energieversorgung der Restschaltung beeinträchtigt. Daher ist mit diesem Aufbau eine Reichweite auch im Regalszenario von ca. 16m mit einem Handlesegerät möglich.

*Tabelle 5-1 Hochrechnung Lebensdauer mit Stützbatterie*

Fachzugriffe pro Stunde	aktive Betriebszeit	CR2450	CR2477
1	120 min	6.01 Jahre	9.70 Jahre
2	240 min	3.03 Jahre	4.89 Jahre
3	360 min	2.02 Jahre	3.27 Jahre
4	480 min	1.52 Jahre	2.46 Jahre
5	600 min	1.22 Jahre	1.97 Jahre
6	720 min	1.02 Jahre	1.64 Jahre

Tabelle 5-1 zeigt die zu erwartende Lebensdauer abhängig von den Regalzugriffen für zwei mögliche Batteriebauformen.

Um nun dieses Lösungskonzept, mit guter funktionaler Performance, trotzdem ohne eine fest verbaute Batterie passiv betreiben zu können, wurde eine Versorgung der aktiven Schaltungskomponenten aus Solarzellen untersucht.

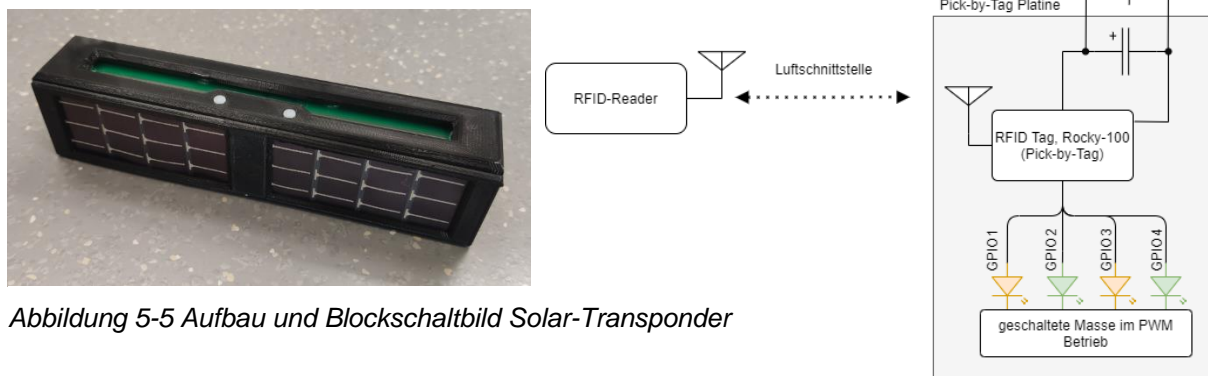


Abbildung 5-5 Aufbau und Blockschaltbild Solar-Transponder

Dazu wurde zunächst der Energieertrag mit Solarzellen bei der verfügbaren Gehäusefläche in Innenräumen gemessen. Für Lagerumgebungen ist aktuell eine Beleuchtungsstärke von mindestens 200 Lux gesetzlich vorgeschrieben<sup>7</sup>. Mit dieser Lichtintensität steht bei Verwendung von Solarzellen ausreichend Energie zur Verfügung, um einen Energiespeicher, beispielsweise einen Goldcap Kondensator, für den Betrieb der aktiven Schaltungskomponenten zu laden. Dies ist insbesondere dadurch möglich, da die aktiven Schaltungskomponenten nicht dauerhaft aktiv sind, sondern nur bei Bedarf über das RFID Frontend aktiviert werden. Für die RFID Kommunikation werden dabei Reichweiten >10m erreicht. Die Aufladung des Energiespeichers über die Solarzelle geschieht jedoch dauerhaft und ermöglicht so auch einen Betrieb des Gesamtsystems bei wesentlich geringerer Lichtintensität. Der semiaktive Aufbau mit Solarzelle wurde im Kellerlager des Fraunhofer IIS erfolgreich getestet.

Diese semiaktive Lösung (Abbildung 5-55) ist dabei auch mit anderen Chip Varianten als dem anfangs beschriebenen Farsens Transponderchip umsetzbar. So bietet beispielsweise NXP mit der Ucode-Serie Transponderchips, die neben dem reinen Schreib-/Lesezugriff über das RFID Frontend auch eine Ansteuerung zusätzlicher Schaltungskomponenten ermöglichen.

<sup>7</sup> [https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-4.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-4.pdf?__blob=publicationFile)

### 5.3 Aktive Lösung

Alternativ zu den aufgebauten passiven und semiaktiven Lösungen auf Basis von RFID Transponder ICs wurde auch eine aktive Lösung mit einem WakeUp Receiver (Abbildung 5-67) als Vergleichstechnologie im Projekt betrachtet. Dieser, vom Fraunhofer IIS entwickelte und kommerziell verfügbare Empfänger IC kann ähnlich wie ein RFID Transponder IC selektiv per Funk angesprochen werden und nach Erhalt entsprechender Signale weitere Funktionen aktivieren. Im Gegensatz zu klassischen Funklösungen wie zum Beispiel Bluetooth oder Zigbee ermöglicht der WakeUp Receiver diese Funktionalität bei äußerst geringen Stand-by Strömen von 3-5  $\mu\text{A}$ . Mit dieser Energieaufnahme in der Größenordnung der Selbstentladung einer herkömmlichen Batterie ist dabei die gleiche Funktionalität wie bei der oben beschriebenen semiaktiven Lösung auf Basis eines Transponder ICs umsetzbar. Im Projekt wurde dies nur für einige wenige Prototypen auf Basis eines Evaluationboards umgesetzt. Mit diesem konnte gezeigt werden, dass das Konzept einer aktiven Lösung mit WakeUp Receiver und Solarzellenversorgung im Anwendungsszenario Regal Reichweiten von über 60 Metern erreichen kann. Der verwendete Aufbau war dabei noch nicht auf maximale Reichweite optimiert. Hier sind Lösungen mit >200 m Reichweite bei gleicher Performance möglich. Somit ist es denkbar, dass hier die einzelnen Pick-by-light Module drahtlos von einem einzelnen Transmitter pro Regal oder Lagerbereich angesteuert werden können, bei gleichzeitigem energieautarken Betrieb der einzelnen Module über Solarzellen.

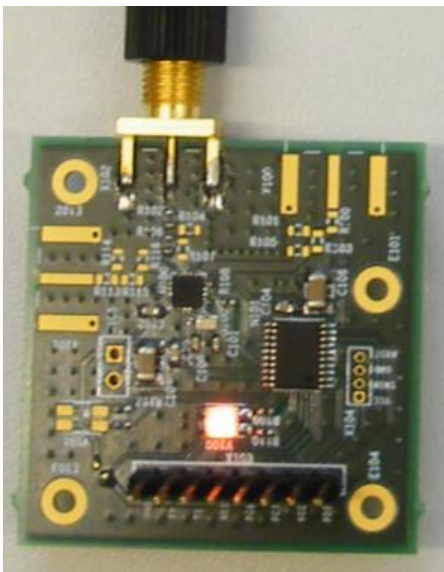


Abbildung 5-6 RFicient® Wake-Up Receiver Evalboard

## 5.4 Zusammenfassung

Im Projekt wurden verschiedene Konzepte erarbeitet, prototypisch realisiert und qualifiziert, um die gewünschten Funktionen zu realisieren. Tabelle 5-2 zeigt eine Zusammenfassung der verschiedenen Lösungsansätze. Rein passive Lösungen auf Basis der RFID Technologie sind dabei durch die gesetzlichen Vorgaben zur Signalstärke bei UHF RFID System stark in Reichweite und Funktionsumfang limitiert, kommen aber dafür vollkommen ohne weitere Energiezufuhr aus und sind damit wartungsfrei. Die Ansteuerung erfolgt über in Logistikprozessen bereits teilweise etablierten kommerziellen RFID Lesegeräten und ist daher ohne weitere Hürden in vorhandene Prozesssteuerungsabläufe oder Backendsysteme möglich.

Tabelle 5-2 – Übersicht erarbeitete Lösungskonzepte

	PBT passiv	PBT semiaktiv (Batterie)	PBT semiaktiv (Energy Harvesting)	PBT semiaktiv (RFicient)
<b>Reichweite</b>	3,5 m	< 16 m	< 16 m	< 60 m
<b>Stromverbrauch</b>	/	Sleep: 0,5µA	Idle: ~9,5 µA	Sleep:~5-6µA
<b>Helligkeit LED</b>	mäßig	einstellbar	einstellbar	einstellbar
<b>Besonderheiten</b>	Autark, "nur" Reader nötig	Batteriewechsel zwingend	autark	Autark/Batterie, präpro. Sender

Die limitierte Reichweite und Funktionseinschränkungen rein passiver Lösungen auf Basis der RFID Technologie kann durch einen zusätzlichen Energiespeicher stark erweitert werden. Neben der Verwendung herkömmlicher Primärzellen zur Versorgung der aktiven Schaltungskomponenten können Kondensatoren als Energiespeicher und Solarzellen als Energiequelle auch bei geringer Beleuchtungsstärke einen wartungsfreien Betrieb ermöglichen. Die Module können dabei weiterhin ohne weitere Implementierungshürden über Ihre RFID Schnittstelle angesteuert werden. Die Schreib-/Lesereichweite ist in diesem Fall vergleichbar zu herkömmlichen RFID

Anwendungen ohne Zusatzfunktionalitäten. Anders als bei Lösungen mit aktiven Funksystemen wie zum Beispiel Bluetooth oder Zigbee erfolgt aber die Kommunikation mit den Modulen über die RFID Schnittstelle rein passiv, was zu einer wesentlich niedrigeren Leistungsaufnahme im Stand-by-Betrieb führt.

Als alternativer Lösungsansatz wurde mit der Verwendung eines WakeUp Receivers den RFID basierten Lösungskonzepten eine Technologie gegenübergestellt, die die Vorteile aktiver Funksysteme (hohe Reichweite) mit denen von passiven Systemen auf RFID Basis (wenig bis keine Leistungsaufnahme im Stand-by) weitestgehend vereint. Der WakeUp Baustein dient dabei, ähnlich wie der RFID Transponder in der semiaktiven Lösung zur selektiven Aktivierung der mit ihm verbundenen Schaltungskomponenten. Dabei beträgt die notwendige Stromstärke für diese Funktionalität lediglich 2-5  $\mu\text{A}$  bei wesentlich höherer Reichweite und ist damit zumindest als echte Alternative zwischen einer aktiven Lösung mit Standardfunkverbindung und einer rein passiven Lösung auf RFID Basis einzuordnen. Sie bietet somit eine weitere echte Alternative zu Implementierungen mit Standardfunksystemen

Damit stehen nach Abschluss des Projektes verschiedene erprobte Lösungsansätze als Hardware zur Verfügung, die zielgerichtet in passenden Szenarien eingesetzt werden können. Tabelle 5-3 stellt die geschätzten Produktionskosten für die einzelnen Lösungen auf Basis der an Fraunhofer abgegebenen Angebote für diese Stückzahlen gegenüber. Dabei ist zu beachten das die Beschaffung der einzelnen Komponenten zu Preisen aus dem Prototypenbau erfolgte.

*Tabelle 5-3 – Kostenschätzung für die RFID Transponder Zusatzteile für die vier verschiedenen Lösungsansätze*

	<b>Name</b>	<b>Kosten pro Tag bei ~ 200 Stück [€]</b>	<b>Kostenschätzung pro Tag skaliert (2000+) [€]</b>
<b>Passiv</b>	UHF RFID IC	4,90	3,50
<b>Semiaktiv – Batterie</b>	NXP Dual IC + MC	1,00 + 1,50	0,70 + 1,00
	Batterie	2,00	1,00
<b>Semiaktiv – Energy Harvesting (solar)</b>	NXP Dual IC + MC	1,00 + 1,50	0,70 + 1,00
	Solarzelle	5,00	2,50
<b>Semiaktiv - RFicient</b>	RFicient IC + MC	4,00 + 1,30	1,50 + 1,00

Tabelle 5-4 – Kostenschätzung für das Gesamtprodukt in der passiven Variante

	<b>Name</b>	<b>Kosten pro Tag bei ~ 200 Stück [€]</b>	<b>Kostenschätzung pro Tag skaliert (2000+) [€]</b>
<b>Elektronik</b>	Bauteile	4,90	3,25
	UHF RFID IC	4,90	3,5
	Platine + Bestückung	4,44	3,00
<b>Mechanik</b>	Bauteile	5,17	3,36
	Gehäuse	10,00	3,00
<b>Gesamt</b>		<b>29,01</b>	<b>16,11</b>

## 6 Software

### 6.1 Überblick über die Gesamtarchitektur

Das Pick-by-Tag-System besteht aus unterschiedlich stark gekoppelten Komponenten, die jeweils spezifische Teilfunktionalität in sich kapseln. Abbildung 6-1 stellt eine Übersicht über die Komponenten und deren Interaktion dar. Die Middleware besteht dabei aus einer REST-API, Web-Sockets und einer relationalen Datenbank. Ein weiterer Bestandteil ist die Management-Service Komponente, die das Datenmodell beinhaltet, welches alle relevanten Informationen für die operative Abwicklung der Logistik- und Produktionsprozesse bereitstellt. Für den Feldtest wurde ebenfalls eine Integrations-Service Komponente geschrieben, die eine informationstechnische Verknüpfung mit den IT-Systemen der Anwendungspartner umsetzt.

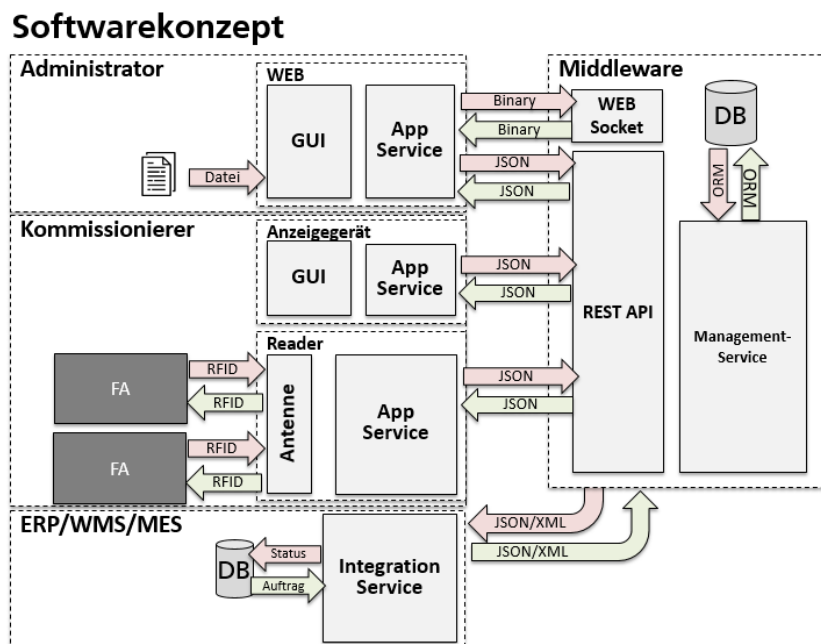


Abbildung 6-1 Übersicht über die Softwarekomponenten

Die Administration des Systems erfolgt über ein Web-Frontend, in dem die logische Zuordnung von Regalen, Fächern und Fachanzeigen geändert werden kann. Weiterhin gibt es die Möglichkeit exportierte Aufträge als Datei einzuspielen oder händisch neue Aufträge via Web-Frontend zu erstellen. Abbildung 6-2 stellt die Auftragsverwaltungsansicht des Web-Frontends dar, welche eine Übersicht über alle Kommissionierer und aktuell zugewiesenen Aufträgen bereitstellt. Damit beide Anwendungsszenarien abgebildet werden können, ermöglicht die Middleware sowohl das Erstellen von Sequenzaufträgen zur Steuerung der Reihenfolge, als auch Warenkorbaufträge für klassische Kommissionierprozesse.

Auftrag	Punkte	Strukturierung	Status	Kommissionierer	Farbe	Positionen	Kommissioniererebene	Aktion
Sequenz	██████████	4_10	versendet an Display	Elke Musterbau	Grün	Positionen	Kommissionierer	Senden Abbrechen
Sequenz	██████████	4_11	versendet an Display	Max Mustermann	Blau	Positionen	Kommissionierer	Senden Abbrechen
Sequenz	██████████	4_12	versendet an Display	Hans Dampf	Rot	Positionen	Kommissionierer	Senden Abbrechen
Sequenz	██████████	5_1	validiert	-	-	Positionen	Kommissionierer	Senden Abbrechen
Sequenz	██████████	5_2	validiert	-	-	Positionen	Kommissionierer	Senden Abbrechen
Sequenz	██████████	5_3	validiert	-	-	Positionen	Kommissionierer	Senden Abbrechen
Sequenz	██████████	5_4	validiert	-	-	Positionen	Kommissionierer	Senden Abbrechen
Sequenz	██████████	5_5	validiert	-	-	Positionen	Kommissionierer	Senden Abbrechen

Abbildung 6-2 Auftragsverwaltungsansicht des Web-Frontend

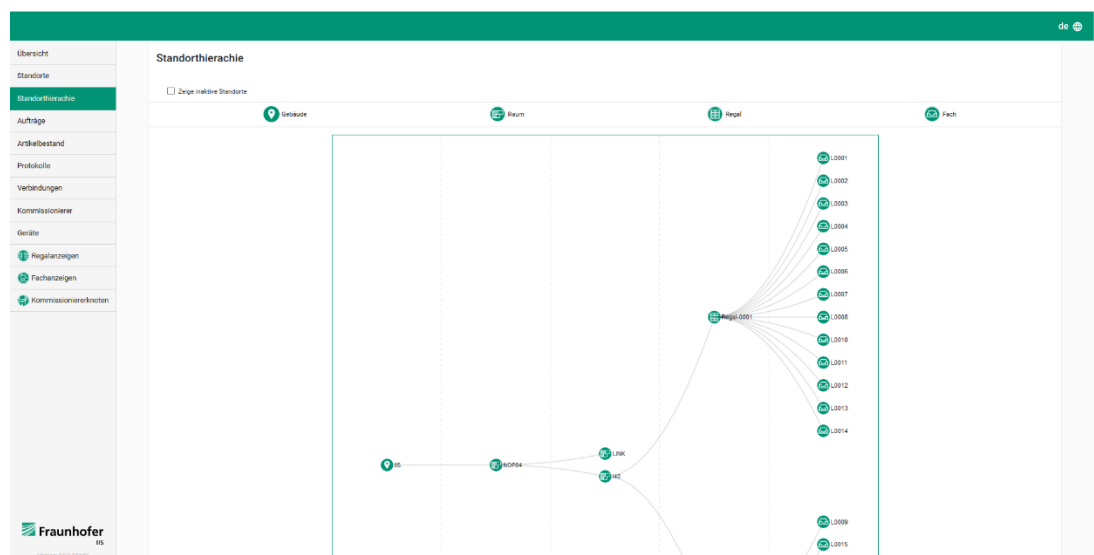


Abbildung 6-3 Hierarchieansicht des Web-Frontend

Abbildung 6-3 stellt eine hierarchische Übersicht über die Verknüpfungsbeziehungen im Datenmodell von Regalen, Fächern und Fachanzeigen dar. Insbesondere die spezifischen Anforderungen für den Anwendungsfall der klassischen Kommissionierung haben es nötig gemacht, Mitarbeiter sowohl im Fernfeld (>5m) als auch im Nahfeld (<5m) zum passenden Fach zu führen, damit die Fachanzeige mit dem nötigen Strom versorgt wird und blinkt. Hierfür können in der Hierarchie Fächer zu Regalen zugeordnet und entsprechende Regalknoten hinterlegt werden. Die Regalknoten werden anschließend automatisch angesteuert, falls ein Auftrag Positionen enthält, die in den untergeordneten Fächern gefunden werden können.



## 6.2 Integration der Fachanzeigen

Aus den jeweiligen Anwendungsszenarien ergeben sich spezifische Anforderungen, die in den Integrationskonzepten der Fachanzeigen für die jeweiligen Szenarien berücksichtigt worden sind. Abbildung 6-4 stellt eine Übersicht über die Integrationskonzepte für die Fachanzeigen des Pick-by-Tag-Systems dar.

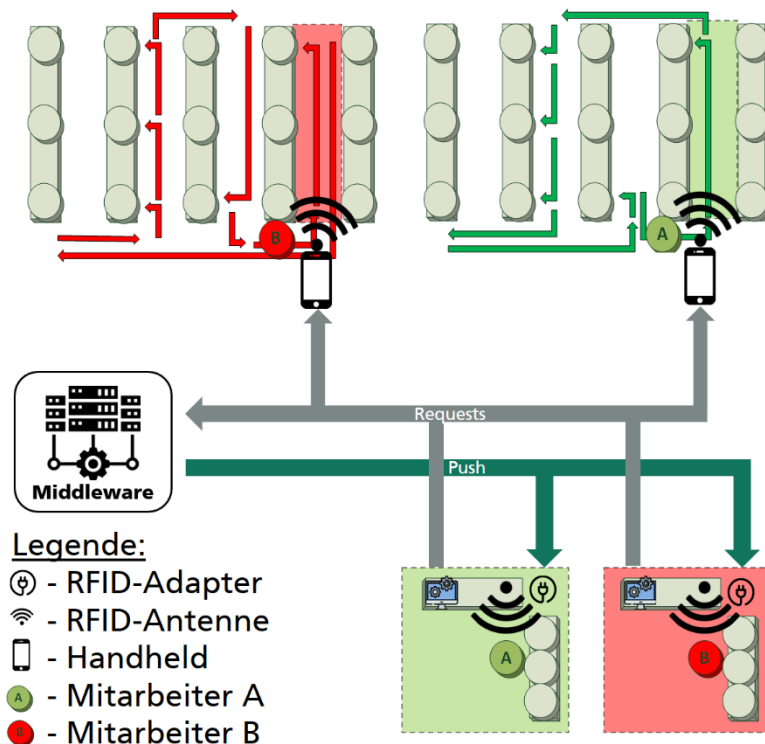


Abbildung 6-4 Übersicht über die Szenarien inklusive relevanter Komponenten

Im Szenario Manuelle Kommissionierung kommt ein MDT zum Einsatz, das von den Kommissionierern mobil durch das Lager bewegt wird. Hierbei kommt ein klassisches Client-Server-Model zum Einsatz, da der Client aufgrund von Energiesparmechanismen im Betriebssystem oder eingeschränkter WLAN-Abdeckung temporär nicht erreichbar sein kann. Dabei fragt der Client zyklisch den Status von ihm zugewiesenen Aufträgen ab und aktualisiert diese automatisch bei Wiederherstellung der WLAN-Verbindung. Für dieses Szenario wurde eine Android App entwickelt, die in Kapitel 6.3 detailliert beschrieben wird. Die Integration der Fachanzeigen erfolgt hierbei über das Zebra SDK, indem die hinterlegten EPC-ID zum Ansteuern der passenden Fachanzeigen verwendet werden.

Für das Szenario Unterstützung im Montageprozess wurden die Montageplätze mit den notwendigen technischen Komponenten (RFID-Antenne, RFID-Reader,

Einplatinencomputer) ausgestattet. Dabei stellt der für die Montagezellen entwickelte RFID-Adapter eine REST-Schnittstelle bereit und ermöglicht dem Client (Middleware) eine sofortige Verarbeitung der Anfrage. Gleichzeitig kann die Middleware unterschiedliche Montagezellen individuell über die hinterlegten Adressen ansteuern und somit eine optimale Umsetzung des Montageprozesses realisieren. Die Fachanzeigen werden hierbei über das Octane SDK innerhalb der Server Applikation angesteuert.

### 6.3 Gestaltung der App

Die entwickelte App dient dem Kommissionierer zur Quittierung von durchgeführten Arbeiten und kann außerdem zusätzliche Informationen des aktuellen Auftrags auf dem Display des MDTs bereitstellen. Die Abbildungen 6-5 und 6-6 zeigen mögliche Informationsdarstellungen auf der App. Funktional umgesetzt wurde eine Kombination dieser Abbildungen auf Basis einer dynamischen Skalierung, damit je nach verfügbarer Bildschirmgröße die notwendigen Informationen optimal dargestellt werden können.

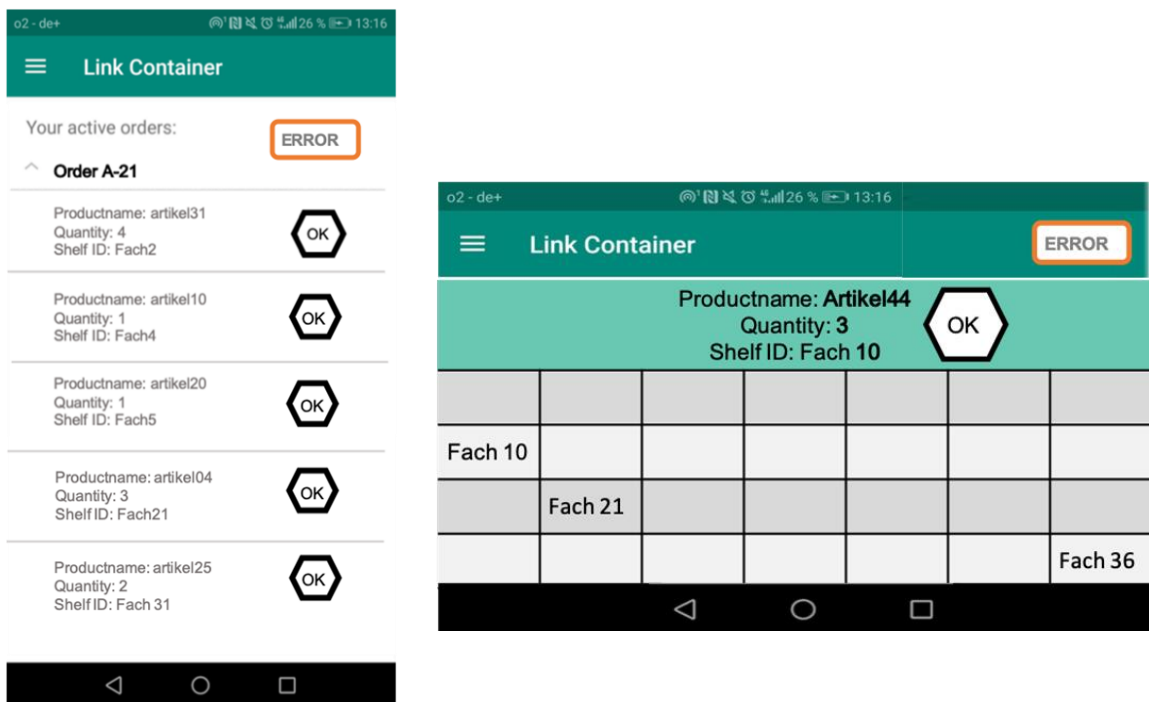


Abbildung 6-5: Informationsdarstellung auf dem Display, links: Darstellung als Liste, rechts: Darstellung als Bild

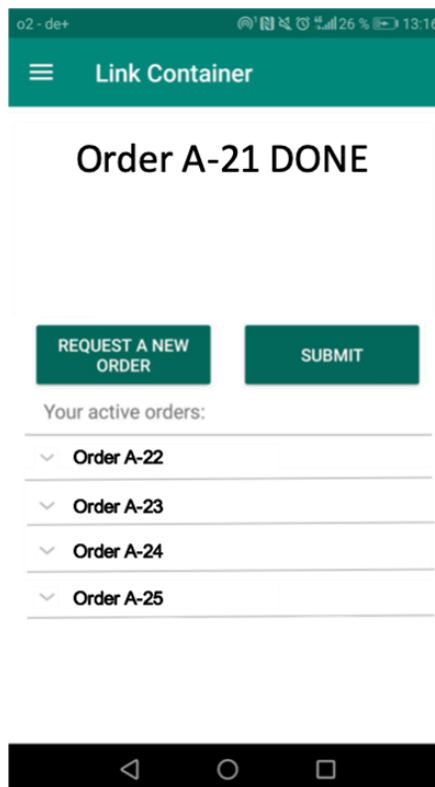
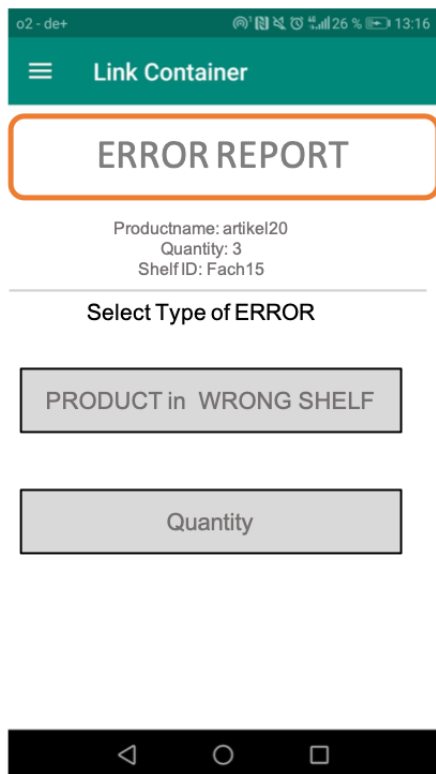


Abbildung 6-6: Informationsdarstellung auf dem Display, links: Meldung auftretender Fehler, rechts: manuelle Quittierung eines Auftrags

Zur Unterstützung während des Kommissioniervorgangs werden dem Kommissionierer auftragsrelevante Informationen auf dem Display bereitgestellt. Bei beiden Darstellungsformen in Abbildung 6-5 sind alle Informationen zu dem Artikel ersichtlich, sodass der Artikel auch bei ausgefallener Fachanzeige problemlos gefunden werden kann. Während bei der Informationsdarstellung in der linken Abbildung die Ausgabe als Liste erfolgt, ermöglicht die Darstellung in der rechten Abbildung eine visuelle Hilfestellung zum Auffinden des Standorts mit dem zu entnehmenden Artikel. Außerdem kann der Kommissionierer eventuell auftretende Fehler, wie beispielsweise fehlende Teile, falsche Fachnummern usw. auf dem Display des MDT melden (vgl. Abbildung 6-6). Die gemeldeten Fehler werden anschließend automatisch an das WMS weitergeleitet. Die manuelle Quittierung des Eingriffs, des entnommenen Artikels oder des gesamten Auftrags erfolgt ebenfalls über die dargestellte App. Nach Abschluss eines Auftrags kann ein neuer Auftrag angefordert werden. Falls zur Entnahme eines Artikels ein Gassenwechsel notwendig ist, wird dieser zusätzlich zum Aufleuchten des Tags an der Gasse auch in der App angezeigt.

## 7 Integrationstests und Anpassungen

---

Die entwickelten Komponenten werden zunächst unter Laborbedingungen getestet und optimiert. Zur Evaluierung des Gesamtsystems unter praxisnahen Bedingungen und zur Identifikation weiterer Entwicklungs- und Anpassungsbedarfe werden Probandenversuche in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml für das Szenario des manuellen Kommissionierens durchgeführt. Zusätzlich zur Bewertung des optimalen Kommissionierablaufs wird die Wahrnehmung des Pick-by-Tag-Systems anhand von subjektiven Kriterien beurteilt, die in Form von Fragebögen ausgewertet werden. Um das Potenzial der Neuentwicklung aufzuzeigen, erfolgt außerdem ein Vergleich zu dem klassischen Kommissionieren mit Liste. Im letzten Schritt wird das final angepasste System für das Einsatzszenario eines Montagearbeitsplatzes weiter erprobt. Ursprünglich sollte das Pick-by-Tag-System praxisnah bei zwei Anwendungspartnern getestet werden. Da es aufgrund der Pandemie nicht möglich war, den Produktionsbereich der Firmen zu betreten, wurden als Ersatz weitere Probandenversuche in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml für dieses Einsatzszenario durchgeführt. In Absprache mit den im PA beteiligten Unternehmen wurde dem Lehrstuhl ein Transportwagen zur Versuchsdurchführung für dieses Szenario zur Verfügung gestellt. Eine Beteiligung der Firmen war mit Vorführungen per Videoübertragung möglich. Bei einem PA-Mitglied wurde das System als Demonstrator aufgebaut und vorgeführt.

### 7.1 Probandenversuche zum Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung

#### 7.1.1 Versuchsaufbau und Versuchsablauf bei der manuellen Kommissionierung

Das Ziel der Probandenversuche ist eine Untersuchung des Pick-by-Tag-Systems bezüglich des Potenzials beim Einsatz in der manuellen Kommissionierung. Die Auswertegrößen Kommissionierfehler und Kommissionierzeit werden dabei fokussiert betrachtet. Um das entwickelte System zu bewerten, wird das Kommissionieren mit klassischer Papierliste in die Probandenversuche miteinbezogen. Aufgrund der großen praktischen Relevanz der Papierliste bei den Mitgliedern des PA (vgl. Abschnitt 2.1) wird ein Vergleich mit dieser Kommissioniertechnik als Referenz angesehen. Nach dem Kommissionierprozess wird die persönliche Einschätzung jedes Probanden bezüglich des neu entwickelten Systems mit Hilfe eines Fragebogens abgefragt.

## Fragebogen

Um aussagekräftige Ergebnisse bei der Auswertung der Fragebögen zu erhalten, ist eine gute methodische Planung entscheidend. Der in dieser Studie verwendete Fragebogen (vgl. Anhang A) enthält eine Vielzahl an geschlossenen Fragestellungen und zwei offene Fragestellungen zur Kommissioniertechnik. Der Fragebogen wird sowohl für das Kommissionieren mit dem Pick-by-Tag-System als auch für das klassische Kommissionieren mit Papierliste ausgefüllt. Anhand einiger subjektiver Kriterien gibt jeder Proband auch eine Selbsteinschätzung bezüglich seiner bevorzugten Kommissioniertechnik an. Bei der Versuchsauswertung werden diese subjektiven Angaben am Ende als Vergleich mit der tatsächlichen Kommissionierleistung des Probanden verwendet und Schlussfolgerungen abgeleitet. Die offenen Fragen bieten die Möglichkeit Verbesserungspotenziale aufzuzeigen, die nicht durch die betrachteten Einflussgrößen aus den geschlossenen Fragen erfasst werden. Bei den geschlossenen Fragen werden subjektive Kriterien, wie beispielsweise die Einfachheit des Systems in der Handhabung, die Motivation während der Arbeit oder auch ergonomische Gesichtspunkte und der Bedienkomfort abgefragt. Damit die Fragen leicht verständlich sind, wurde bei der Erstellung des Fragebogens darauf geachtet, möglichst einfache Wörter und kaum Fachbegriffe zu verwenden. Zur Bewertung der Kommissioniertechnik steht den Probanden eine sechsstufige, verbalisierte Skala zur Verfügung, die zwischen „Stimmt überhaupt nicht“ und „Stimmt genau“ unterscheidet. Im Gegensatz zur fünfstufigen Skala müssen sich die Probanden dabei für eine eher positive oder eine eher negative Bewertung entscheiden. Falls keine Angabe zu einer Aussage möglich ist, steht die Option „keine Angabe“ zur Verfügung (vgl. Abbildung 7-1). Bei Fragestellungen, die stets die gleichen Auswirkungen auf die Zielgröße haben, tritt die Gefahr der „Ja-Sage“-Tendenz auf. Um dies zu vermeiden, sind die Aussagen teilweise in negierter Form angegeben.

	Stimmt überhaupt nicht	Stimmt weitgehend nicht	Stimmt eher nicht	Stimmt ein wenig	Stimmt weitgehend	Stimmt genau	Keine Angabe
Das Kommissioniersystem Pick-by-Tag ist sehr umständlich zu bedienen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Steuerung des Systems ist eindeutig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 7-1: Sechsstufige Skala für geschlossene Fragen

Der Fragebogen setzt sich aus vier Kategorien zusammen, die in folgender Liste zusammengefasst sind:

1. Allgemeines
  - Angaben zur Person
  - Angaben zur Kommissioniererfahrung
  
2. Fragen zur Kommissioniertechnik Pick-by-Tag
  - Einfachheit und Motivation
  - Visuelle Wahrnehmung
  - App/Computersystem
  - Offene Fragen zu Vorteilen/Nachteilen
  
3. Fragen zur Kommissioniertechnik Papierliste
  - Einfachheit und Motivation
  - Offene Fragen zu Vorteilen/Nachteilen
  
4. Selbsteinschätzung zu den Technologien Pick-by-Tag/Papierliste

Im ersten Teil des Fragebogens wird die Erfahrung des Probanden bei der Kommissionierung und bei der Verwendung unterschiedlicher Kommissioniersysteme ermittelt. Es folgen jeweils Fragen zu den Kommissioniertechniken von Pick-by-Tag und der Papierliste. Um einen Vergleich zwischen den Kommissioniertechniken Pick-by-Tag und Papierliste zu ermöglichen, sind zu beiden Techniken teilweise identische Fragen gestellt. Am Ende des Fragebogens beurteilt jeder Proband in einer Selbsteinschätzung mit welcher Technik das Kommissionieren für ihn effektiver möglich war.

### **Versuchsaufbau**

Abbildung 7-2 zeigt die Versuchsumgebung in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml zur Durchführung der Probandenstudie bei der manuellen Kommissionierung. Die Versuchsumgebung besteht aus insgesamt vier Fachbodenregalen, die in der Abbildung mit der Zahl 1 gekennzeichnet sind.

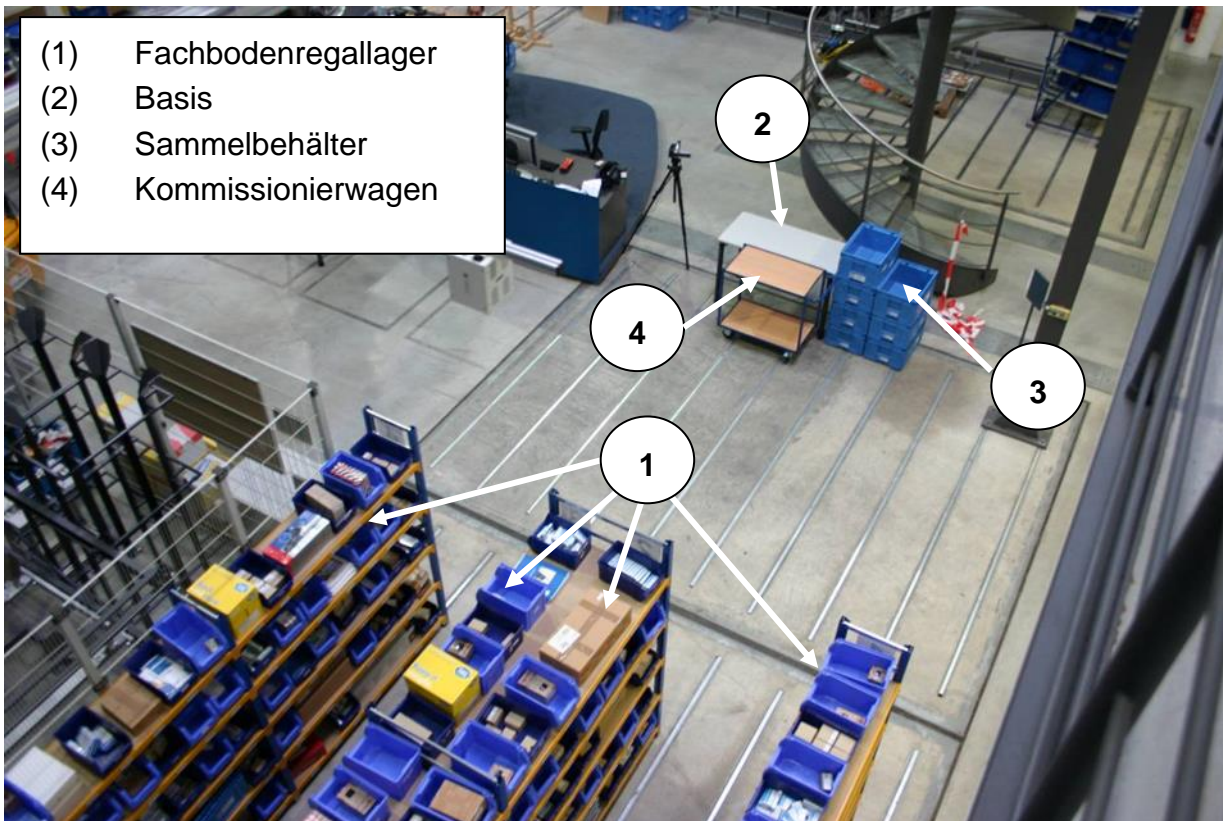


Abbildung 7-2: Versuchsaufbau zur Durchführung der Probandenstudie bei der manuellen Kommissionierung

In Abbildung 7-3 ist das verwendete Fachbodenregallager dargestellt. Die vier Regale des Lagers sind in zwei Gassen angeordnet. Die Länge der Regale beträgt 3,36 m, die Tiefe 0,4 m und die Gassenbreite 1 m. Jedes Regal besteht aus fünf Ebenen, die jeweils mit einem vertikalen Abstand von 0,4 m angeordnet sind. Aufgrund von ergonomischen Anforderungen befindet sich die oberste Regalebene auf 1,73 m. Als Lagerhilfsmittel beinhalten die einzelnen Ebenen Sichtlagerkästen mit einer Grundfläche von 210 mm x 330 mm. Jede Regalebene beinhaltet jeweils 14 Fächer, wodurch sich für das Lager insgesamt 280 Lagerplätze ergeben. In den Sichtlagerkästen befinden kleine bis mittelgroße Kartons für unterschiedlichste Artikel wie beispielsweise Schrauben, Unterlegscheiben, Stifte, Medikamente oder Broschüren. Teilweise sind die Kartons leer, teilweise beinhalten sie die entsprechenden Produkte.

Um den Versuch mit der Kommissioniertechnik Pick-by-Tag durchzuführen, wurden in dem Lager insgesamt 16 passive RFID-Tags an zufällig ausgewählten Fächern befestigt (vgl.



Abbildung 7-4). Um den Einfluss der Metallschienen an den Fächern auf die Versuchsergebnisse zu untersuchen wurden bezüglich der Tags zwei Versuchsaufbauten vorgenommen: Bei den ersten drei Probanden wurden alle Tags über der Metallschiene angebracht, bei den darauffolgenden 14 Probanden wurden die Tags direkt vor der Metallschiene angebracht. Die Auslegung der RFID-Antennen erfolgte für eine Anbringung direkt auf der Metallschiene, weshalb der zweite Versuchsaufbau zu besseren Ergebnissen führen sollte. Zur Anzeige eines möglichen Gassenwechsels kann jeweils ein Tag an der Stirnseite jeder Gasse angebracht werden. Beim Versuch wurde allerdings darauf verzichtet, da die programmierte App den Gassenwechsel auch anzeigt und das aus zwei Gassen bestehende Versuchslager sehr übersichtlich ist. Zur Kommissionierung mit dem Pick-by-Tag-Kommissioniersystem wurde ein MDT verwendet (vgl. Abbildung 7-5). Auf diesem erfolgt einerseits die Bereitstellung der zusätzlichen Informationen über die installierte App. Andererseits diente das MDT zur Energieversorgung und Aktivierung der Tags.

Zur Durchführung des Kommissionierens mit Papierliste ist jedem Lagerplatz eine eindeutige Beschriftung zugeordnet. Die Bezeichnung der Lagerplätze setzt sich dabei aus Ziffern und Buchstaben zusammen. Die Bezeichnung besteht der Reihenfolge nach aus einer Ziffer für die Regalnummer, einer Zahl für den Stellplatz und einem Buchstaben für die Ebene.



Abbildung 7-3: Verwendetes Fachbodenregallager





Abbildung 7-4: RFID-Tags an den Regalfächern, links: Anbringung direkt über der Metallschiene, rechts: Anbringung vor der Metallschiene



Abbildung 7-5: Mobiles Datenterminal (MDT) zur Durchführung der Probandenstudie für das Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung

## Versuchsablauf

Die Probandenstudie zur manuellen Kommissionierung wird mit insgesamt 17 Mitarbeitern des Lehrstuhls durchgeführt. Aufgrund der Pandemie wurde der Kommissionierprozess für die am Projekt beteiligten Firmen mit einem Video veranschaulicht. Um für alle Probanden vergleichbare Bedingungen zu ermöglichen,

erfolgt die Durchführung nach einem fest vorgegebenen Ablauf, der sich in folgende Schritte untergliedert:

- Einweisung (20 min)
- Kommissionieren mit Hilfe der Papierliste (15 min)
- Kommissionieren mit Hilfe des Pick-by-Tag-Systems (15 min)
- Ausfüllen des Fragebogens (10 min)

Im Rahmen der Einweisung werden der Aufbau des Lagers, die Bedienung des Pick-by-Tag-Systems, der Aufbau der Kommissionierliste und die durchzuführenden Kommissionierarbeiten erläutert. Damit die Probanden mit der Lagerumgebung und der Pick-by-Tag-Kommissioniertechnik vertraut werden, beinhaltet die Einweisung auch das Kommissionieren eines exemplarischen Testauftrags, bei dem einige Artikel aus dem Lager entnommen werden. Im nächsten Schritt beginnt die eigentliche Versuchsdurchführung, bei der jeder Proband mit Hilfe der beiden Kommissioniertechniken jeweils vier Aufträge kommissioniert.

Zur Kommissionierung wird ein Kommissionierwagen (4) verwendet, den die Probanden in der Gasse mitführen (vgl. Abbildung 7-2). Zu Beginn des Kommissioniervorgangs nimmt der Proband einen Sammelbehälter (3) an der Basis (2) auf. Als Sammelbehälter dient ein Kleinladungsträger (KLT) mit den Maßen 600 mm x 400 mm x 280 mm, der auf dem Kommissionierwagen transportiert wird. Die kommissionierten Artikel werden jeweils in dem Sammelbehälter abgelegt. Nach dem Kommissionieren eines Auftrags wird der Sammelbehälter an der Basis abgestellt und es wird ein neuer Sammelbehälter zur Bearbeitung des nachfolgenden Auftrags aufgenommen.

Im praktischen Einsatz muss der Kommissionierer beim Kommissionieren mit Papierliste zunächst die Auftragsliste ausdrucken, bevor er mit dem Kommissionieren starten kann. Im Probandenversuch wird jedoch ein idealisierter Prozess zugrunde gelegt, bei dem die einzelnen Auftragslisten bereits fertig vorbereitet an der Basis bereitliegen. Das Quittieren eines entnommenen Artikels erfolgt durch Abhaken auf der Auftragsliste.

Während des Kommissionierens mit dem Pick-by-Tag-Kommissioniersystem wird das MDT vom Probanden mitgeführt. Es stellt die Energie zum Aufleuchten der LEDs bereit. Die Abfrage der Aufträge und die Quittierung der entnommenen Artikel erfolgen über die App auf dem Display des MDT. Der Prozess zum Ablauf der Kommissionierung ist in Abbildung 7-6 zusammengefasst dargestellt.

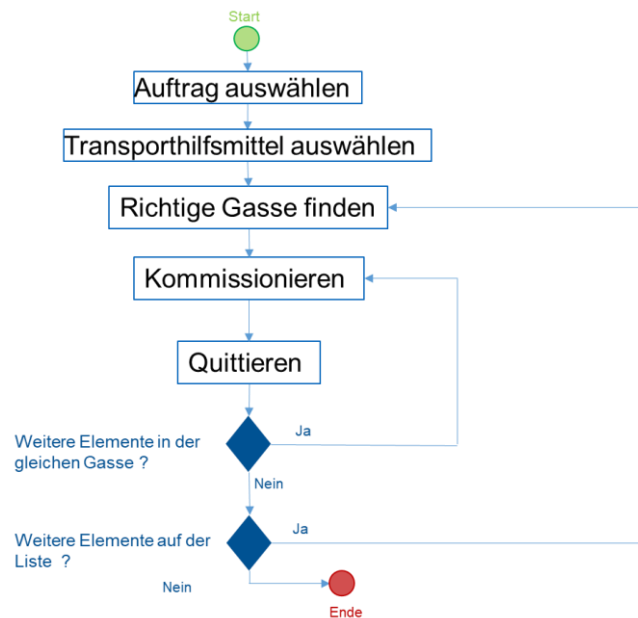


Abbildung 7-6: Prozess zur manuellen Kommissionierung während dem Probandenversuch

Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Probanden zu gewährleisten, bearbeiten alle Probanden die gleichen vier Kommissionieraufträge. Zur Vermeidung von Lerneffekten wird beim Erstellen der Auftragsliste für die beiden Kommissioniersysteme allerdings darauf geachtet, dass nicht dieselben Fächer für das Kommissionieren mit Papierliste und mit dem Pick-by-Tag-System verwendet werden. Die Vergleichbarkeit der beiden Technologien wird dadurch sichergestellt, dass in unterschiedlichen Fächern dieselben Artikel oder Artikel mit einer ähnlichen Haptik liegen, wie beispielsweise eine andere Broschüre oder ein Filzstift eines anderen Herstellers. Ferner enthalten die Aufträge bei beiden Techniken die gleiche Artikelmenge pro Position.

In Abbildung 7-7 ist eine Auftragsliste für das Kommissionieren mit Papierliste abgebildet. Diese enthält alle für den Auftrag relevanten Daten. Damit die Probanden die notwendigen Daten ohne großen kognitiven Aufwand identifizieren können und zur Vermeidung von Kommissionierfehlern wurde beim Erstellen der Liste darauf geachtet, dass diese möglichst übersichtlich gestaltet ist. Durch einen ausreichend großen Abstand sind die einzelnen Auftragszeilen klar voneinander unterscheidbar. Außerdem wurden die Daten in einer Auftragszeile so angeordnet, dass die Abfolge der Prozessschritte mit der Leserichtung übereinstimmt. Links steht die Bezeichnung des Fachs, dann die Bezeichnung des Artikels und in der vorletzten Tabellenspalte ist

die geforderte Menge aufgelistet. Am Ende einer Zeile quittiert der Kommissionierer den entnommenen Artikel durch Abhaken. Die Artikelbezeichnung ist für den Kommissionierprozess nicht unbedingt notwendig und könnte auch weggelassen werden. Sie wurde jedoch als zusätzliche Angabe mit aufgenommen, da sich hierdurch auch Kommissionierfehler vermeiden lassen. Gleichzeitig bedeutet die zusätzliche Spalte keine Einschränkung bezüglich der Übersichtlichkeit eines Auftrags.

Datum: \_\_\_\_\_

Auftrag Nr. 1

Probandennummer: \_\_\_\_\_

Nummer	Fach	Bezeichnung	Menge	Quittierung
1	101A	Ambroxol 30 Tab	2	<input type="checkbox"/>
2	112B	Doneurin 25	3	<input type="checkbox"/>
3	404D	Prolag Flyer	4	<input type="checkbox"/>

Abbildung 7-7: Auftragsliste für das Kommissionieren mit Papierliste

Pro Auftrag wurde die Anzahl der Positionen variiert, insgesamt umfasste jeder Auftrag zwischen drei und sechs Positionen. Somit musste jeder Proband 32 Artikel kommissionieren, die sich an 16 Positionen befanden (vgl. Tabelle 7-1). Die Menge der Entnahmeeinheiten liegt zwischen eins und vier, als Durchschnittswert ergeben sich 2,02 Entnahmeeinheiten pro Position.

Zur Bewertung der getesteten Systeme füllten die Probanden direkt nach dem Kommissionieren den Fragebogen aus.

Tabelle 7-1: Übersicht zu den Aufträgen

	Anzahl Positionen	Anzahl Artikel
<b>Auftrag 1</b>	3	9
<b>Auftrag 2</b>	6	12
<b>Auftrag 3</b>	4	7
<b>Auftrag 4</b>	3	4

## 7.1.2 Auswertung der Ergebnisse

Bei der Auswertung der Probandenversuche zur manuellen Kommissionierung werden zunächst die benötigte Kommissionierzeit und die aufgetretenen Kommissionierfehler untersucht. Ein direkter Vergleich mit der Kommissionierung in der Praxis ist allerdings nicht möglich, da es sich bei den Probanden um berufsunerfahrene Kommissionierer handelt, die sich während des relativ kurzen Versuchs noch in der Anlernphase befinden. Bei beiden Kriterien werden daher mögliche Lerneffekte während einer Versuchsreihe aufgezeigt. Besonders relevant für die Beurteilung des neuen Pick-by-Tag-Systems ist der relative Vergleich zwischen den beiden verwendeten Technologien. Abschließend erfolgt die Auswertung der in den Fragebögen erfassten subjektiven Beurteilungen der Probanden.

### Probandenstruktur

Insgesamt nahmen 17 Mitarbeiter des Lehrstuhls an den Labortests teil. Da es sich um Absolventen technischer Studienrichtungen handelt, repräsentieren die Probanden eine sehr technikaffine Gruppe. Die Teilnehmer sind im Durchschnitt jünger als dies bei Kommissionierern in der Praxis der Fall ist. Außerdem hatten die meisten Probanden nur wenig Kommissioniererfahrung in der Praxis gesammelt. In

Abbildung 7-8 ist die Probandenstruktur dargestellt. Zur übersichtlichen Darstellung wurden bei der Auswertung die Antwortmöglichkeiten der sechsstufigen Skala (vgl. Abbildung 7-1) zusammengefasst. Als „Keine Erfahrung“ wurden diejenigen Antworten gezählt, die mit „Stimmt überhaupt nicht“ oder „Stimmt weitgehend nicht“ ausgewählt wurden. Analog wurden die Antworten „Stimmt eher nicht“ und „Stimmt ein wenig“ der Kategorie „Etwas Erfahrung“ zugeordnet, die Antworten „Stimmt weitgehend“ und „Stimmt genau“ entsprechen der Gruppe „Große Erfahrung“.

*Abbildung 7-8: Probandenstruktur bei der manuellen Kommissionierung*

### Kommissionierzeit

In Abbildung 7-9 ist die für jeden Auftrag benötigte Kommissionierzeit bei Verwendung der beiden Kommissioniertechniken in Form von Boxplots dargestellt. Bei beiden Techniken tritt in der Probandenstudie lediglich eine geringe Streuung der benötigten Kommissionierzeit auf. Die Streuung ist bei Verwendung des Pick-by-Tag-Systems etwas höher als bei Verwendung der Papierliste. Bei beiden Kommissioniertechniken ist jeweils nur ein Ausreißer vorhanden. Zusätzlich zum Median ist in der Abbildung auch der arithmetische Mittelwert der benötigten Kommissionierzeit markiert. Die Auswertung des arithmetischen Mittelwerts führt jeweils auf einen ähnlichen Wert wie die Verwendung des Medians. In den folgenden Auswertungen wird daher der arithmetische Mittelwert der Kommissionierzeit fokussiert betrachtet.

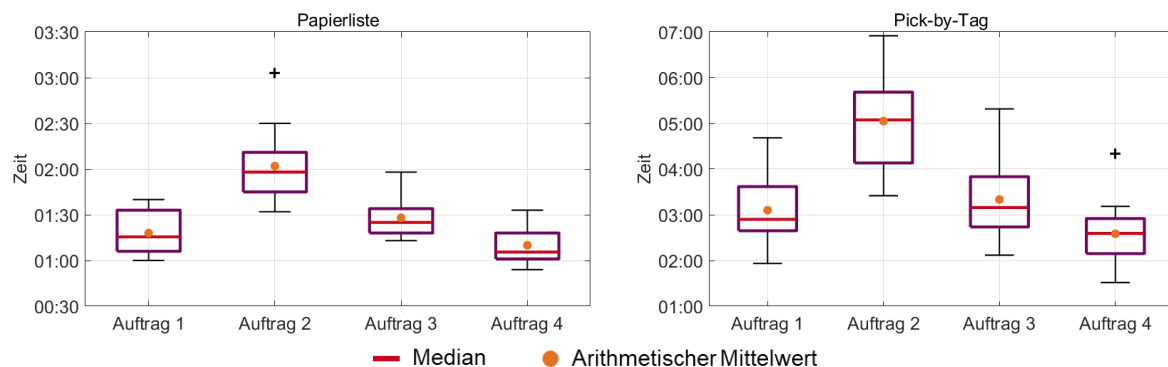


Abbildung 7-9: *Boxplots mit der Kommissionierzeit bei Verwendung der Papierliste und des Pick-by-Tag-Systems*

Abbildung 7-10 zeigt das arithmetische Mittel der benötigten Kommissionierzeit bei den zwei unterschiedlichen Befestigungen der RFID-Tags an den Metallschienen (vgl.

Abbildung 7-4). Dabei ist die gemittelte Zeit pro entnommener Artikelposition gezeigt. Es zeigt sich, dass eine Anbringung der Tags über der Metallschiene bei allen Aufträgen zu einer deutlich längeren Kommissionierzeit pro Position führt. Dieses Ergebnis war zu erwarten, da die Auslegung der RFID-Antennen für eine Anbringung direkt auf der Metallschiene erfolgte. Da der Unterschied sehr deutlich ausfiel wurden nur drei Probandenversuche bei einer Anbringung der Tags über der Metallschiene durchgeführt, bei den anderen 14 Versuchsreihen wurden die Tags vor der Metallschiene befestigt. Bei allen folgenden Auswertungen zur Kommissionierzeit werden nur noch die Ergebnisse der 14 Probanden betrachtet.

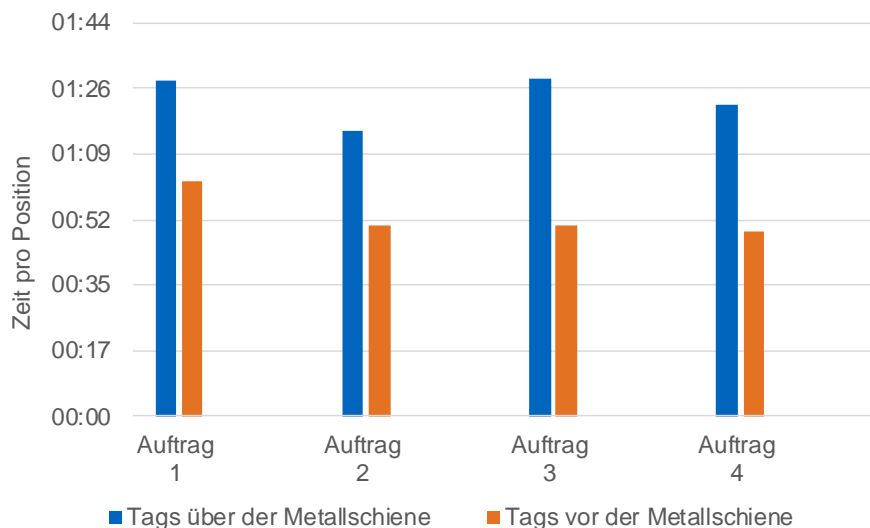


Abbildung 7-10: *Arithmetischer Mittelwert der benötigten Kommissionierzeit bei unterschiedlicher Positionierung der RFID-Tags*

Abbildung 7-11 zeigt einen Vergleich zwischen dem arithmetischen Mittelwert der Kommissionierzeit bei Verwendung der Papierliste und des Pick-by-Tag-Kommissioniersystems. Es ist sowohl die gemittelte Zeit pro Auftrag als auch die gemittelte Zeit pro Artikelposition aufgetragen. Dabei ist erkennbar, dass die Verwendung der Papierliste zu geringeren Kommissionierzeiten führt. Als Erklärung ließen sich mehrere Gründe identifizieren. Ein Grund ergibt sich aus dem Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung und der damit verbundenen speziellen Lagerumgebung. Da im Lager sehr viel Metall verbaut ist, kommt es durch Reflektionen zu Überlagerungen des ausgesendeten RFID-Signals, wodurch die Energieversorgung der Tags teilweise gestört wird und das Licht der RFID-Tags erst nach einiger Zeit leuchtet. Außerdem stellte sich heraus, dass zur Handhabung der neuen Kommissioniertechnik eine gewisse Übung erforderlich ist. Dieser Lerneffekt ist anhand von Abbildung 7-12 dargestellt. Dabei wird die durchschnittlich benötigte Kommissionierzeit pro kommissionierter Artikelposition betrachtet. Während die Zeit bei Verwendung der Papierliste annähernd konstant bleibt, sinkt die Zeit bei Verwendung der Pick-by-Tag-Technologie mit steigender Zahl an Aufträgen ab.

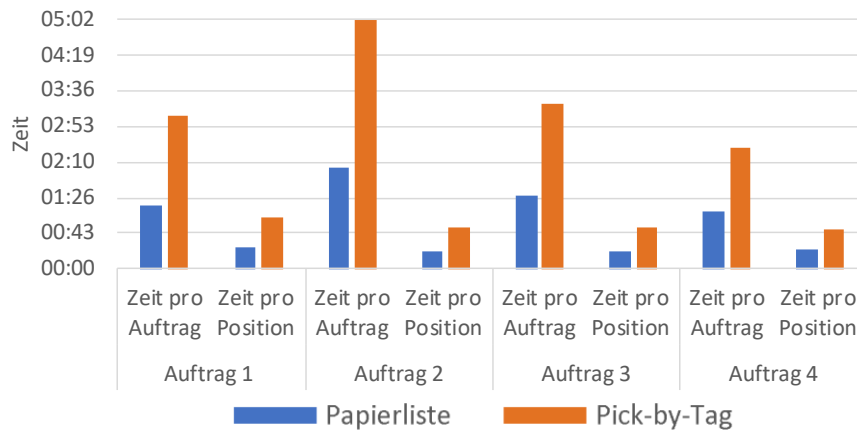


Abbildung 7-11: Vergleich zwischen den beiden Kommissioniertechniken Papierliste und Pick-by-Tag bezüglich des arithmetischen Mittelwerts der benötigten Kommissionierzeit

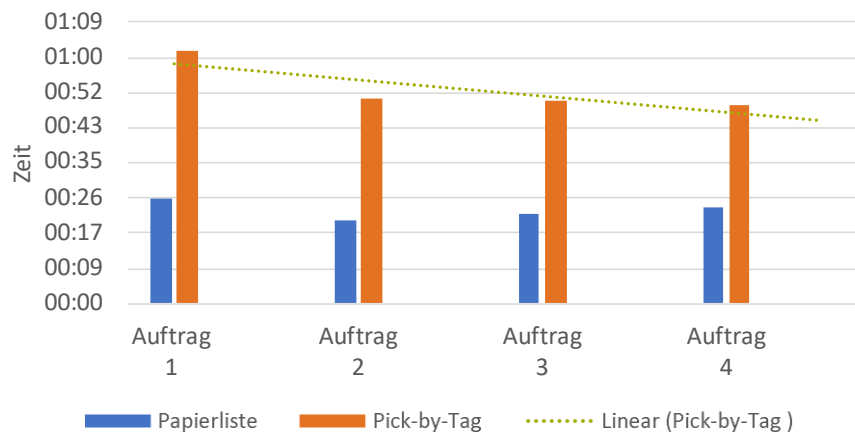


Abbildung 7-12: Veranschaulichung des Lerneffekts bei Verwendung des Pick-by-Tag-Kommissionierverfahrens

### Auswertung der auftretenden Fehler

Abbildung 7-13 zeigt die aufgetretenen Kommissionierfehler. Bei allen folgenden Fehlerauswertungen wurden ebenfalls nur die 14 Probanden berücksichtigt, bei denen die RFID-Tags vor der Metallschiene befestigt waren (vgl.



Abbildung 7-4), da dies dem ursprünglich vorgesehenen Anwendungsfall entspricht. Bei insgesamt jeweils 448 kommissionierten Artikeln pro Kommissioniertechnik waren 33 Fehler dem Pick-by-Tag-System zuzuordnen und 2 Fehler entstanden bei der Papierliste (vgl. Abbildung 7-13). Die beiden Fehler beim Kommissionieren mit der Papierliste waren eine falsche Artikelmenge und eine Kommissionierung an der falschen Position.

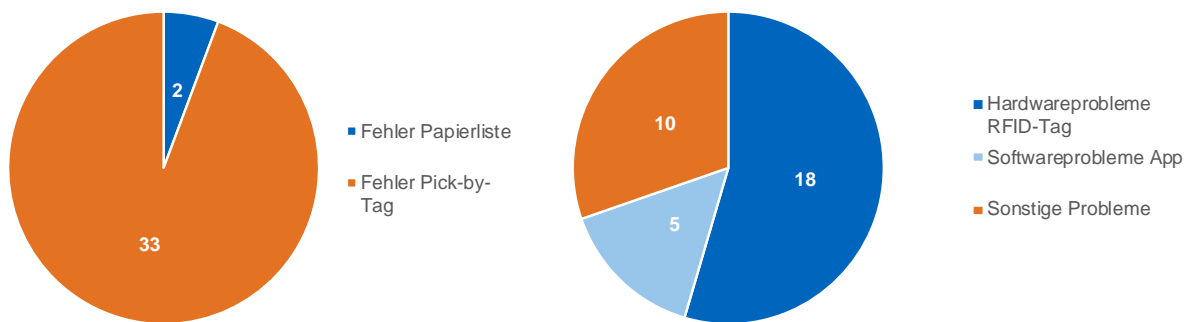


Abbildung 7-13: Linkes Diagramm: Gesamtzahl der aufgetretenen Fehler bei beiden Kommissioniertechniken, rechtes Diagramm: Detaillierte Betrachtung der Fehler beim Kommissioniersystem Pick-by-Tag

Im rechten Diagramm von Abbildung 7-13 sind die Fehler bei der Kommissionierung mit dem Pick-by-Tag-Verfahren detaillierter dargestellt. Die meisten Fehler basieren dabei auf Problemen bei den RFID-Tags. Teilweise haben die Tags bereits zu oft geblinkt, ohne dass der Kommissionierer dies bemerkt hatte, teilweise blinkten einzelne Tags nicht oder nur äußerst kurz. Dies trat jedoch zufällig auf und lag nicht an der generellen Funktionsweise der Tags. Ein Problem könnte hierbei die zu große Entfernung des Kommissionierers zum Tag gewesen sein, wodurch die bereitgestellte Energiemenge zu gering war. Eine weitere Ursache für die auftretenden Fehler liegt vermutlich in dem verbauten Metall des Fachbodenregallagers, wodurch das RFID-Signal gestört oder teilweise ausgelöscht wird. Unter „Sonstige Probleme“ sind alle weiteren Kommissionierfehler zusammengefasst, die beispielsweise aus Anwenderfehlern entstanden. Teilweise bediente der Kommissionierer das MDT zu schnell, wodurch der nächste Artikel bereits automatisch zugewiesen wurde und somit ein Artikel übersprungen wurde. Ein weiterer Anwenderfehler trat auf, als der Kommissionierer teilweise den Übergang zum nächsten Auftrag nicht erkannte. Dadurch wurde das Kommissionieren im gleichen Auftrag fortgesetzt und es ergab sich ein Kommissionierfehler. Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse auf dem kleinen Display des MDT konnte ein Auftragswechsel jedoch nicht deutlicher angezeigt werden. Ein weiterer Kommissionierfehler war die Kommissionierung einer falschen Artikelmenge. Die neu entwickelte Software führte insgesamt zu sehr wenigen

Problemen. Bei den aufgeführten Problemen brach beispielsweise die Verbindung zum WLAN ab oder der Benutzer quittierte den entnommenen Artikel versehentlich mehrfach, was zu einem Absturz der App führte.

Analog zur Kommissionierzeit (vgl. Abbildung 7-12) zeigte sich auch bei der Auswertung der Kommissionierfehler ein deutlicher Lerneffekt bei Verwendung der Pick-by-Tag-Kommissioniertechnologie (vgl. Abbildung 7-14). Während beim ersten Auftrag 21 % aller kommissionierten Artikel fehlerhaft waren, sank der Fehler auf etwa 5 % in Auftrag 4.

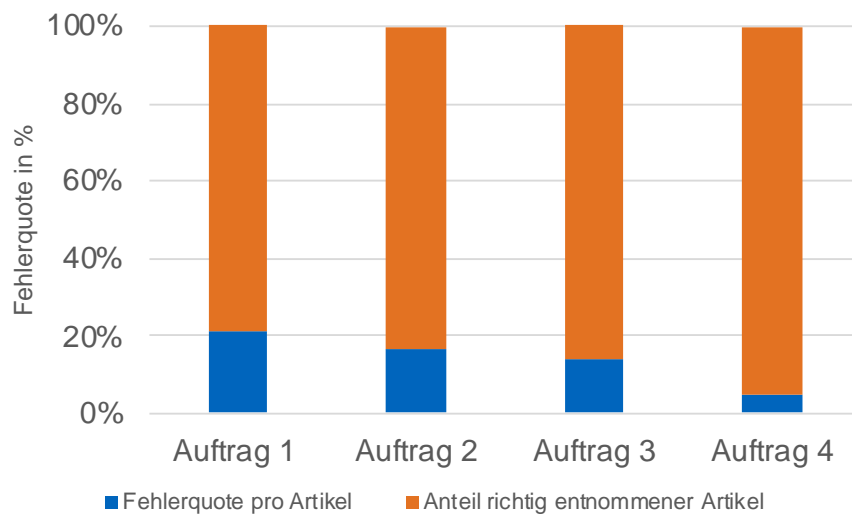


Abbildung 7-14: Auswertung der Fehlerquote pro Artikel bei Verwendung der Pick-by-Tag-Kommissioniertechnik für die manuelle Kommissionierung

### Auswertung der Fragebögen

In Abbildung 7-15 sind die Auswertungen der Fragebögen zur visuellen Wahrnehmung der RFID-Tags gezeigt. Es wurden wieder die Ergebnisse der 14 Probanden veranschaulicht, bei denen sich die RFID-Tags jeweils vor der Metallschiene befanden. Es wird deutlich, dass die Probanden die Zuordnung der Tags zu den Regalfächern gut erkennen. Bezüglich der Sichtbarkeit der LED-Lichter und der Aktivierungszeit überwiegen jedoch die negativen Ergebnisse. Dies lässt sich hauptsächlich mit der relativ geringen Energiemenge erklären, die vom MDT ausgesendet wird.

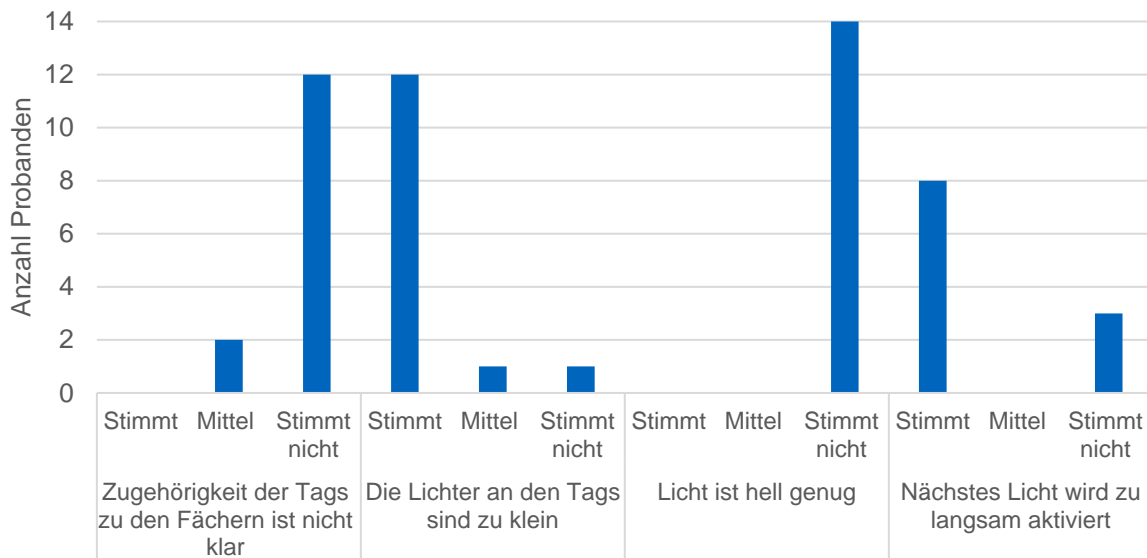


Abbildung 7-15: Auswertung der Fragebögen bezüglich der visuellen Wahrnehmung der RFID-Tags am Fachbodenregallager

Abbildung 7-16 zeigt einen Vergleich zwischen der Papierliste und der Pick-by-Tag-Technologie für einige Kriterien. Insgesamt beurteilten die Probanden bei dieser Probandenstudie zur manuellen Kommissionierung die Papierliste als besser geeignet für die Praxis. Dies liegt hauptsächlich an der deutlich längeren Kommissionierzeit und der etwas komplexeren Handhabung der neuen Technologie. Da in den vorherigen Abschnitten ein Lernprozess erkennbar war, ließe sich vermutlich bei deutlich längeren Versuchsreihen eine etwas höhere Akzeptanz für die neue Technologie feststellen.

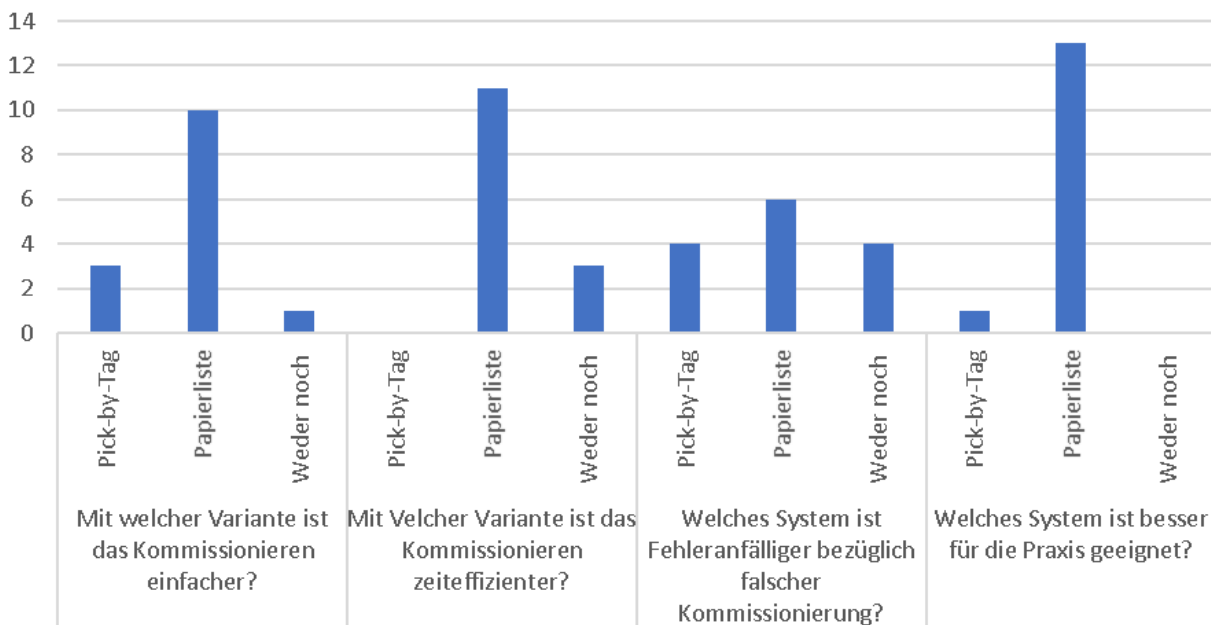


Abbildung 7-16: Auswertung der Vergleichsfragen von Pick-by-Tag und Papierliste für das Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung

Die Fragen nach dem Spaß und der Motivation während dem Kommissionierprozess wurden in einem Kriterium zusammengefasst (vgl. Abbildung 7-17). Anhand dieser Abbildung ist erkennbar, dass die Motivation beim Kommissionieren mit der neuen Technik ansteigt.

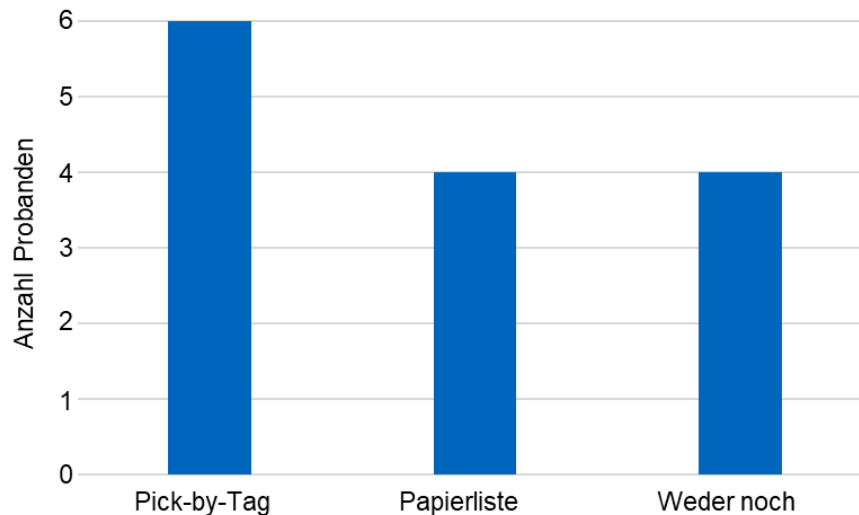


Abbildung 7-17: Auswertung der Vergleichsfragen für Spaß und Motivation während der manuellen Kommissionierung mit Pick-by-Tag und Papierliste

Die Auswertung der offenen Fragestellungen bildet den Abschluss zur Analyse der Fragebögen. Für beide Kommissioniertechniken konnten die Probanden jeweils Verbesserungsmöglichkeiten benennen und positive Aspekte der Kommissioniertechnik angeben. Bei Verwendung der Papierliste wurde Verbesserungspotenzial bei der Bezeichnung der Positionen identifiziert, damit eine deutlichere Unterscheidung zwischen Regal, Regalebene und Fachnummer erkennbar ist. Außerdem wurde die Möglichkeit einer Wegoptimierung vorgeschlagen. Da bei den Laborversuchen ein sehr übersichtlicher Kommissionierbereich mit lediglich zwei Regalgassen verwendet wurde, wurde bei beiden Kommissioniertechniken bewusst auf eine Wegoptimierung verzichtet. Als positive Aspekte bei der Papierliste wurden die Einfachheit und die Übersichtlichkeit erwähnt, wodurch eine Kommissionierung ohne Einarbeitungszeit ermöglicht wird. Die vorgeschlagenen Verbesserungsmöglichkeiten bei der Pick-by-Tag-Kommissioniertechnik ergeben sich aus den oben vorgestellten Auswertungen der Fragebögen. Es wurde ein heller leuchtendes Licht oder dauerhaft leuchtende Lichter vorgeschlagen. Dies scheitert jedoch an den physikalischen Randbedingungen der Tags, da durch das MDT nur eine begrenzte Energiemenge bereitgestellt werden kann. Diese reicht für ein helleres LED-Licht nicht aus. Einige Verbesserungsvorschläge betreffen auch die entwickelte Software. Beispielsweise könnten die relevanten Daten in der App deutlicher hervorgehoben werden oder der Übergang zu einem neuen Auftrag/einer neuen Position besser dargestellt werden. Hierbei gilt es allerdings zu beachten, dass

nur ein sehr begrenzter Platz auf dem kleinen Display des MDT vorhanden ist. Eine mögliche Lösung zur übersichtlicheren Darstellung der relevanten Daten wäre die Verwendung eines Geräts mit größerem Display. Das Mitführen eines größeren Geräts würde allerdings ebenfalls zu Nachteilen für den Kommissionierer führen. Als besonders positiver Aspekt wurde der neuartige Ansatz für eine Pick-by-Light-Technologie in der Kommissionierung ohne die Verwendung einer drahtgebundenen Energieversorgung angeführt.

### **Fazit zur manuellen Kommissionierung**

Zusammenfassend konnte bezüglich des Einsatzszenarios der manuellen Kommissionierung gezeigt werden, dass ein Einsatz der Pick-by-Tag-Technologie in Lagerumgebungen für die Kommissionierung möglich ist. Dennoch traten einige Schwächen bei der Verwendung der Technologie für das betrachtete Einsatzszenario auf. Beispielsweise war die Anzahl der Fehler deutlich höher und der Kommissionierprozess dauerte insgesamt wesentlich länger. Dies könnte hauptsächlich an den besonderen Herausforderungen der Lagerumgebung beim Einsatz der RFID-Technologie liegen.

## **7.2 Probandenversuche zum Einsatzszenario eines Montagearbeitsplatzes**

### **7.2.1 Versuchsaufbau und Versuchsablauf bei der Kommissionierung am Montagearbeitsplatz**

Das Ziel der Probandenversuche am Montagearbeitsplatz ist eine Untersuchung des Pick-by-Tag-Systems bezüglich eines weiteren Einsatzszenarios. Ähnlich zum Szenario der manuellen Kommissionierung wird das System mit dem Kommissionieren bei Verwendung einer Liste verglichen. Als Auswertegrößen dienen wieder die benötigte Kommissionierzeit und die Kommissionierfehler. Nach dem Kommissionierprozess wird wiederum die persönliche Einschätzung jedes Probanden mit Hilfe eines Fragebogens abgefragt. Dabei wird ein ähnlicher Fragebogen wie beim Szenario der manuellen Kommissionierung verwendet (vgl. Abschnitt 7.1.1). Eine Bewertung der Einsetzbarkeit der neuen Technologie wird außerdem für das Einsatzszenario des Montagearbeitsplatzes und der manuellen Kommissionierung vorgenommen.

#### **Versuchsaufbau**

Abbildung 7-18 zeigt das mobile Regal zur Durchführung der Probandenstudie für das Einsatzszenario des Montagearbeitsplatzes. Das Regal besteht aus 10 Fächern, die in 3 Ebenen angebracht sind. Die Höhe des Regals beträgt 1,5 m, die Breite 0,8 m.

Aufgrund ergonomischer Anforderungen sind die Regalebene nach vorne geneigt. Für die Kommissionierung mit Liste sind die Regalfächer mit den Zahlen 1 bis 10 nummeriert. Zur Durchführung der Kommissionierung mit dem neuen Pick-by-Tag-Kommissioniersystem ist an jedem Fach außerdem ein RFID-Tag angebracht. Als Hilfestellung für den Kommissionierer wird in der App der Pick-by-Tag-Technologie zusätzlich die Positionsnummer im Display angezeigt. Im Gegensatz zur manuellen Kommissionierung wird bei diesem Einsatzszenario kein MDT verwendet, sondern die App wird stattdessen auf einem Tablet installiert. Die Energieversorgung der Tags geschieht durch eine externe Antenne, die ständig ein RFID-Signal bereitstellt. Die Aktivierung der nächsten Fachanzeige erfolgt über die installierte Software. Um den Einfluss des Gehäuses auf die Wahrnehmung der blinkenden LEDs zu identifizieren, werden die Tags teilweise ohne Gehäuse und teilweise mit Gehäuse verwendet. Bei einem Fach wird außerdem eine rote Abdeckung auf dem Gehäuse verwendet, um den Einfluss der Gehäusefarbe auf die visuelle Wahrnehmung zu analysieren.



Abbildung 7-18: *Verwendetes mobiles Regal bei der Durchführung der Studie zum Einsatzszenario des Montagearbeitsplatzes*

## **Versuchsablauf**

Die Probandenstudie zur Kommissionierung am Montagearbeitsplatz wird mit insgesamt 11 Mitarbeitern des Lehrstuhls durchgeführt. Das Einsatzszenario wurde den Firmen des PA hauptsächlich per Videokonferenz vorgeführt, da eine Livevorführung aufgrund der Pandemie nur sehr eingeschränkt möglich war.

Die Probandenstudie zum Montagearbeitsplatz wird ähnlich zur Probandenstudie am Fachbodenregallager durchgeführt (vgl. Abschnitt 7.1.1). Die Versuchsdurchführung untergliedert sich wieder in die folgenden Schritte:

- Einweisung (20 min)
- Kommissionieren mit Hilfe einer Liste (15 min)
- Kommissionieren mit Hilfe des Pick-by-Tag-Systems (15 min)
- Ausfüllen des Fragebogens (10 min)

Als Vergleich zum Pick-by-Tag-System wird das Kommissionieren mit der Liste verwendet. Mit beiden Kommissioniertechniken werden jeweils drei Aufträge kommissioniert, die Anzahl der Positionen variiert zwischen fünf und sieben. Pro Position werden zwischen einem und zehn Artikel kommissioniert.

Da der Kommissionierer an einem Montagearbeitsplatz die entnommenen Teile montiert, werden nach der Entnahme eines Artikels einige Sekunden bis zur Entnahme des nächsten Artikels vergehen. Bei dem Probandenversuch soll diese Zeitspanne einerseits realistisch abgebildet werden, andererseits soll der Fokus auf der Kommissionierung liegen und nicht auf der Montage eines komplizierten Bauteils. Um beide Kriterien zu erfüllen, werden Legosteine zur Kommissionierung verwendet. Deren Einfachheit ermöglicht einen Fokus auf den Kommissionierprozess und der Zusammenbau der Legoteile benötigt gleichzeitig einige Sekunden. In dieser Zeitspanne wird der Tag der nächsten Fachanzeige aktiviert und der Kommissionierprozess kann fortgesetzt werden. Außerdem ergeben sich beim Kommissionieren der Legosteine viele Kombinationsmöglichkeiten mit verschiedenen Farben und unterschiedlichen Größen. Der Zusammenbau wird dabei möglichst einfach festgelegt: ein kleiner Legostein verbindet entweder zwei große Steine oder er wird wieder auf einem kleinen Stein aufgesetzt. Abbildung 7-19 zeigt ein Beispiel eines fertig montierten Bauteils nach dem Kommissionieren eines Auftrags.

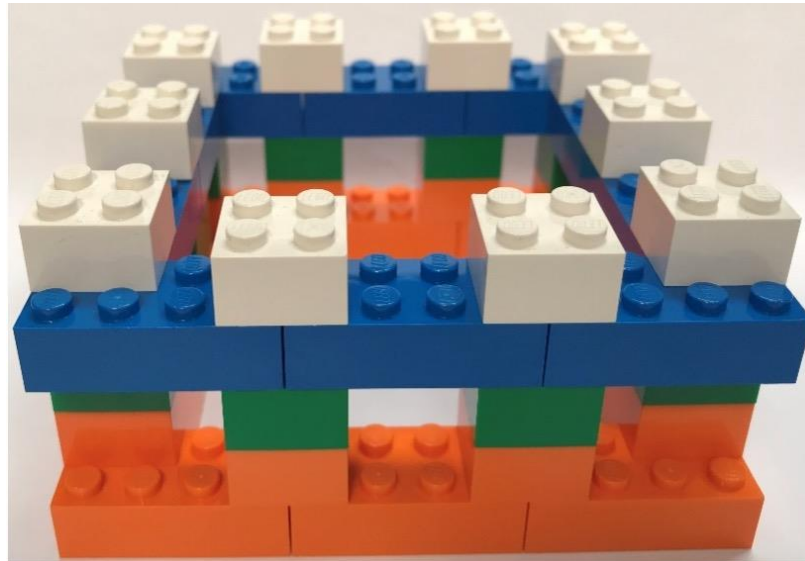


Abbildung 7-19: Beispiel einer montierten Baugruppe aus Legosteinen beim Kommissionieren am Montagearbeitsplatz

Im Unterschied zu	4	4	LEGO blau groß	10	<input type="checkbox"/>	mit
Liste nicht in Pa	5	9	LEGO weiß klein	10	<input type="checkbox"/>	plet
angezeigt, die in						

Abbildung 7-20 exemplarisch gezeigt ist. Diese „digitale Liste“ ist ähnlich aufgebaut wie die Papierliste bei der manuellen Kommissionierung. Durch eine farbliche Hervorhebung des zu entnehmenden Artikels wird die Übersichtlichkeit im Vergleich zur klassischen Papierliste jedoch deutlich erhöht. Die Kommissionierung mit Liste enthält somit bereits eine Optimierung mit Vorauswahl im Vergleich zur klassischen Papierliste. Die Quittierung bzw. die Anzeige des nächsten Artikels auf der Liste erfolgt durch Drücken des Buttons OK.

Zur Bewertung der beiden Kommissioniertechniken füllen die Probanden nach der Versuchsdurchführung einen Fragebogen aus.




Nummer	Fach	Bezeichnung	Menge	Quittierung
1	1	LEGO orange groß	10	
2	10	LEGO orange klein	10	
3	5	LEGO grün klein	10	
4	4	LEGO blau groß	10	
5	9	LEGO weiß klein	10	

Abbildung 7-20: Artikelliste zur Kommissionierung mit dem Tablet

## 7.2.2 Auswertung der Ergebnisse

Bei der Auswertung der Ergebnisse wird ein ähnliches Vorgehen gewählt wie beim Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung. Die Auswertegrößen Kommissionierfehler und Kommissionierzeit werden fokussiert betrachtet.

### Probandenstruktur

Da die Studie aufgrund der Pandemie wieder ausschließlich mit Mitarbeitern des Lehrstuhls durchgeführt werden konnte, ergibt sich eine ähnliche Probandenstruktur wie beim Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung (vgl. Abbildung 7-21 und

Abbildung 7-8). Insgesamt nahmen 11 Probanden an dem Versuch teil.

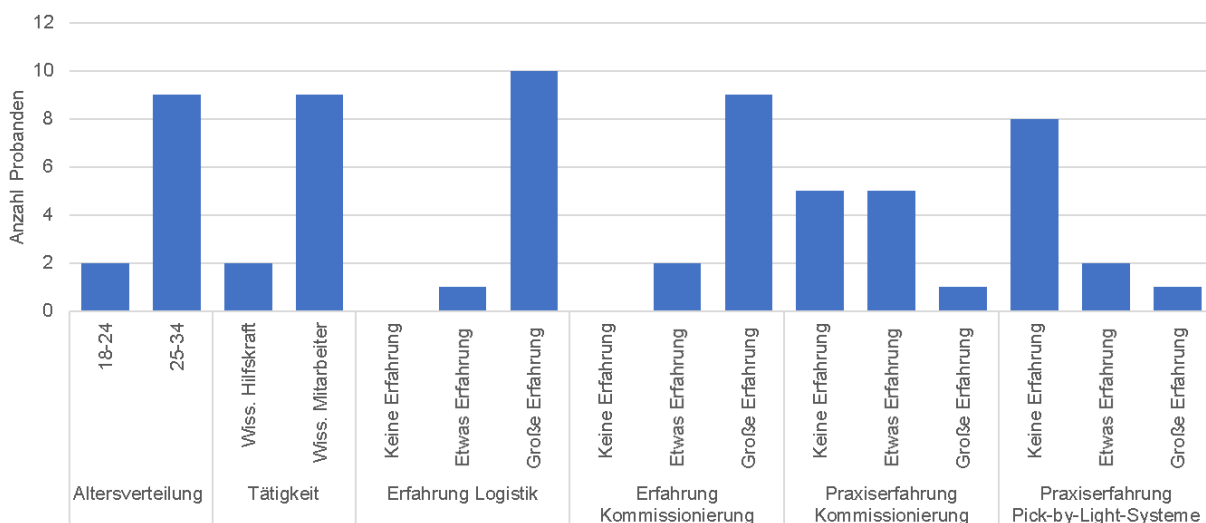


Abbildung 7-21: Probandenstruktur beim Einsatzszenario des Montagearbeitsplatzes

## Kommissionierzeit

Abbildung 7-22 zeigt die benötigte Kommissionierzeit bei Verwendung der beiden Kommissioniertechniken in Form von Boxplots. Im Unterschied zum Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung führt die Auswertung des arithmetischen Mittelwerts und des Medians teilweise zu unterschiedlichen Ergebnissen. Der arithmetische Mittelwert beschreibt allerdings in guter Näherung die Mitte zwischen dem oberen und unteren Quartil. Daher wird in der folgenden Auswertung der arithmetische Mittelwert der benötigten Kommissionierzeit verwendet (vgl. Abbildung 7-23).

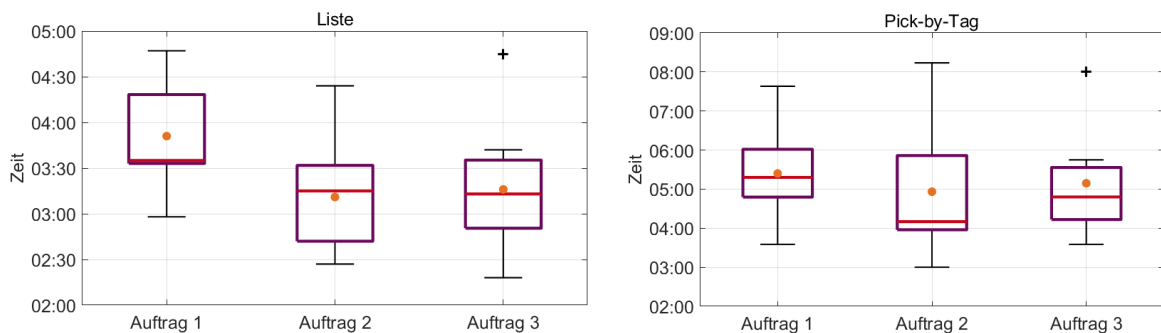
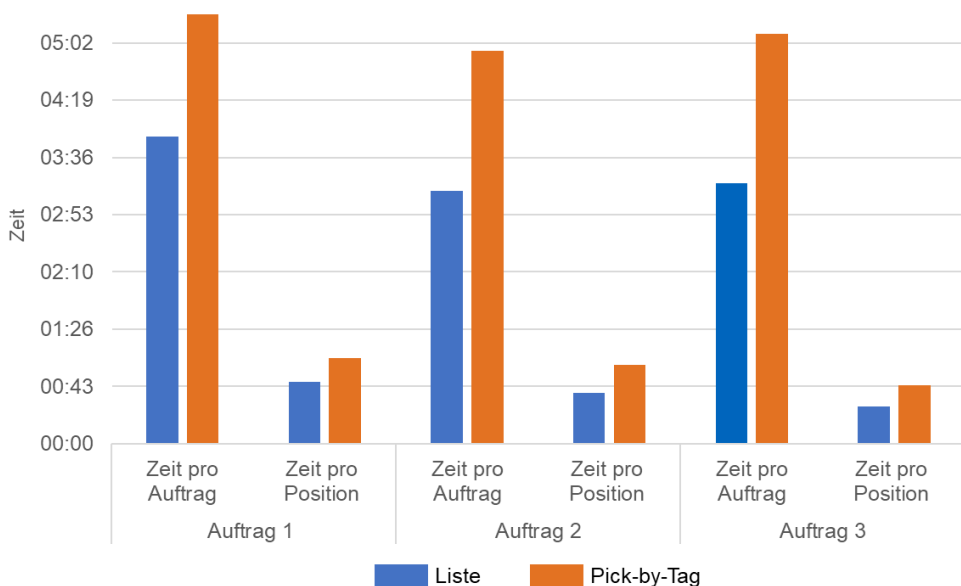


Abbildung 7-22: Boxplots mit der Kommissionierzeit bei Verwendung der digitalen Liste und des Pick-by-Tag-Systems

Abbildung 7-23 zeigt einen Vergleich zwischen dem Kommissionieren mit Pick-by-Tag und dem Kommissionieren mit Liste für den arithmetischen Mittelwert der Kommissionierzeit. Dabei ist sowohl die gemittelte Gesamtzeit pro Auftrag als auch die gemittelte Zeit pro Position dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Verwendung der



Liste zu einer geringeren Kommissionierzeit im Probandenversuch führt. Bei Betrachtung der Zeit pro Position wird deutlich, dass die benötigte Kommissionierzeit mit der Anzahl der Aufträge abnimmt. Daraus lässt sich ein Lerneffekt ableiten, der sowohl bei der Kommissionierung mit Liste als auch bei Verwendung des Pick-by-Tag-Kommissioniersystems erkennbar ist. Somit ist sowohl für die Bedienung der digitalen Version der Liste als auch für die Pick-by-Tag-Software eine gewisse Übung erforderlich. Im Gegensatz zum Montagearbeitsplatz war ein Lerneffekt bei der manuellen Kommissionierung nur bei Verwendung der Pick-by-Tag-Technologie erkennbar. Im Vergleich zum Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung zeigt sich bei Betrachtung der Kommissionierzeit die etwas bessere Anwendbarkeit des Systems auf das Szenario des Montagearbeitsplatzes. Bei der manuellen

*Abbildung 7-23: Vergleich zwischen den beiden verwendeten Kommissioniertechniken bezüglich des arithmetischen Mittelwerts der Kommissionierzeit*

Kommissionierung fällt der Unterschied in der Kommissionierzeit etwa doppelt bis dreimal so groß aus, beim Einsatzszenario zum Montagearbeitsplatz ist dieser Unterschied deutlich geringer.

### **Auswertung der auftretenden Fehler**

Abbildung 7-24 zeigt eine Auswertung zu den Kommissionierfehlern bei den beiden verwendeten Technologien. Es traten insgesamt 100 Fehler bei 2530 kommissionierten Artikeln auf. Dabei entfielen 97 Fehler auf die Pick-by-Tag-Kommissioniertechnik, drei Fehler konnten der Kommissionierung mit Liste zugeordnet werden. Im Vergleich zum Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung zeigte sich bezüglich der Verteilung der Fehler somit ein ähnliches Bild. Bei den auftretenden Fehlern der Liste konnten zwei Fehler einer falschen Bedienung der digitalen Liste zugeordnet werden. Es wurde einmal doppelt quittiert und einmal ein Artikel vergessen. Ein weiterer Kommissionierfehler ergab sich durch die Entnahme der falschen Farbe. Im rechten Diagramm von Abbildung 7-24 sind die Fehler beim Kommissionieren mit Pick-by-Tag dargestellt. Die meisten Probleme traten bei der Aktivierung der Tags auf. Teilweise leuchteten die LEDs mehrerer Tags, die falschen LEDs oder es konnte kein Leuchten festgestellt werden. Eine Systematik bezüglich der Funktion bestimmter Tags war dabei jedoch nicht erkennbar.

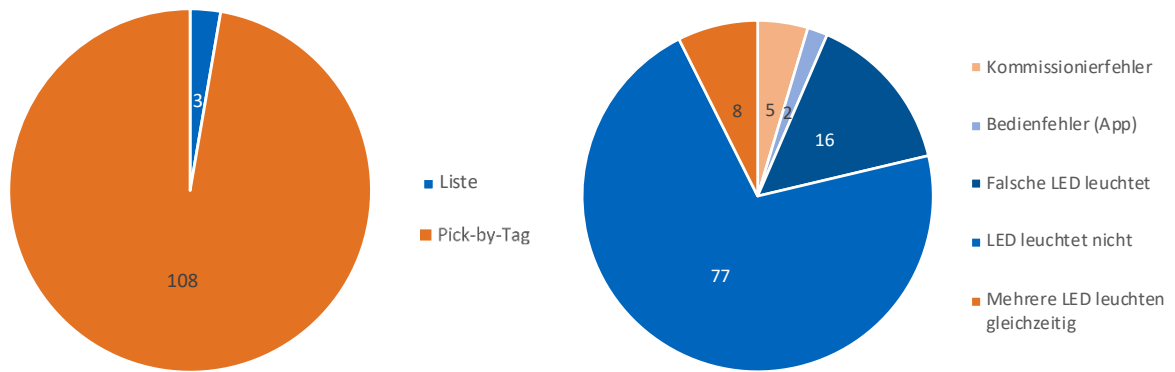


Abbildung 7-24: Kommissionierfehler beim Montagearbeitsplatz. Links: Gesamtzahl der Fehler; Rechts: Fehler beim Kommissioniersystem Pick-by-Tag

### Auswertung der Fragebögen

Abbildung 7-25 zeigt eine Auswertung der Fragebögen zur visuellen Wahrnehmung der RFID-Tags. Die Ergebnisse sind ähnlich zu den Resultaten bei der manuellen Kommissionierung (vgl. Abbildung 7-15). Während die Probanden die Zuordnung der Tags zu den Regalfächern gut erkannten, ergaben sich negative Ergebnisse bezüglich der Sichtbarkeit der LED-Lichter und der Aktivierungszeit. Die begrenzende Größe ist hier hauptsächlich die bereitgestellte Energiemenge.

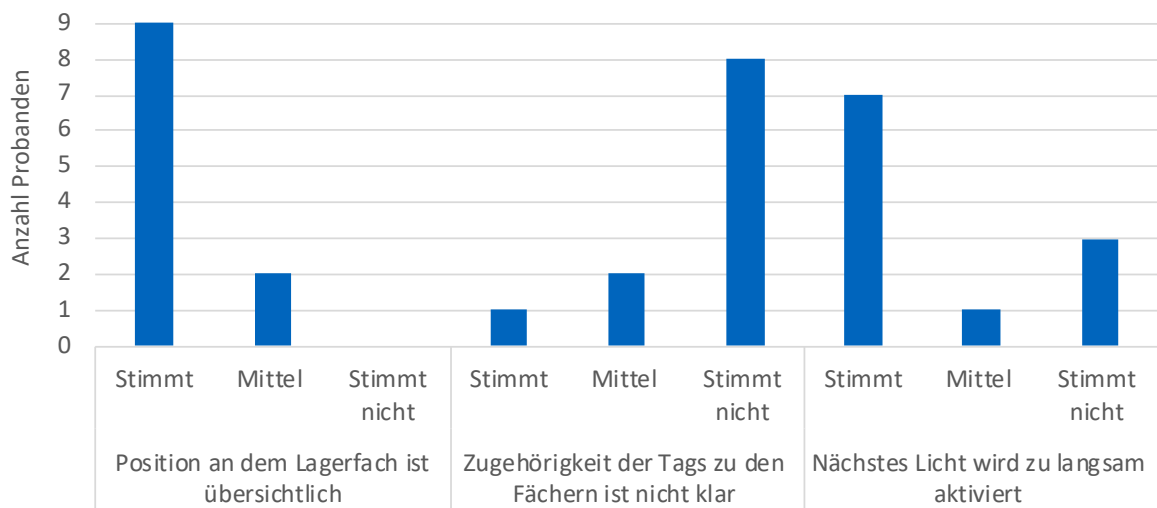


Abbildung 7-25: Auswertung der Fragebögen bezüglich der visuellen Wahrnehmung der RFID-Tags beim Einsatzszenario des Montagearbeitsplatzes

In Abbildung 7-26 sind die Antworten der Probanden bezüglich einiger Vergleichskriterien für die verschiedenen Technologien gezeigt. Bezüglich der Praxistauglichkeit, der Einfachheit und der zeiteffizienten Kommissionierung ergaben sich ähnliche Ergebnisse wie beim Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung (vgl. Abbildung 7-16). Auffällig ist das Umfrageergebnis bei der Fehleranfälligkeit der Kommissionierverfahren. Die Probanden bewerteten die Fehleranfälligkeit bei Verwendung der digitalen Liste höher als bei Verwendung des Pick-by-Tag-Kommissionierverfahrens. Dies steht zunächst im Widerspruch zur Auswertung der Fehler im vorherigen Abschnitt. Der Grund hierfür ist jedoch, dass die Probanden bei nicht leuchtender LED auch die zusätzlich in der App angezeigte Fachposition als Hilfestellung verwenden konnten. Obwohl ein Fehler bei der Aktivierung der LED vorlag, bewerteten die Probanden hier die gesamte Fehleranfälligkeit. Bezüglich der

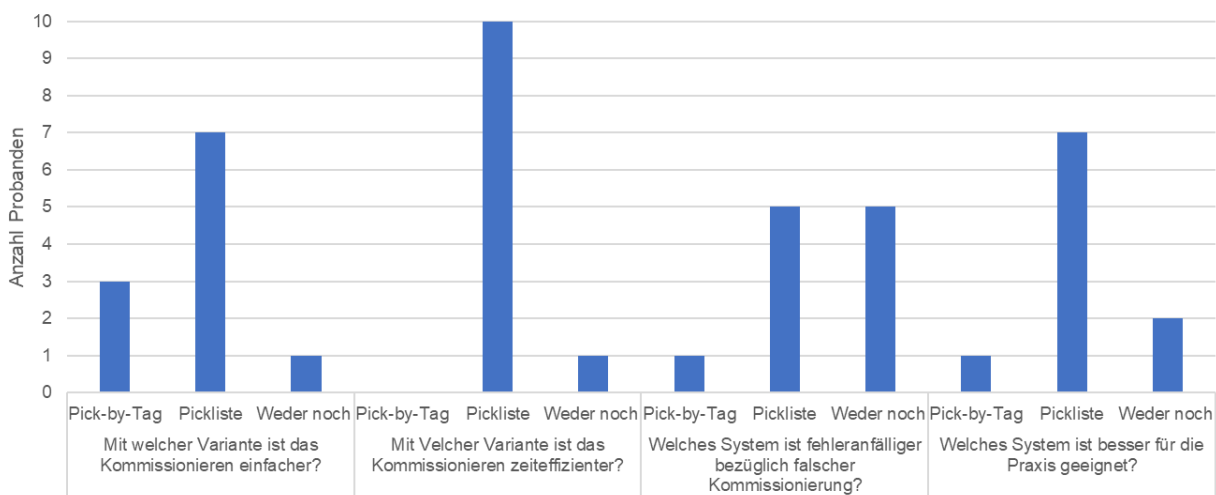


Abbildung 7-26: Auswertung der Vergleichsfragen von Pick-by-Tag und digitaler Liste für das Einsatzszenario des Montagearbeitsplatzes

Zeiteffizienz bei der Kommissionierung stimmt die Selbsteinschätzung der Probanden mit den Auswertungen der Versuche überein.

In Abbildung 7-27 sind die Vergleichsfragen nach Spaß und Motivation in einer Abbildung zusammengefasst. Obwohl die vorhergehenden Auswertungen einige Verbesserungspotenziale der neuen Technologie aufgezeigt haben, zeigt sich hier deutlich, dass die Motivation beim Kommissionieren mit der neuen Technologie höher ist. Dieses Ergebnis stimmt im Wesentlichen mit der Auswertung zur manuellen Kommissionierung überein (vgl. Abbildung 7-17).

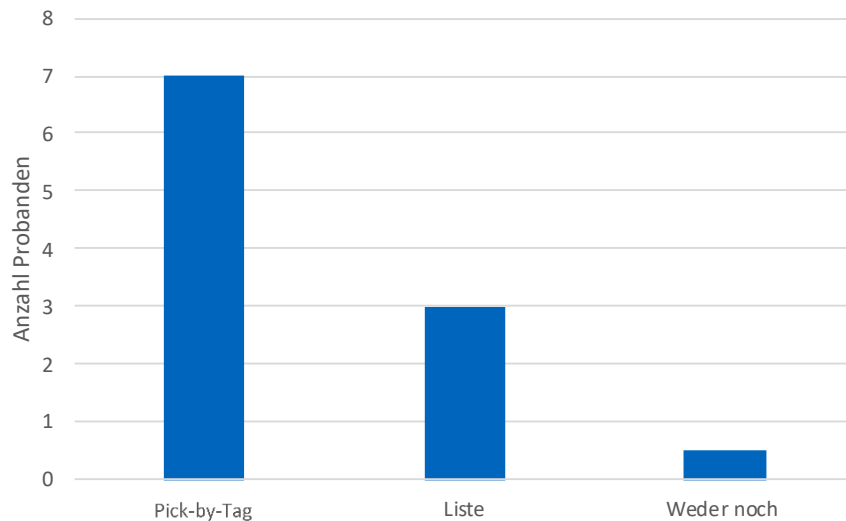


Abbildung 7-27: Auswertung der Vergleichsfragen für Spaß und Motivation während der Kommissionierung am Montagearbeitsplatz

Am Ende wurde noch die Auswertung der offenen Fragestellungen vorgenommen. Die Probanden konnten sowohl Verbesserungen vorschlagen als auch positive Aspekte hervorheben. Beim Kommissionieren mit der digitalen Liste wurde hauptsächlich Verbesserungspotenzial bei der Anordnung der Spalten identifiziert. Durch die Anordnung der Anzahl der Artikel neben der Fachnummer könnte sich für die Probanden eine intuitivere Kommissionierung ergeben. Weitere Aspekte betreffen eine noch deutlichere farbliche Hervorhebung des zu kommissionierenden Artikels. Die digitale Form der Liste in Verbindung mit der daraus resultierenden Übersichtlichkeit wurde von den Probanden als besonders positiver Aspekt hervorgehoben. Bei der Kommissionierung mit der Pick-by-Tag-Technik wurden ähnliche Verbesserungsmöglichkeiten wie beim Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung vorgeschlagen. Die Vorschläge betrafen hauptsächlich heller leuchtende LEDs und eine höhere Blinkfrequenz oder dauerhaft leuchtende LEDs, um die Sichtbarkeit zu erhöhen. Dies scheitert jedoch auch bei diesem Einsatzszenario an der vorhandenen Energiemenge. Als weiteres Verbesserungspotenzial wurde die Zuverlässigkeit und Robustheit des entwickelten Kommissioniersystems identifiziert. Mehrere Probanden schlugen auch die Verwendung einer zusätzlichen Fachanzeige vor, die entweder die notwendige Artikelmenge anzeigt oder ein Quittieren direkt am Fach ermöglicht. Beim Abgleich der angezeigten Menge auf der App und beim Quittieren mit der App sahen diese Probanden keinen Vorteil im Vergleich zur digitalen Liste. Dieser Verbesserungsvorschlag würde jedoch der Zielsetzung des Projekts widersprechen, da eine Fachanzeige wieder ein drahtgebundenes System erfordern würde. Weitere Verbesserungsvorschläge betreffen die Übersichtlichkeit der App und die Schriftgröße bei der Anzahl der zu entnehmenden Artikel. Positiv wurde an dem Kommissioniersystem die Möglichkeit von behältergebundenen Anzeigen statt der

fachgebundenen Anzeigen hervorgehoben. Die Idee der Hilfestellung durch die leuchtenden LEDs ohne die Kenntnis der Fachnummer war ebenfalls ein oft genannter positiver Aspekt.

### **Fazit zur Kommissionierung am Montagearbeitsplatz**

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass eine Verwendung der Pick-by-Tag-Technologie für den Einsatz an einem Montagearbeitsplatz möglich ist. Insgesamt konnten die LEDs in der untersten Reihe besser erkannt werden als die LEDs an den oberen beiden Reihen, da in der unteren Reihe des Regals weniger Tageslicht vorhanden war und das Leuchten somit besser wahrgenommen werden konnte. Außerdem wurde deutlich, dass die LED an der roten Abdeckung der Tags für die Probanden schlechter erkennbar war als mit der blauen Abdeckung. Verbesserungspotenzial identifizierten die Probanden hauptsächlich bei den sehr kurzen Blinkzeiten und der Helligkeit der LEDs. Aufgrund der weiterhin begrenzten Energiemenge war hier allerdings keine Verbesserung möglich. Weiterführende Forschungen (vgl. Abschnitt 5.1) könnten dabei Abhilfe schaffen. Bei einem Vergleich mit dem Szenario der manuellen Kommissionierung bezüglich der Kommissionierzeit wurde deutlich, dass die Pick-by-Tag-Technologie für einen Einsatz am Montagearbeitsplatz besser geeignet ist.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick:

---

Im Vorhaben Pick-by-Tag wurde, wie beantragt, ein flexibles und kostengünstiges Kommissionierverfahren auf Basis von passiven RFID-Tags umgesetzt. Einige der Komponenten und Funktionen entsprachen der Vision des Antrags, andere mussten gemäß den Anforderungen der Anwender sowie Restriktionen der technischen Machbarkeit angepasst werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse auf Einzelkomponenten- und im Anschluss auf Gesamtsystemebene zusammengefasst.

Auf Ebene der Hardware musste aufgrund von fehlender Marktverfügbarkeit von RFID Tags mit Zusatzfunktionalität eine Eigenentwicklung angestoßen werden. Die „Pick-by-Tag“ Fachanzeige wurde deswegen vom Platinendesign, über die Bestückung der Platine mit Bauteilen bis zur Verkleidung mit einem 3D gedruckten Gehäuse komplett im Projekt ausgearbeitet und umgesetzt. Dabei mussten die zuvor in der Anforderungserhebung erkannten Eigenheiten der Lagerumgebungen mitbetrachtet werden. So wurden die Tags darauf optimiert auch in Metallumgebungen noch zu funktionieren und einen möglichst großen Einfallswinkel aufzuweisen. Zusätzlich sollten die Hauptziele des Projekts (flexible Anordnung der Anzeigen ohne Rekonfiguration, Reichweiten von 5-10m, und Kosten pro Tag <30€) weiterhin erfüllt werden. Die größte Herausforderung lag dabei in der Idee die benötigte Energie zum Betrieb der Fachanzeigen komplett aus der Umgebung und damit zunächst nur aus dem Signal des RFID-Readers zu ziehen (passive Lösung). Erste Laborergebnisse zeigten allerdings, dass dies nur in ca. 3m verlässlich durchführbar war. Aus diesem Grund wurden folgende Weiterentwicklungen vorgeschlagen und zusätzlich prototypisch umgesetzt:

- eine semiaktive Lösung mit Batterie, welche durch das RFID Signal aktiviert und höhere Reichweiten und verbesserte Helligkeit der LEDs, bei mehreren Jahren Laufzeit, gewährleisten kann
- eine semiaktive Lösung mit Energy Harvesting über Solar, welches in gut ausgeleuchteten Lagerumgebungen die gleichen Vorteile wie die Lösung mit Batterie, bei unbegrenzter Laufzeit, bietet (siehe. Abb. 8-1)



- eine aktive Lösung auf Basis der Fraunhofer Entwicklung „RFicient WakeUp Receiver“ als RFID Ersatz, welcher einen sehr geringen Stromverbrauch bei deutlich verbesserten Eigenschaften des Systems (>60m Reichweite) bietet, allerdings nur im Zusammenhang mit einer aktiven Stromversorgung (Batterie oder Energy Harvesting) betrieben werden kann



*Abbildung 8-1: Explosionszeichnung des Pick-by-Tag-Transponders mit Energy Harvesting über Solar*

Auf Softwareseite wurde eine Middleware entwickelt, mit deren Hilfe Auftragsdaten aus dem WMS extrahiert, Fachanzeigen auftragspezifisch aktiviert und die Zuordnung von Fächern zu Tags hergestellt werden kann. Zu Konfigurations- und Überwachungszwecken wurde außerdem ein Web-Frontend und eine Android App entwickelt, mit denen das Gesamtsystem eingerichtet und überwacht werden kann. Die App dient gleichzeitig als Einstiegspunkt für den Kommissionierer, der hier Auftragsdaten einsehen sowie prozessspezifische Interaktionen (wie zum Beispiel die Bestätigung seines Picks) durchführen kann. Bei der App wurde darauf geachtet, dass diese sowohl auf gängigen Smartphones, als auch auf einem für das Projekt ausgewähltem Handheld RFID Reader lauffähig ist, um alle in Abbildung 1-1 beschriebenen Szenarien abzudecken.

Eine Anforderungsaufnahme und der regelmäßige Kontakt zu den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses gewährleistete eine zielgerichtete Entwicklung der Demonstratoren. Dabei wurden zunächst auch mehrere verschiedene Anwendungsszenarien für ein Pick-by-Tag-System identifiziert. Mit dem Montagearbeitsplatzszenario konnte auch eine passende Anwendung für das passive System mit reduzierter Reichweite gefunden werden, welches daraufhin auch als Hauptdemonstrator bei einem Anwendungspartner aufgebaut wurde (siehe Abb. 8-2). Das ursprünglich im Vorhaben beschriebene Szenario der manuellen Kommissionierung im Lager wurde zwar als Demonstrator umgesetzt, wurde aber im

Rahmen der Probandenstudien als nicht empfehlenswert bewertet. Die Gründe hierfür sind die großen Reichweiten, sowohl in die Höhe als auch die Breite, in manuellen Lagern, was wiederum zu sehr unterschiedlichen Einfallswinkeln der Signale führt. Dies in Verbindung mit der allgemein für RFID schon anspruchsvollen, metallhaltigen Umgebung führte zu unerwarteten Ausfällen, welche für den benötigt verlässlichen Betrieb einer Kommissionierunterstützung als nicht tragbar befunden wurde. Auch der in die Probandenstudie integrierte Fragebogen kommt zu einem ähnlichen Ergebnis. Hier bewerteten die Probanden die Idee zwar als sehr positiv und vielversprechend, es kam aber oft der Wunsch nach mehr Helligkeit und einer schnelleren Blinkfrequenz der LED auf. Beides ist in der passiven Variante aber physikalisch begrenzt und kaum noch zu verbessern. Insgesamt wurde anhand der Demonstratoren deutlich, dass eine praktische Umsetzung eines passiven Kommissioniersystems möglich ist, aber klare Einschränkungen in Bezug auf Reichweite, Helligkeit und Blinkfrequenz getroffen werden müssen. Hier könnten die semiaktiven oder aktiven Lösungen Abhilfe schaffen. Diese konnten aber aufgrund der durch die Corona-Pandemie erschwerten Feldtestbedingungen bisher nur im Labor getestet werden. Gerade die semiaktive Lösung mit Energy Harvesting über Solar wurde von den PA-Mitgliedern als sehr vielversprechende Erweiterung eingestuft. Die weiteren Ziele des Projekts bezüglich Kosten und flexibler Rekonfiguration der Anzeigen konnten wirkungsvoll erreicht werden.



Abbildung 8-2: Integration des PbT Systems in den Montagearbeitsplatz bei einem Anwendungspartner mit RFID-Reader (links), flexiblen Tags in/auf Boxen oder Bauteilen (mitte) und Steuerung per Tablet und ERP-Daten (rechts)

## 9 Verwendung der Zuwendung

---

### 9.1 Forschungsstelle 1: Fraunhofer IIS

- wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans):  
Es wurden ein wissenschaftlicher Mitarbeiter im Umfang von 31,1 Personenmonaten eingesetzt.
- Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans):  
Es wurden keine Finanzmittel für Gerätebeschaffung beantragt
- Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans):  
Es wurden keine Leistungen für die Arbeit Dritter beantragt.

### 9.2 Forschungsstelle 2: TU München – Lehrstuhl fml

- wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans):  
Es wurden ein wissenschaftlicher Mitarbeiter im Umfang von 18 Personenmonaten sowie studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte im Umfang von 14,8 Personenmonaten (mit 20 Stunden pro Woche) eingesetzt.
- Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans):  
Es wurden keine Finanzmittel für Gerätebeschaffung beantragt
- Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans):  
Es wurden keine Leistungen für die Arbeit Dritter beantragt.

## **10 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

---

Die Arbeiten wurden entsprechend dem Umfang und ihrer Notwendigkeit von den eingesetzten wissenschaftlichen Mitarbeitern mit Unterstützung studentischer und wissenschaftlicher Hilfskräfte sowie den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses durchgeführt. Als Orientierung diente dabei stets der genehmigte Arbeitsplan des Forschungsprojekts.

## **11 Nutzen der Forschungsergebnisse für Unternehmen (insbesondere KMU)**

---

In Zukunft sollen zahlreiche KMU von den Projektergebnissen profitieren können. Dazu zählen insbesondere Anbieter von Logistiksystemen und Hersteller der dafür notwendigen Hardware, die ihr Produktportfolio um ein innovatives Pick-by-Tag-System erweitern können. Mittelständige Unternehmen als Anwender schlüsselfertiger Logistiksysteme profitieren ebenfalls von dem System, denn es garantiert ihnen die Freiheit, das Zusammenspiel zwischen physischer und digitaler Welt selbst konfigurieren zu können und das günstiger als marktverfügbare Kommissionierunterstützungssysteme. Durch die Anwendung können Unternehmen ohne Zutun Dritter ihre Unterstützungssysteme auf ihre Bedarfe hin anpassen und Lager uneingeschränkt gestalten. Dies betrifft nicht nur lagerbetreibende Unternehmen, sondern vor allem Unternehmen die anspruchsvolle Montagetätigkeiten mit einer prozesskritischen Materialzuführung verrichten müssen (siehe Kapitel 3: Einsatzszenarien). Die erhöhte Flexibilität beim Einsatz technischer Hilfsmittel macht es den Unternehmen einfacher ihre Artikelstruktur saisonalen Bedarfen anzupassen. Dadurch können Effizienzpotenziale von den Unternehmen gehoben werden, die mit einem verkabelten Pick-by-Light-System nicht realisiert werden können. Die Möglichkeit temporäre Bereitstelleneinheiten wie beispielsweise Gitterboxen in technische Unterstützungssysteme für die Kommissionierung einzubinden, senkt Fehlerquote und verbessert die Orientierung und damit die Geschwindigkeit von Kommissionierern.

Die drahtlose und energieautarke Kommunikation ermöglicht darüber hinaus weitere Anwendungen. Dank des Wegfalls der Verkabelung ist der Einsatz von Pick-by-Tag-Modulen auf einem Kommissionierwagen sehr leicht realisierbar. Darüber hinaus

können diese Module auch an mobilen Arbeitsplätzen, bei Routenzügen, in der Verpackung von Waren sowie direkt am Behälter eingesetzt werden. Sie ermöglichen bei unternehmensübergreifendem Einsatz eine Übergabe und können damit gerade in Montageumgebungen zusätzliche Einsatzpotenziale für Pick-by-Light-Systeme heben.

Mittelbar liefern weitere Projektergebnisse Möglichkeiten für eine Verwertung bei KMU. Dazu zählen die Aussagen zu Hardwarekomponenten wie beispielsweise der Verwendung von E-Paper-Displays bei stromsparenden Anwendungen. Außerdem können die Aussagen zu Anforderungen an die Neuentwicklung von Kommissioniersystemen von Anwendern und Anbietern eine wertvolle Basis für zukünftige Entwicklungen darstellen. Projektergebnisse wie die angehängten Fragebögen können ebenso eine Grundlage für zukünftige Untersuchungen auf diesem Gebiet bilden und bieten die Möglichkeit zu überprüfen, inwieweit eine ganzheitliche Sichtweise bei der Implementierung von Unterstützungssystemen in der Kommissionierung eingenommen wurde.

Im Anschluss an das Projekt sollen weitere Entwicklungen dafür sorgen, dass die Industrietauglichkeit des Systems sichergestellt werden kann. Gemeinsam mit Partnern aus dem Projekt treiben Fraunhofer IIS und SCS diese Entwicklung. Dabei steht die Integration des Systems in Montagearbeitsplätze im Vordergrund. Erste Gespräche wurden vor diesem Hintergrund bereits während der Projektlaufzeit geführt. Eine weitere Erweiterungsmöglichkeit bietet die Integration von E-Paper Displays auf RFID Basis<sup>8</sup>, welche von einem der PA Mitglieder entwickelt wurde. Diese arbeiten genau wie die passiven Tags ohne Batterie. Die Energie für die Datenänderung stammt vom RFID-Feld des Readers. Eine Zusammenführung der beiden Systeme bietet sich entsprechend an.

Die Ergebnisse von Pick-by-Tag münden darüber hinaus in zahlreichen Weiterentwicklungen in anderen Forschungsvorhaben. Das erarbeitete Wissen wird im beantragten AiF-IGF Forschungsvorhaben InOrt eingesetzt, um eine fehlerfreie Kommissionierung zu ermöglichen. In der Forschungsinitiative „Digitale Wertschöpfung“ existiert darüber hinaus eine Leitanwendung „Unterstützung der Montage durch den Einsatz von Cyber-Physischen-Systemen“, bei der Inhalte von Pick-by-Tag bereits zur Anwendung kamen

Die Hardware- und Software-Entwicklungen aus dem Vorhaben Pick-by-Tag sollen darüber hinaus eine Plattform für eine Vielzahl von weiteren Entwicklungen im Bereich

---

<sup>8</sup> Artikel aus der Zeitschrift Materialfluss 4/2021 S. 20: Elektronische Displays in der Intralogistik: E-Paper-Displays für Aufbewahrungsboxen auf Basis von RFID-Tags

Logistik und Produktion bilden. Damit trägt Pick-by-Tag dazu bei, dass die Intralogistik die nächsten Schritte hin zu der Vision einer Industrie 4.0 nehmen kann. Es stärkt damit nachhaltig Deutschland als innovativen Standort für Produktion und Logistik und verhilft sowohl anwendenden als auch anbietenden Unternehmen zu Wettbewerbsvorteilen gegenüber Wettbewerbern in einer globalisierten Welt.

## 12 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Die im Langantrag vorgestellten Transfermaßnahmen für das Forschungsprojekt konnten im Rahmen der Projektlaufzeit größtenteils durchgeführt werden. Durch die anhaltende Corona-Pandemie konnten allerdings einige Live-Vorstellungen auf Messen etc. nicht wie geplant durchgeführt werden. Als Ausgleich dafür wurden zusätzliche Veröffentlichungen in Print- und Online-Medien durchgeführt. Die Maßnahmen haben zielführend dazu beigetragen das Projekt Pick-by-Tag interessierten Unternehmen nahezubringen und Teilnehmer für die PA-Veranstaltungen zu gewinnen. Im Folgenden ist eine ausführliche Liste aller im Projekt geplanten und durchgeführten Transfermaßnahmen mit entsprechender zeitlicher Zuordnung.

	Ziel	Rahmen		Zeitraum
<b>Maßnahme A:</b>  Projektbegleitender Ausschuss (PA)	Der 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	<b>A1</b>	Vorstellung des Projekts und Einbringung bedarfsbezogener Anforderungen der KMU	Durchgeführt am 8.10.2019
		<b>A2</b>	Vorstellung und Diskussion sowie Auswahl von Konzepten mit dem PA	Durchgeführt am 28.05.2020
		<b>A3</b>	Vorstellung und Diskussion der Hardwareentwicklung mit dem PA	Durchgeführt am 14.04.2021
		<b>A4</b>	Vorstellung und Diskussion der	Durchgeführt am 24.09.2021

			Projektergebnisse mit dem PA	
<b>Maßnahme B:</b>  Vorträge	Präsentation von (Teil-) Ergebnissen des Projekts auf Fachtagungen von Industrie und Wissenschaft	<b>B1</b>	Vorstellung des Projekts auf dem Materialflusskongress 2021	Durchgeführt am 18.03.2021
		<b>B2</b>	Vortrag am „FIS Logistics Day 2021“ mit Vorstellung des Montagearbeitsplatz-Demonstrators	Durchgeführt am 15.6.2021
		<b>B3</b>	Kurzvorstellung auf dem „Deutschen Logistikkongress“ sowie den „Fraunhofer Technologietagen“	Durchgeführt am 20.10.2021 & 27.10.2021
		<b>BX</b>	Präsentationen auf den Messen „LogiMAT“, „Transport und Logistik“, „RFID Tomorrow“ & FIS InSiTe 2020	Corona-bedingt abgesagt
<b>Maßnahme C:</b>  Internetdarstellung	Elektronische Verbreitung der Forschungsinhalte und  -ergebnisse zur Gewinnung weiterer interessierter Unternehmen	<b>C1</b>	Vorstellung des Projekts über den Newsletter des Logistik-Innovations-Zentrums des Lehrstuhls fml sowie den Newsletter des Fraunhofer SCS	Fraunhofer SCS: Ausgabe 3/2020 vom 06.05.2020  Fml: Ausgabe 2020
		<b>C2</b>	Frei zugänglicher Internetauftritt des Forschungsvorhabens über die Homepage des fml und Fraunhofer IIS - Arbeitsgruppe SCS	Durchgeführt <sup>9</sup>
		<b>C3</b>	Pressmeldungen zu den PA Veranstaltungen und Projektabschluss	Projektlaufzeit

<sup>9</sup> <https://www.scs.fraunhofer.de/de/referenzen/pick-by-tag.html>  
<https://www.mec.ed.tum.de/fml/forschung/2021/pick-by-tag/>

		<b>C4</b>	Aktualisierung der Projektseite des Fraunhofer SCS (C1) mit den abschließenden Projektergebnissen	Januar 2022
<b>Maßnahme D:</b> Messepräsentationen	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	<b>D1</b>	Vorstellung des Montagearbeitsplatz-Demonstrators am „FIS Logistics Day 2021 (siehe B2)	Durchgeführt 15.6.2021
		<b>DX</b>	Vorstellung von Projekt und Demonstrator am „Forum Schlanker Materialfluss“, der „Cemat“ und der „Hannover Messe der Industrie“	Corona-bedingt abgesagt
<b>Maßnahme E:</b> Veröffentlichungen	Präsentation von (Teil-) Ergebnissen des Projekts in Fachzeitschriften	<b>E1</b>	Fachbeitrag „Ident Jahrbuch 2020“ Seite 82/83,	März 2020
		<b>E2</b>	Fachbeitrag „MM Logistik“, Online,	28. Mai 2020
		<b>E3</b>	Fachbeitrag in „Fördern und Heben“, Ausgabe 6	Juni 2020
		<b>E4</b>	Fachbeitrag in den „Mikroelektronik Nachrichten“, Ausgabe 80	September 2020
		<b>E5</b>	Fachbeitrag in der „Lebensmittelzeitung“, Ausgabe 42	Oktober 2020
<b>Maßnahme F:</b>	Einbringung der erarbeiteten Ergebnisse in den Lehrbetrieb	<b>F1</b>	Mitarbeit studentischer Hilfskräfte	Projektlaufzeit



Übernahme in die Lehre		<b>F2</b>	Betreuung von studentischen Qualifikationsarbeiten und Praktika	Projektlaufzeit <sup>10</sup>
------------------------	--	-----------	---	-------------------------------

▪ Geplante Transfermaßnahmen nach Abschluss der Projektlaufzeit:

	Ziel	Rahmen		Zeitraum
<b>Maßnahme G:</b> Beratung, Weiterbildung	Ergebnistransfer an KMU ohne eigene Forschungsaktivitäten	<b>G1</b>	Beratung von KMU zur Auswahl geeigneter Kommissionierverfahren	ab Juli 2021
		<b>G2</b>	Schulungsangebote über Veranstaltungen des Logistik-Innovations-Zentrums (liz)	ab November 2021
		<b>G3</b>	Transfer über fachspezifische Foren (z. B. Kommissionierfachtagungen)	Ab November 2021
<b>Maßnahme H:</b> Dissertation	Die geplante Stelle des Projektleiters sieht die Möglichkeit einer Promotion vor.	<b>H1</b>	Nach Abschluss der Forschungsarbeiten wird das Thema in Form einer Dissertation weiterverfolgt. Ein denkbare Thema wäre z.B. Technische und strukturelle Entwicklung der Person-zu-Ware Kommissionierung in Zeiten der Automatisierung	Nicht geplant
<b>Maßnahme I:</b> Forschungsbericht	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	<b>I1</b>	Der Abschlussbericht wird auf den Websites des Lehrstuhls fml, des Fraunhofer IIS, der BVL und auch in gedruckter Form erhältlich sein.	I. Quartal 2022

<b>Maßnahme J:</b> Übernahme in die Lehre	Einbringung der erarbeiteten Ergebnisse in den Lehrbetrieb	<b>J1</b>	Ergebnisse des Forschungsprojektes werden im Rahmen verschiedener Vorlesungen in den Lehrbetrieb am Lehrstuhl fml, am Fraunhofer IIS angebundenen Lehrstuhl für SCM in Bamberg sowie der Fakultät Elektrotechnik eingebunden.	I. Quartal 2022
<b>Maßnahme K:</b> Demonstratoren	Möglichkeit der weiteren Begutachtung der Demonstratoren	<b>K1</b>	Die Demonstratoren verbleiben nach Projektende an den Forschungsstellen und können somit zur Information interessierter Unternehmen genutzt werden.	ab November 2021
<b>Maßnahme L:</b> Messepräsentationen	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	<b>L1</b>	Vorstellung der Projektergebnisse auf dem „Deutschen Materialfluss-Kongress“	März 2022



## Literaturverzeichnis

---

[GAR-13]	von Garrel, J.; Tackenberg S. "Flexibilität von KMU durch situationsspezifische Auslegung der Fertigung." Arbeitszeit-Zeitarbeit. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013. 381-403.
[Höl-2016]	Hölczli, A.; Lang, A.; Evers, F.: Schlussbericht zu dem IGF-Vorhaben Einsatz von Drahtlossensornetzen in der Kommissionierung – Pick-by-Local-Light (IGF-Vorhaben 18139 N). Nürnberg 2016.
[Höl-2018]	Hölczli, A.; Ludwig, C.; Evers, F.: Schlussbericht zu dem IGF-Vorhaben Kommissionierarmband zur Validierung von Pickprozessen – ValidKomm (IGF-Vorhaben 19087 N). Nürnberg 2018.
[Hom-2019]	Hompel, M. ten; Sadowsky, V.; Mühlenbrock, S.: Kommissioniersysteme. In: Schmidt, T. (Hrsg.): Innerbetriebliche Logistik. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2019, S. 113–152.
[KES-13]	Kestel, R. Variantenvielfalt und Logistiksysteme: Ursache - Auswirkungen - Lösungen. Springer-Verlag, 2013.
[MIE-06]	Miebach, J., & Müller, P. P.: Intralogistik als wichtigstes Glied von umfassenden Lieferketten. Potentiale, Perspektiven, Prognosen, 23, 2016.
[Pin-2004]	Pinkster, I.; Burgt, B.; Janssen, D.; Veenendaal, E.: Successful Test Management – An Integral Approach. Springer, Dordrecht, 2004.
[REI-09]	Reif, R.: Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten Kommissioniersystems. Dissertation am Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss und Logistik der Technischen Universität München, München, 2009.
[VDI-3590]	VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.: Blatt 1: Kommissioniersysteme - Grundlagen. VDI Nr. 3590, 1994.
[WIL-05]	Wildemann, H.: Entwicklungsprozess. (10. Auflage) S.5. TCW, München, 2005.



## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1-1 Vision eines Pick-by-Tag Systems	4
Abbildung 2-1: Gliederung der Anforderungen an das Pick-by-Tag-System	6
Abbildung 3-1: Manuelle Kommissionierung ohne und mit Kommissionierwagen	13
Abbildung 3-2: Pick-by-Tag an einem Tablarlager	14
Abbildung 3-3: Schematische Darstellung eines Kommissioniernests (Draufsicht) [Hom-2019]	15
Abbildung 3-4: Zweifacher Einsatz des Pick-by-Tag-Systems bei der Unterstützung in der Montage	16
Abbildung 3-5: Eindeutige Identifizierung verwechselbarer Artikel	17
Abbildung 4-1: Konzeptausprägungen für den Kommissioniereinsatz	20
Abbildung 4-2: Kommissionierprozess und Interaktionen der Systeme	23
Abbildung 4-3: Ablauf des Kommissionierprozesses zur Montageversorgung	25
Abbildung 4-4: Systemausprägung für das PbT-System in Verbindung mit einem Montageleitsystem	27
Abbildung 5-1 Farsens Evaluationboard	29
Abbildung 5-2 Hardwaredesign und Blockschaltbild passiver Tag	31
Abbildung 5-3 Aufbau und Blockschaltbild Solar-Transponder	33
Abbildung 5-4 RFicient® Wake-Up Receiver Evalboard	34
Abbildung 6-1 Übersicht über die Softwarekomponenten	38
Abbildung 6-2 Auftragsverwaltungsansicht des Web-Frontend	39
Abbildung 6-3 Hierarchieansicht des Web-Frontend	39
Abbildung 6-4 Übersicht über die Szenerien inklusive relevanter Komponenten	40
Abbildung 6-5: Informationsdarstellung auf dem Display, links: Darstellung als Liste, rechts: Darstellung als Bild	42
Abbildung 6-6: Informationsdarstellung auf dem Display, links: Meldung auftretender Fehler, rechts: manuelle Quittierung eines Auftrags	42
Abbildung 7-1: Sechsstufige Skala für geschlossene Fragen	44
Abbildung 7-2: Versuchsaufbau zur Durchführung der Probandenstudie bei der manuellen Kommissionierung	46
Abbildung 7-3: Verwendetes Fachbodenregallager	47
Abbildung 7-4: RFID-Tags an den Regalfächern, links: Anbringung direkt über der Metallschiene, rechts: Anbringung vor der Metallschiene	48

Abbildung 7-5: Mobiles Datenterminal (MDT) zur Durchführung der Probandenstudie für das Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung	48
Abbildung 7-6: Prozess zur manuellen Kommissionierung während dem Probandenversuch	50
Abbildung 7-7: Auftragsliste für das Kommissionieren mit Papierliste	51
Abbildung 7-8: Probandenstruktur bei der manuellen Kommissionierung	52
Abbildung 7-9: Boxplots mit der Kommissionierzeit bei Verwendung der Papierliste und des Pick-by-Tag-Systems	53
Abbildung 7-10: Arithmetischer Mittelwert der benötigten Kommissionierzeit bei unterschiedlicher Positionierung der RFID-Tags	54
Abbildung 7-11: Vergleich zwischen den beiden Kommissioniertechniken Papierliste und Pick-by-Tag bezüglich des arithmetischen Mittelwerts der benötigten Kommissionierzeit	55
Abbildung 7-12: Veranschaulichung des Lerneffekts bei Verwendung des Pick-by-Tag-Kommissionierverfahrens	55
Abbildung 7-13: Linkes Diagramm: Gesamtzahl der aufgetretenen Fehler bei beiden Kommissioniertechniken, rechtes Diagramm: Detaillierte Betrachtung der Fehler beim Kommissioniersystem Pick-by-Tag	56
Abbildung 7-14: Auswertung der Fehlerquote pro Artikel bei Verwendung der Pick-by-Tag-Kommissioniertechnik für die manuelle Kommissionierung	57
Abbildung 7-15: Auswertung der Fragebögen bezüglich der visuellen Wahrnehmung der RFID-Tags am Fachbodenregallager	58
Abbildung 7-16: Auswertung der Vergleichsfragen von Pick-by-Tag und Papierliste für das Einsatzszenario der manuellen Kommissionierung	58
Abbildung 7-17: Auswertung der Vergleichsfragen für Spaß und Motivation während der manuellen Kommissionierung mit Pick-by-Tag und Papierliste	59
Abbildung 7-18: Verwendetes mobiles Regal bei der Durchführung der Studie zum Einsatzszenario des Montagearbeitsplatzes	61
Abbildung 7-19: Beispiel einer montierten Baugruppe aus Legosteinen beim Kommissionieren am Montagearbeitsplatz	63
Abbildung 7-20: Artikelliste zur Kommissionierung mit dem Tablet	64
Abbildung 7-21: Probandenstruktur beim Einsatzszenario des Montagearbeitsplatzes	64
Abbildung 7-22: Boxplots mit der Kommissionierzeit bei Verwendung der digitalen Liste und des Pick-by-Tag-Systems	65

---

Abbildung 7-23: Vergleich zwischen den beiden verwendeten Kommissioniertechniken bezüglich des arithmetischen Mittelwerts der Kommissionierzeit	66
Abbildung 7-24: Kommissionierfehler beim Montagearbeitsplatz. Links: Gesamtzahl der Fehler; Rechts: Fehler beim Kommissioniersystem Pick-by-Tag	67
Abbildung 7-25: Auswertung der Fragebögen bezüglich der visuellen Wahrnehmung der RFID-Tags beim Einsatzszenario des Montagearbeitsplatzes	67
Abbildung 7-26: Auswertung der Vergleichsfragen von Pick-by-Tag und digitaler Liste für das Einsatzszenario des Montagearbeitsplatzes	68
Abbildung 7-27: Auswertung der Vergleichsfragen für Spaß und Motivation während der Kommissionierung am Montagearbeitsplatz	69





## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 3-1: Eignung verschiedener Materialflusssysteme für Pick-by-Tag	11
Tabelle 5-1 Hochrechnung Lebensdauer mit Stützbatterie	32
Tabelle 5-2 – Übersicht erarbeitete Lösungskonzepte	35
Tabelle 5-3 – Kostenschätzung für die erarbeiteten Lösungsansätze	36
Tabelle 7-1: Übersicht zu den Aufträgen	51



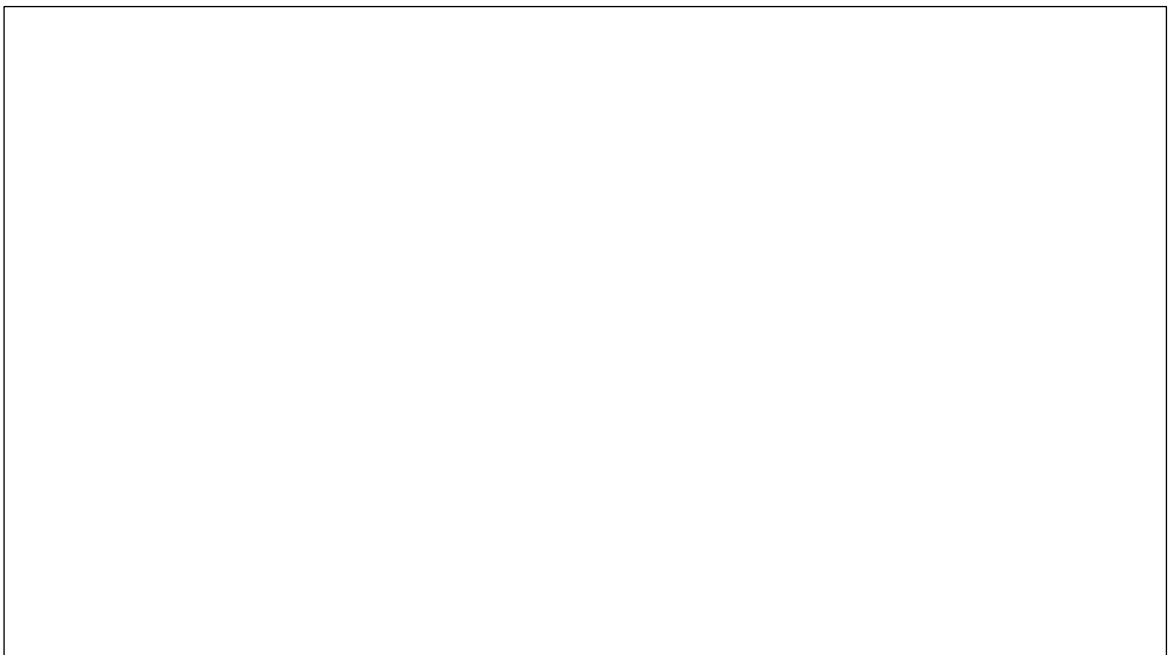




**Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen?  
(Papierliste)**

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the respondent to write their suggestions for improvements.

**Was gefällt Ihnen besonders gut an dieser Art des  
Kommissionierens? (Papierliste)**

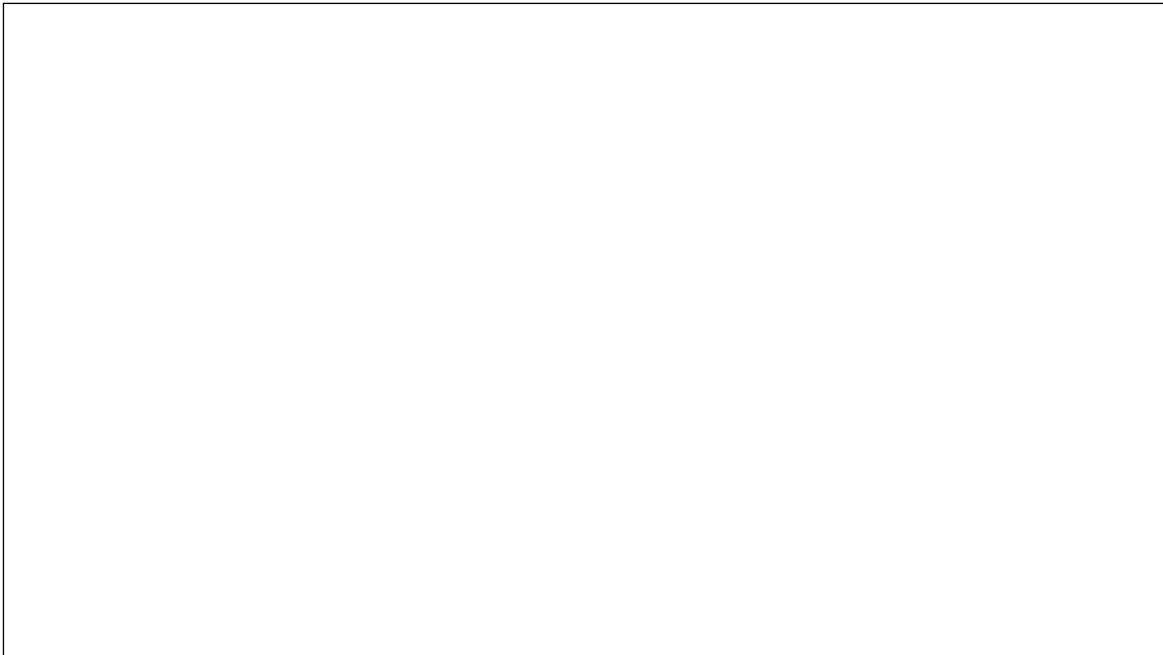
A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the respondent to write what they like best about this type of commissioning.



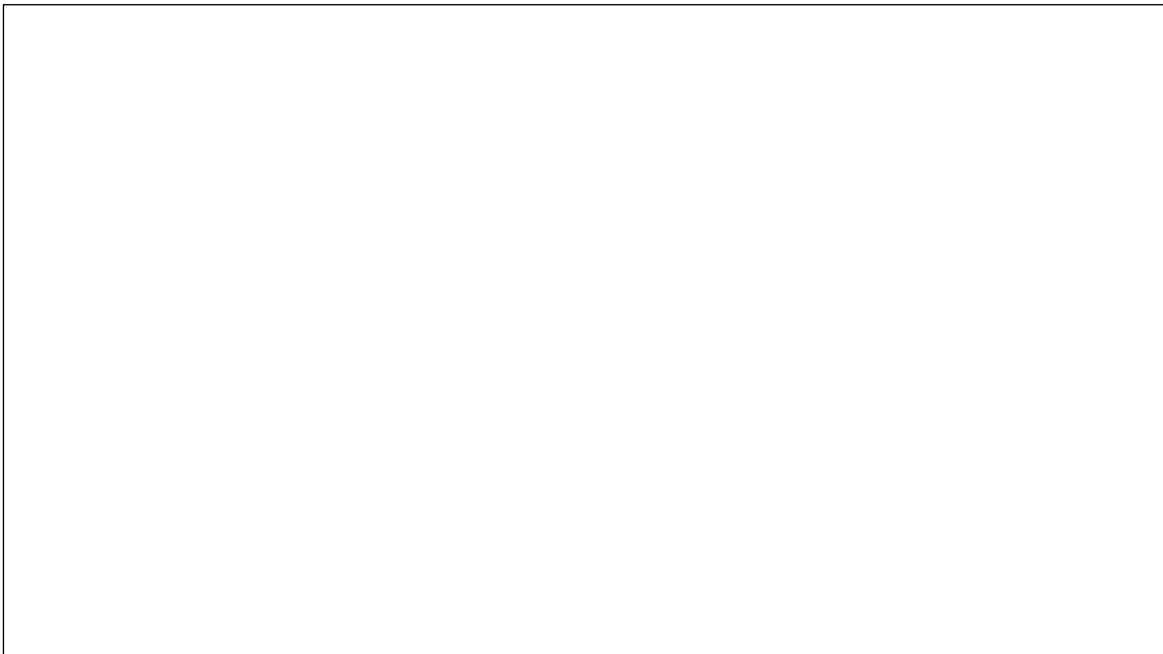




**Welche Verbesserungsmöglichkeiten würden Sie vorschlagen?  
(Pick-by-Tag)**

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the respondent to write their suggestions for improvements.

**Was gefällt Ihnen besonders gut an dieser Art des  
Kommissionierens? (Pick-by-Tag)**

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the respondent to write what they like about the commissioning process.

## Selbsteinschätzung: Vergleich zwischen Pick-by-Tag und Papierliste

	Pick-by-Tag	Papierliste	Weder noch
Welche Variante ist selbsterklärender?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit welcher Variante ist das Kommissionieren einfacher?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit welcher Variante war eine zeiteffizientere Kommissionierung möglich?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welche Variante ist fehleranfälliger bezüglich falscher Kommissionierung?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit welcher Variante macht das Kommissionieren mehr Spaß?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welche Variante ist einfacher zu handhaben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welche Variante ist motivierender?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welches System ist besser für die Praxis geeignet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>