



Thomas Gutmann, BSc.

Physical Internet in der Stückgutlogistik – Entwicklung eines zukünftigen Anwendungsfalls

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing.)

eingereicht an der

Technische Universität Graz

Betreuer

Dipl.-Ing., Florian Ehrentraut
Institut für Technische Logistik

Graz, Mai 2019

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum

Unterschrift

Danksagung

Als studentischer Projektmitarbeiter am Institut für Technische Logistik hatte ich die Möglichkeit, über mehrere Jahre an verschiedenen Projekten mitzuarbeiten. Durch das mir ermöglichte freie und selbstständige Arbeiten konnte ich während meiner Tätigkeit viele wertvolle Eindrücke und Erfahrungen sammeln. Für dieses entgegengebrachte Vertrauen möchte ich Hr. Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Landschützer danken.

Weiterer Dank gebührt Hr. Dipl.-Ing. Florian Ehentraut für die Betreuung dieser Arbeit sowie allen Kollegen am ITL für wertvolle Ideen und Anregungen.

Kurztext

Durch ständig steigende Anforderungen an Logistiknetzwerke sucht das Physical Internet (PI) Wege, die durch umfassende Vernetzung aller Teilnehmer sowohl Effizienz als auch Nachhaltigkeit bestehender Transportnetze steigern. Diese Arbeit beschreibt Möglichkeiten, mit denen sich Unternehmen, die Umschlag- oder Verteilzentren betreiben, dem PI annähern können. Nach der Erfassung der aktuellen Situation werden Technologien, die notwendige Anforderungen erfüllen, hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für das PI bewertet. Anschließend wird durch die Bildung von Szenarien die Umsetzung von Schritten für Hubs Richtung PI dargestellt sowie deren Nutzen für die Unternehmen erläutert.

Abstract

Due to constantly increasing requirements on logistics networks, the Physical Internet (PI) searching for ways to increasing efficiency and sustainability of existing transport networks by comprehensive interconnection of all participants. This master thesis describes possibilities for hub operators to approach towards PI. Once the current situation has been established, technologies meeting the necessary requirement are assessed for their suitability for PI. Subsequently, the creation of scenarios will be used to illustrate the implementation of steps for hubs in the direction of PI, as well as their benefits for hub operators.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation.....	3
1.2	Forschungsfragen und Zielsetzung.....	3
1.3	Aufbau der Arbeit.....	5
2	Problemanalyse und theoretische Grundlagen.....	7
2.1	Die Rolle aktueller Hubs.....	7
2.2	Physikalische Vorgänge in aktuellen Hubs.....	9
2.3	Datenerfassung und Identifikation in Hubs.....	11
2.3.1	Datenerfassung.....	11
2.3.2	Identifikationstechnologie.....	11
2.4	Aktuelle Situation mittelständischer Spediteure.....	13
2.5	Das PI und die Rolle des PI-Hubs.....	16
2.6	Angewandte Methoden.....	18
2.6.1	Recherche.....	18
2.6.2	Expertengespräch.....	19
2.6.3	Nutzwertanalyse.....	21
2.6.4	Szenarienbildung.....	23
3	Entwicklung von Maßnahmen und Vorgehensweisen.....	24
3.1	Definition von Anforderungen und notwendiger Informationen.....	24
3.2	Identifikation von Objekten.....	27
3.2.1	RFID-Technologie.....	27
3.2.2	RFID-Transponderbauart und Nummernsysteme.....	30
3.3	Ermittlung von Volumendaten.....	32
3.4	Technologien zur Positionsbestimmung.....	35
4	Methodik der Vorgehensweise.....	39
4.1	Konzepterstellung eines Road PI-Hubs.....	39
4.2	PI-Tauglichkeit der identifizierten Technologien zur Identifikation von Objekten.....	42
4.2.1	Bewertung von RFID-Technologie und optischen Systemen.....	42
4.2.2	Bewertung verschiedener RFID-Systeme zur Identifikation von Objekten.....	44
4.2.3	Pulkerfassung von RFID-Transpondern.....	46
4.3	PI-Tauglichkeit der identifizierten Technologien zur Ermittlung von Volumendaten.....	48
4.4	PI-Tauglichkeit der identifizierten Technologien zur Positionsbestimmung.....	49
4.5	Szenarien zur Identifikation von Waren im PI-Hub.....	50
4.5.1	Identifikationsprozess.....	50
4.5.2	Szenario für den Einsatz von PI-Containern.....	53
4.6	Szenario zur Volumenerfassung im PI-Hub.....	55
4.7	Szenarien zur Positionsbestimmung im PI-Hub.....	57
4.7.1	Positionsbestimmung mittels RFID.....	57
4.7.2	Positionsbestimmung mittels BLE.....	59
4.7.3	Positionsbestimmung mittels Ultra-Wideband.....	60
5	Beurteilung der Anwendungsszenarien im PI.....	63
5.1	Beurteilung des Szenarios zur RFID-Identifikation.....	63

5.2	Beurteilung des Szenarios zur Volumenerfassung	64
5.3	Beurteilung der Szenarien zur Positionsbestimmung	65
5.4	Handlungsempfehlungen für Unternehmen und Ausblick.....	67
6	Zusammenfassung	69
7	Verzeichnis	71
7.1	Literaturverzeichnis	71
7.2	Abbildungsverzeichnis.....	75
7.3	Tabellenverzeichnis	77

1 Einleitung

Die Logistikbranche hat bis zum heutigen Tag einen bemerkenswerten Wandel hinsichtlich Komplexität und Leistungsfähigkeit vollzogen. Steigendem Warenaufkommen im Transport konnte mit ständiger Vergrößerung und Weiterentwicklung hierarchisch aufgebauter Netzwerke wie in Abbildung 1-1 begegnet werden. Vor allem reine Kapazitätserweiterungen stoßen durch gegebene Einschränkungen wie verstopfte Verkehrswege, Mangel an qualifizierten Arbeitskräften und steigenden Kosten jedoch schnell an ihre Grenzen. Um den gegebenen Anforderungen dennoch gerecht zu werden, sucht das Physical Internet (PI) neue Wege, die durch umfassende Vernetzung aller Teilnehmer sowohl Effizienz als auch Nachhaltigkeit bestehender Transportnetze steigern (vgl. [BMM14, S. 7]). Das PI definiert sich also als globales Logistiksystem basierend auf der Vernetzung von Logistiknetzwerken, standardisierten Protokollen, modularen Containern und intelligenten Schnittstellen, um Effizienz und Nachhaltigkeit zu steigern (vgl. [MMB14, S.30]).

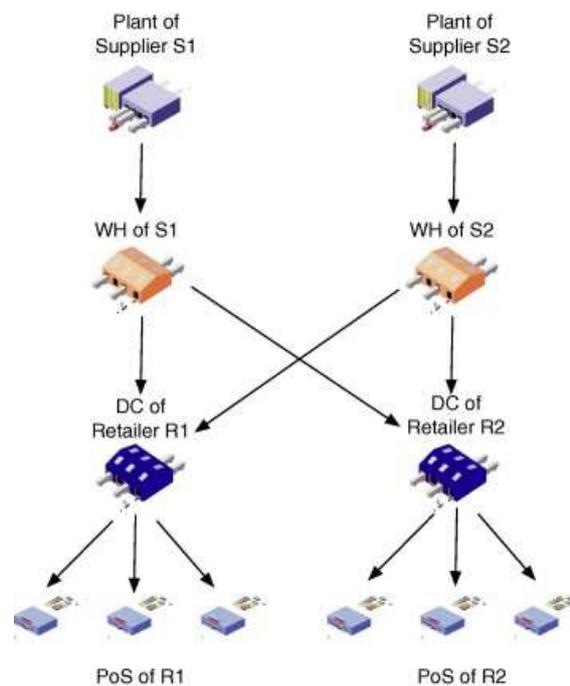


Abbildung 1-1: Klassisches, hierarchisch aufgebautes Distributionsnetzwerk [PNB14]

Um diesen Wandel von statischen Netzwerken hin zu digitalisierten und flexiblen Systemen zu bewerkstelligen, sollen Warenbewegungen ähnlich wie der Transport von Daten im digitalen Internet von einem Knotenpunkt (Hub) zum nächsten erfolgen. Dieses Prinzip ist in Abbildung 1-2 dargestellt.

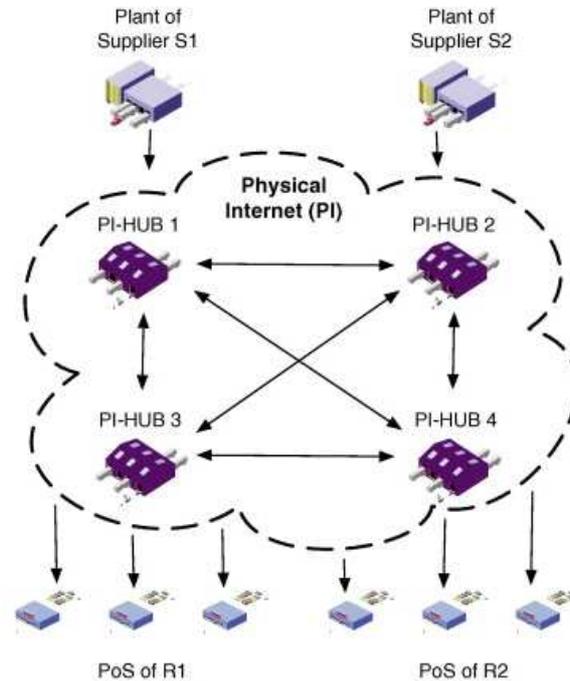


Abbildung 1-2: Offenes Distributionsnetzwerk durch das PI [PNB14]

Dies ermöglicht effizientes Routing der Waren, was hinsichtlich Transportzeiten und -kosten eine optimale Nutzung der Ressourcen ermöglicht (vgl. [MON11, S.77]). Dabei stützt sich das Konzept des PI auf drei Säulen (vgl. [BMM14, S.60ff]):

1. Modular aufgebaute Transportboxen (PI-Container), die neben dem Produktschutz auch noch Funktionen wie die Überwachung der Umweltbedingungen oder die Ortung der eigenen Position zulassen.
2. PI-Protokolle dienen dazu, die einzelnen Schritte in der Transportkette zu definieren und zu entscheiden, unter welchen Bedingungen entsprechende Folgeoperationen durchgeführt werden müssen. Erst dadurch wird ein effizientes Zusammenspiel der einzelnen Akteure möglich.
3. PI-Hubs müssen sicherstellen, dass die PI-Container zur vorgegebenen Zeit zu ihrem nächsten Ziel geschickt werden. Dazu brauchen die Hubs eine Vielzahl von Daten, die nicht nur die Waren selbst betreffen, sondern auch Informationen wie die aktuelle Auslastung anderer Teilnehmer im Netzwerk beinhalten.

Diese Arbeit betrachtet mit dem PI-Hub Ansätze zu Umsetzungsschritten im Bereich der hier angeführten dritten Säule des PI. Eine der wichtigsten Funktionen des PI-Hubs ist es, als Bindeglied zwischen den verschiedenen Verkehrswegen zu fungieren. Nur durch diese Multimodalität kann eine effiziente Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen gewährleistet werden. Dabei wird angestrebt,

dass bei entsprechenden Übergängen zwischen verschiedenen Verkehrswegen die anfallenden Kosten so gering wie möglich gehalten werden. Die Auslegung der PI-Hubs zielt auf einen effizienten Umschlag von PI-Containern unterschiedlicher Größe ab. Dabei muss sichergestellt werden, dass jeder PI-Container das PI-Hub in Richtung seines nächsten Ziels zur richtigen Zeit verlässt. Die gesamte Durchlaufzeit der PI-Container soll dabei so gering wie möglich gehalten werden (vgl. [BMM14, S. 60 ff]).

1.1 Motivation

Das PI ist eine sehr junge Thematik, die jedoch nennenswerte positive Veränderungen für das Transportwesen der Zukunft verspricht. In mehrjähriger Forschungstätigkeit hatte ich die Möglichkeit mich intensiv mit dieser neuen Entwicklung zu beschäftigen. Im Rahmen der Forschungsprojekte Go2PI (vgl. [GGE16]) und protoPI (vgl. [PRO18]) wurden vor allem klar definierte Zielsetzungen und Optimalprozesse dargestellt. Nun möchte ich im Rahmen dieser Arbeit einen Beitrag leisten, damit erste Schritte in diese Richtung auch praktische Anwendung finden. Ich bin davon überzeugt, dass die Entwicklung des PI nicht nur wirtschaftliche Vorteile für Unternehmen aller Branchen, sondern auch einen großen ökologischen und sozialen Mehrwert mit sich bringt.

1.2 Forschungsfragen und Zielsetzung

Das PI beschreibt ein sehr umfassendes Netzwerk, das eine große Anzahl von Teilnehmern mit unterschiedlichen Aufgaben einschließt. Die Betrachtung des PI mag sich gerade für Außenstehende als nicht leicht überblickbares Gebilde darstellen. Expertengespräche (vgl. [WEN18]) haben gezeigt, dass gerade kleine und mittelständische Unternehmen KMU zwar sehr am PI interessiert sind, die eigene Rolle sowie die Möglichkeiten im PI jedoch noch nicht ausreichend abschätzen können. Genau an diesem Punkt setzt diese Arbeit an. Unternehmen, die eine abwartende Haltung vertreten, sollen Möglichkeiten aufgezeigt bekommen, um mit dem eigenen Unternehmen aktiv Schritte umzusetzen, die eine Annäherung an das PI ermöglichen. Dabei liegt das Augenmerk auf mittelständischen Unternehmen, die ein oder mehrere Hubs betreiben. Neben Unternehmen, die in der Transportbranche tätig sind, beziehen sich diese Schritte auch auf Unternehmen, die entsprechende, interne Transportnetzwerke betreiben oder auch Aufgaben wie den Versand ihrer Produkte an Kunden selbst übernehmen. Hinsichtlich der betrachteten Transportgüter werden diese als quaderförmig angenommen und überschreiten die Maße von normgerecht beladenen Europaletten nicht. Sperrgüter, die nicht in diese Kategorie fallen, werden nicht behandelt.

Viele der im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Informationen wurden aus der Zusammenarbeit mit einem mittelständischen Spediteur, der eigene Hubs betreibt, ermittelt. Daher ist auch die Zielsetzung auf mittelständische Unternehmen dieser Branche ausgerichtet. Das Ziel dieser Arbeit kann demnach durch folgende Punkte definiert werden:

- Für das PI einsetzbare Technologien zur Datenerfassung und Identifikation identifizieren.
- Möglichkeiten und Nutzen eruieren, die sich durch Umsetzungsschritte in Richtung PI für ein Unternehmen ergeben.
- Handlungsempfehlungen für Schritte in Richtung PI abgeben.

Betrachtete Methoden und Technologien zur Datenerfassung und Identifikation von Waren sollen grundsätzlich für alle Unternehmensgrößen umsetzbar sein. Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Welche Informationen hinsichtlich der transportierten Waren sind in einem Hub für das PI notwendig und wie können diese ermittelt werden?
2. Wie kann RFID-Technologie eingesetzt werden, um die Grundlage für das PI zu legen und welche alternativen Technologien gibt es?
3. Wie wirken sich diese praktischen Umsetzungsschritte, die auf ein zukünftiges PI-Netzwerk abzielen, auf bestehende Prozesse in Hubs aus?

Die Bearbeitung dieser Forschungsfragen soll für Hubbetreiber bzw. Entscheidungsträger hinsichtlich technischer Neuerungen eine Entscheidungshilfe bieten. Wurde die Umsetzung einer der hier betrachteten Technologien bereits ins Auge gefasst, soll so eine bessere Beurteilung hinsichtlich Nutzen und Risiko für das eigene Unternehmen ermöglicht werden. Die in dieser Arbeit gestellten Forschungsfragen werden mit den in Abbildung 1-3 dargestellten Methoden bearbeitet. Dabei werden die Methoden in Grün und die erzielten Ergebnisse in Rot dargestellt.

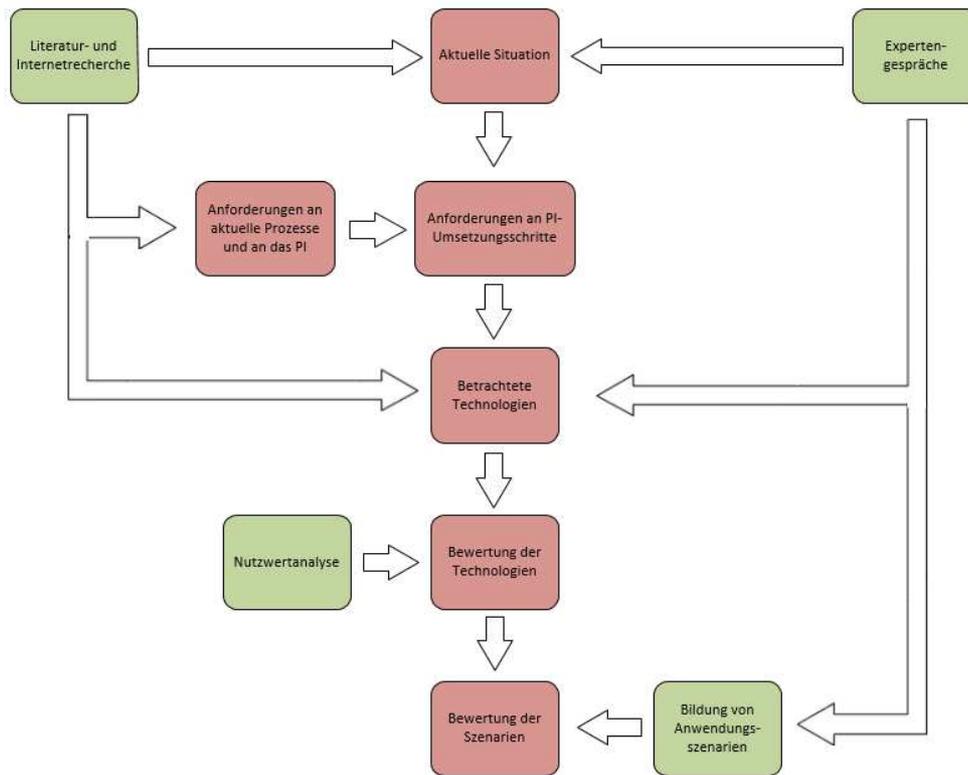


Abbildung 1-3: Angewandte Methoden

Die aktuelle Situation, auf der diese Arbeit aufbaut, wird durch Literaturrecherchetätigkeiten und das Führen von Expertengesprächen bewerkstelligt. Dabei werden auch die teilweise unterschiedlichen Ergebnisse dieser beiden Methoden aufgezeigt. Im nächsten Schritt werden Anforderungen für die PI-Umsetzungsschritte ermittelt. In diese fließen Ergebnisse aus der Literaturrecherche ein. Ebenso werden für die betrachteten Technologien Rechercheergebnisse herangezogen. Um hier aktuelle Ergebnisse zu erzielen, wird jedoch auf die Internetrecherche gesetzt. Daneben haben auch Ergebnisse aus Expertengesprächen Einfluss auf die betrachteten Technologien. Die nachfolgende Bewertung der betrachteten Technologien wird mittels Nutzwertanalyse durchgeführt. Um Technologien anschaulicher darzustellen und schlussendlich konkrete Umsetzungsempfehlungen zu generieren, wird die Methode der Szenarienbildung verwendet. In einige Szenarien fließen dabei wiederum Informationen aus Expertengesprächen ein.

1.3 Aufbau der Arbeit

Um eine Ausgangsposition für Änderungen hin zum PI zu definieren, werden in Kapitel 2 aktuellen Prozesse und Abläufe in Umschlagzentren beschrieben. Dabei liegt der Fokus auf aktuell verwendeten Systemen zur Datenerfassung und Identifikation von Waren.

Im anschließenden Kapitel 3 werden Lösungsansätze, um sich dem PI anzunähern, betrachtet. Über die Definition notwendiger Anforderungen und die dafür

notwendigen Informationen werden schließlich zu betrachtende Technologien, die für die Datenerfassung und Identifikation von Objekten herangezogen werden können, gewählt. Dabei wird auf allgemeine Eigenschaften der Technologien eingegangen. Im Fokus stehen die RFID-Technologie und andere Alternativen, deren Umsetzung keinen hohen Automatisierungsgrad bei der Integration in bestehende Intralogistiksysteme von Hubs fordern.

In Kapitel 4 erfolgt die Bewertung der Technologien hinsichtlich der Einsetzbarkeit im PI. Durch Verwendung der Nutzwertanalyse erfolgt eine übersichtliche und nachvollziehbare Bewertung. Durch die anschließende Erstellung von Szenarien wird hier ein besseres Verständnis für die Anwendung der Technologien geschaffen. So werden wichtige Faktoren wie der Implementierungsaufwand der einzelnen Technologien anschaulich dargestellt.

Das letzte Kapitel 5 erörtert den Nutzen, den Unternehmen durch die Anwendung der dargestellten Szenarien ziehen können. Weiter werden konkrete Handlungsempfehlungen für Unternehmen abgegeben.

2 Problemanalyse und theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel wird die aktuelle Rolle eines Hubs dargestellt. Der Fokus liegt dabei auf der Datenerfassung und Identifikation von Waren. Neben der Situation mittelständischer Spediteure wird auch das PI und im speziellen das PI-Hub behandelt.

2.1 Die Rolle aktueller Hubs

Zu allererst sei hier die Verwendung des Begriffs Hub in dieser Arbeit definiert. Darunter sind grundsätzlich Umschlag- und Verteilzentren, die Speditionsaufgaben für verschiedene Kunden übernehmen, zu verstehen. Weiter können darunter auch Einrichtungen wie unternehmensinterne Verteil- oder Versandzentren verstanden werden, die ebenfalls auf das Erfüllen von logistischen Aufgaben spezialisiert sind.

Durch sehr unterschiedlich aufgebaute Transportnetzwerke in der Gegenwart werden auch an darin eingebundene Hubs unterschiedliche Anforderungen gestellt. Je nach Auslastung eines Transportmittels sind bestehende Transportsysteme in mehreren Stufen aufgebaut. Ist bereits durch die Ladung eines einzelnen Kunden eine hohe Volumennutzung eines Transportmittels gegeben, kann der Transport vom Lieferanten direkt zum Kunden erfolgen und auch wirtschaftlich sinnvoll sein (vgl. [GUD10, S.18]). Hubs für die Zusammenfassung von Lieferungen sind in diesem Fall nicht notwendig. Abbildung 2-1 zeigt den Aufbau eines einstufigen Netzwerks.

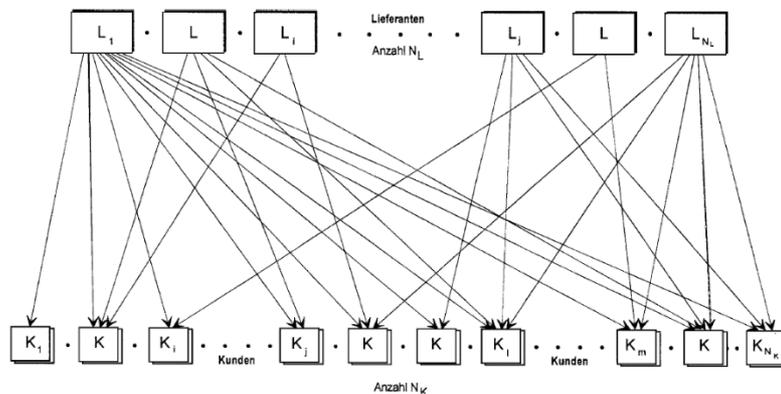


Abbildung 2-1: Einstufiges Netzwerk [GUD10, S.18]

Sowohl in der Industrie als auch beim Konsumenten werden heutzutage immer schneller verfügbare Waren gefordert. Das hat wiederum kleinere Transportmengen, die öfter geliefert werden müssen, zur Folge. Dadurch ist es für einen wirtschaftlichen Transport notwendig, in separaten Touren die Kleinsendungen der einzelnen Lieferanten zu sammeln, um wieder eine entsprechende Volumennutzung des Transportmittels zu gewährleisten.

Diesen Anforderungen entsprechend stehen auch mehrstufige Liefernetzwerke zur Verfügung. In Abbildung 2-2 wird ersichtlich, dass Hubs, je nachdem in wel-

cher Stufe des Netzwerks sie eingesetzt sind, unterschiedliche Aufgaben bewältigen müssen. Das ist notwendig, um das Sammeln und Verteilen der Sendungen sowie den Hauptlauf zwischen verschiedenen Logistikzentren effizient abwickeln zu können (vgl. [GUD10, S. 19]).

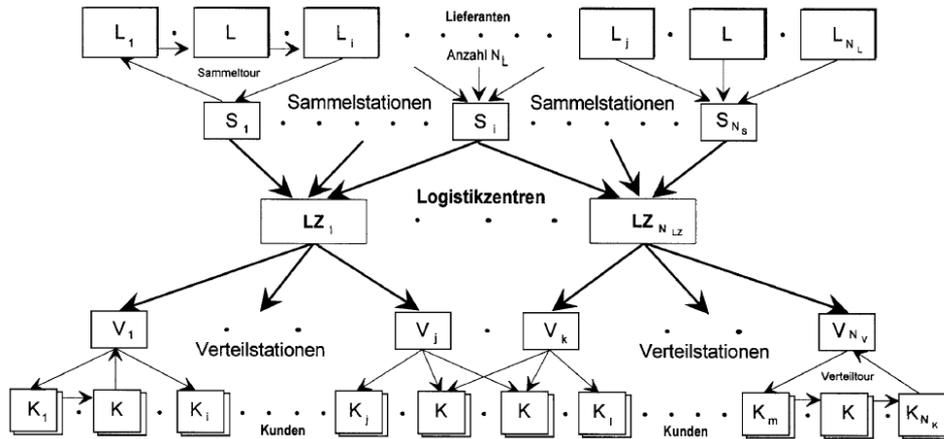


Abbildung 2-2: Mehrstufiges Transportnetzwerk mit Sammel- und Verteilstationen [GUD10, S.19]

Abbildung 2-2 fasst die Funktionen, die von Logistikzentren als Schnittstelle zwischen Lieferanten und Kunden übernommen werden müssen, zusammen. Neben dem Transport der Ware vom Lieferanten zum Kunden ist auch der Rücklauf von LHM zu beachten.

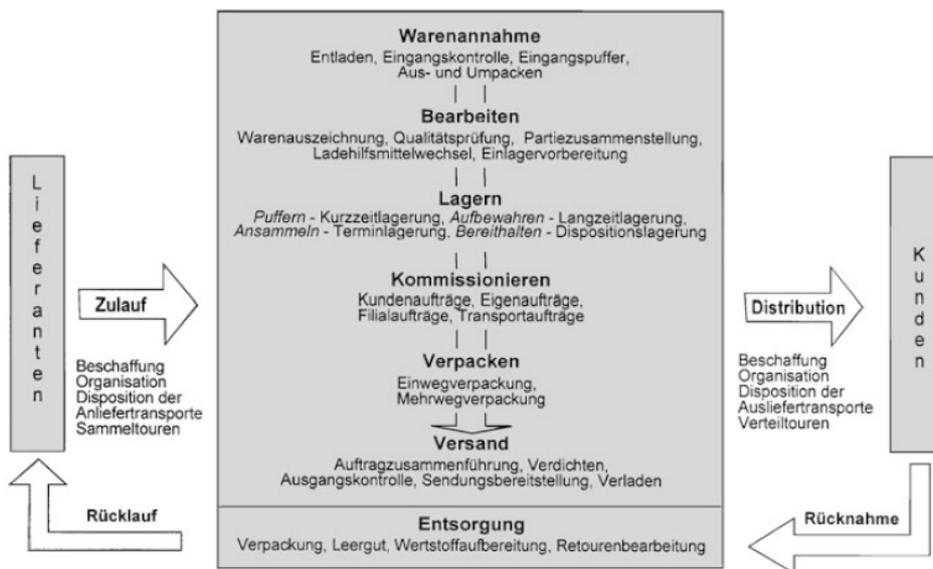


Abbildung 2-3: Funktionen eines Logistikhubs [GUD10, S. 21]

Die Funktionen eines Hubs können also sehr umfangreich sein. Da die Transportnetzwerke jedoch unterschiedlich aufgebaut sind bzw. verschiedene Netzwerke kombiniert bzw. überlagert werden, können darin auch keine einheitlichen Hubs eingesetzt werden. So kann ein Hub alle oder nur einzelne der in Abbildung 2-3 angeführten Aufgaben erfüllen.

2.2 Physikalische Vorgänge in aktuellen Hubs

Zu allererst wird dazu der Begriff der Intralogistik festgelegt. Nach Definition des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA) umfasst die Intralogistik „Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung des innerbetrieblichen Materialflusses, der Informationsströme sowie des Warenumschlags in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen“ [VDM18]. Ein Logistikzentrum soll eben diese Aufgaben besonders effizient erledigen. Durch die räumliche Bündelung können Abläufe und Prozesse grundsätzlich schneller und kostengünstiger abgewickelt werden. Im Allgemeinen erfüllt ein Logistikzentrum folgende Aufgaben ([MAR14, S.344]):

- Wareneingang/Warenausgang
- Interner Transport
- Lagerung
- Kommissionierung

Auf Grund der zentralen Rolle in einem Hub, wird auch die Informationslogistik, die alle genannten Bereiche betrifft, als eigene Aufgabe definiert. In dieser Arbeit werden vor allem die beiden grundlegenden Elemente Datenerfassung und Identifikation von Objekten betrachtet. Eine genauere Ausführung findet sich in Kapitel 2.3. Um einen besseren Überblick über die Aufgaben eines Hubs zu bekommen, werden hier die physikalischen Vorgänge in Hubs genauer beschrieben:

Wareneingang / Warenausgang

Die Aufgaben des Wareneingangs (WE) und Warenausgangs (WA) bestehen darin technische und organisatorische Arbeiten wie Entladen, Puffern, Auspacken, Sortieren durchzuführen (vgl. [MAR14, S.345]). Die Be- und Entladung läuft größtenteils manuell ab. Dabei werden LHM in der Regel mit Hubwagen oder Gabelstaplern einzeln ein- oder ausgeladen. Als durchgehender Standard in der gesamten Transportkette kann die Europalette gesehen werden. D. h. man kann davon ausgehen, dass an allen Übergabepunkten Europaletten gehandhabt werden können. Weiterführende Standardisierungen der Handhabung sind jedoch nicht vorhanden. Vor allem bei Waren, die gut von Personen ohne zusätzliche Hilfsmittel bewegt werden können, erfolgt die Be- und Entladung auch ohne die Verwendung von LHM. Dies ist zum Beispiel bei Kartons, die direkt in Transportfahrzeuge verladen werden, der Fall.

Interner Transport

Ein innerbetriebliches Transportsystem kann aus gleichen oder unterschiedlichen Transportmitteln bestehen, die zusammen die innerbetriebliche Transportaufgabe erfüllen. Diese enthält neben dem physischen Transport u. a. auch die Beschreibung des durchzuführenden Transportes mit Angabe der Quelle und Senke, der Transportzeit und des Mengenstromes. (vgl. [MAR14, S.98]).

Lagerung

Für die Planung des Platzbedarfs sowie für die Bestands- und Nachschubdisposition ist es zweckmäßig, nach den in Tabelle 2-1 aufgeführten Funktionen, Zielen und Merkmalen die Bestandsarten Puffern, Lagern und Speichern zu unterscheiden. In der Praxis werden die idealtypischen Bestandsarten nicht immer klar getrennt und die Begriffe Puffern, Lagern und Speichern unterschiedlich oder synonym verwendet. In einigen Fällen haben Bestände auch mehrere Funktionen. So ist der Übergang vom Puffern zum Lagern und vom Lagern zum Speichern fließend und abhängig von der Disposition (vgl. [GUD10 S.324]).

Tabelle 2-1: Lagerfunktionen [GUD10, S.235]

	PUFFERN	LAGERN	SPEICHERN
Funktionen	Bereithalten zum Verbrauch zur Verarbeitung zur Bearbeitung zur Abfertigung Stau permanenter Warteschlangen	Bevorraten von Handelsware von Produktionsbedarf von Fertigwaren von Ersatzteilen Lagern von Reservemengen	Aufbewahren zur Produktion zum Transport zur Aktionsauslieferung zum Sortieren Speichern temporärer Warteschlangen
Ziele	Auslastungssicherung Unterbrechungsschutz minimaler Platzbedarf	sofortige Verfügbarkeit optimale Lieferfähigkeit minimale Prozeßkosten	Kapazitätsnutzung minimale Kosten maximaler Erlös
Bedarf	permanent	permanent	temporär
Bestandshöhe	minimal stochastisch um Mittelwert schwankend	optimal stochastisch abfallender Sägezahnverlauf	vorbestimmt ansteigend, konstant abfallend
Artikelspektrum	minimal	breit	gering
Liegezeit	kurz	mittel bis lang	vorbestimmt
Disposition	zufallsabhängige Staueffekte	verbrauchsabhängig Pull-Prinzip	planabhängig Push-Prinzip
Einflußfaktoren	Varianz von Zulauf und Verbrauch Verfügbarkeit der Lieferstelle	geforderte Lieferfähigkeit Verbrauch Nachschub Prozeßkosten	Produktionsplan Absatzplan Lade- und Tourenplan Zykluszeiten

Betrachtet man Hubs, so kann generell festgehalten werden, dass die Aufenthaltszeit der Produkte im Umschlagzentrum so gering wie möglich gehalten werden soll.

Um Waren zu lagern und zu transportieren, stehen am Markt eine Fülle von LHM zur Verfügung. Dabei sind je nach Branche verschiedenste Anforderungen wie Produktschutz, leichte Ein- und Auslagerung, etc. zu erfüllen. Gewisse LHM und deren Eigenschaften können jedoch beinahe allen Branchen zugewiesen werden. Dabei kann die Palette als größtenteils eingesetztes Standard-LHM bezeichnet werden. Das vor allem in Europa am weitesten verbreitete Maß stellt die Europalette mit Grundabmessungen von 1200 mm x 800 mm dar. Auch weltweit ist dieses Maß am verbreitetsten (vgl. [EPA18]).

Kommissionierung

Die Kommissionierung bezeichnet Auslagerungsvorgänge von vorgegebenen Artikeln zu vorgegebenen Mengen. So werden bestimmte Teilmengen, die aus bereitgestellten Gesamtmengen entnommen werden, zu einem Kundenauftrag zusammengestellt (vgl. [MAR14, S.396]). Für die Unterstützung der Mitarbeiter beim Kommissioniervorgang werden zahlreiche Hilfsmittel angeboten, um entsprechende Vorgänge zu beschleunigen bzw. Fehlerraten zu minimieren. Neben einer Vielzahl von anderen technischen Hilfsmitteln hat ebenso die RFID-Technologie in diesem Bereich Einzug gehalten. So kann mit Armbändern, die mit Transpondern ausgestattet sind, überprüft werden, ob die Entnahme aus dem richtigen Behälter erfolgt (vgl. [UBI18]).

2.3 Datenerfassung und Identifikation in Hubs

Um einen Überblick über die aktuelle Situation hinsichtlich Datenerfassung und Identifikationstechnologie in Hubs zu erhalten, werden diese Bereiche genauer betrachtet.

2.3.1 Datenerfassung

Die Datenerfassung bezeichnet die Ermittlung von produktbezogenen Eigenschaften. Zum einen sind dies die Stammdaten, die sich auf die physikalischen Eigenschaften von Waren beziehen. Zum anderen beinhaltet die Datenerfassung auch die Information über die aktuelle Position von Objekten.

Logistikdienstleister ermitteln in der Regel physikalische Daten von Transportgütern nicht selbst. Grundsätzlich sind Online-Plattformen in Verwendung, auf denen entsprechende Daten wie Warenabmessungen vom Lieferanten an den Logistikdienstleister übermittelt werden können (vgl. [WEN18]).

2.3.2 Identifikationstechnologie

Die Identifikationstechnologie befasst sich mit dem exakten Erkennen von Objekten (vgl. MAR14, S. 504). Dadurch wird ermöglicht, dass Daten, die im Vorfeld erfasst wurden, zu den jeweiligen Objekten eindeutig zugeordnet werden können. Es werden dafür aus angebrachten Informationsträgern an den Gütern objektbezogene Daten durch Lesegeräte abgerufen und weiterverarbeitet. Die wichtigsten physikalischen Grundprinzipien sind (vgl. [MAR14 S.505]):

- Mechanische Informationsträger wie Lochstreifen, Stifte und Blechfahnen
- Magnetische Informationsträger wie Magnetstreifen und Magnetkarten
- Optische/elektronische Informationsträger
- Elektronische/elektromagnetische Informationsträger

Als die am häufigsten angewandte optische Technologie zur Identifikation kann der Strichcode genannt werden. Bei den elektronischen Technologien wird RFID am häufigsten angewandt. Für rein logistische und vor allem offene Prozesse

kann jedoch der Strichcode als vorherrschendes System bezeichnet werden (vgl. [MAR14, S. 506]). Beide Systeme können sowohl für manuelle Anwendungen mit Handscannern, als auch für automatisierte Anwendungen mit fest verbauten Scannern verwendet werden. Auf Grund der Relevanz dieser Systeme werden diese nun genauer betrachtet.

Für die Verwendung optischer Identifikation sind neben dem Strichcode selbst ein Drucker sowie ein Lesegerät notwendig. Für die Codierung von Informationen werden dabei sowohl dunkle Striche als auch Lücken zwischen den Strichen verwendet. Kennzeichnende Merkmale für den eindimensionalen Strichcode sind in Abbildung 2-4 beschrieben (vgl. [MAR14, S. 506]):

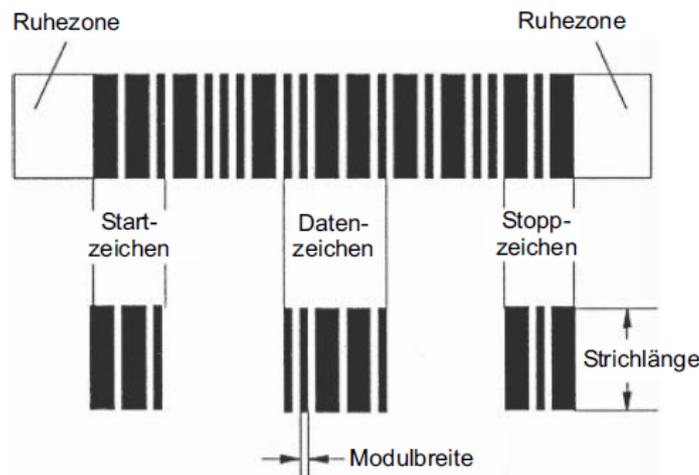


Abbildung 2-4: Strichcodeaufbau [MAR14, S. 506]

Werden größere Datenmengen pro bedruckter Fläche gefordert, stehen mehrdimensionale optische Codes zur Verfügung. Eine weit verbreitete Variante stellt der zweidimensionale Quick Response (QR)-Code dar. Abbildung 2-5 gibt ein Beispiel an. Neben weißen und schwarzen Punkten verfügt dieser auch über Orientierungselemente an drei Eckpunkten. Die maximale Datenmenge, die mit QR-Codes gespeichert werden kann, beträgt rund 3.000 Byte. Ein besonderer Vorteil gegenüber dem eindimensionalen Strichcode ist, dass der Code trotz Beschädigungen, die bis zu 30 % betragen können, noch gelesen werden kann. Zudem ist



Abbildung 2-5: QR-Code [TON19]

der Code lizenz- und kostenfrei verfügbar. Auch Weiterentwicklungen bzgl. Datenvolumen und Fehlerkorrektur werden ständig vorangetrieben (vgl. [MAR14, S. 509]).

Eine weitere Möglichkeit der optischen Identifikation stellt beispielsweise der von Microsoft entwickelte High Capacity Color Barcode, wie er in Abbildung 2-6 zu sehen ist, dar. Durch die Verwendung verschiedener Farben kann im Vergleich zu Schwarz-Weiß-Strichcodes die doppelte Menge an Daten pro Fläche gespeichert werden (vgl. [MIC19]).

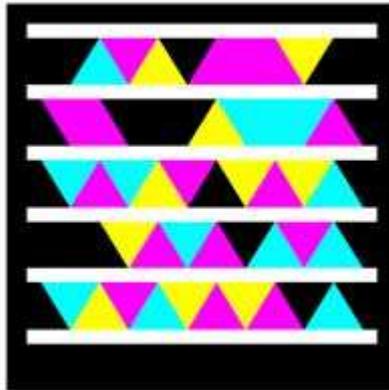


Abbildung 2-6: High Capacity Color Barcode von Microsoft [COM19]

Ebenfalls mit einer sehr hohen Datenkapazität zeichnet sich der Ultracode aus. Dieser ist mit einem QR-Code, der als „dritte Dimension“ verschiedene Farben verwendet, vergleichbar.

Trotz der hohen Speicherkapazitäten haben Systeme, die zur optischen Datenerfassung eine Farbcodierung verwenden, für Logistikanwendungen kaum Relevanz. Vor allem die hohe Fehleranfälligkeit beim Lesen mehrfarbiger Codes macht diese für Transportketten mit vielen Lesungen uninteressant (vgl. [NIS19]).

2.4 Aktuelle Situation mittelständischer Spediteure

Um sinnvolle und unter realen Bedingungen umsetzbare Ergebnisse zu erhalten, ist es wichtig, die Ausgangssituation genau zu erfassen. Diese bezieht sich hier vor allem auf mittelständische Hubbetreiber, die auch die hauptsächliche Zielgruppe dieser Arbeit sind.

Hinsichtlich der Datenerfassung sind Hubbetreiber in der Regel auf ihre Kunden bzw. Lieferanten angewiesen. Obwohl meist entsprechende Vereinbarungen getroffen werden, ist die Qualität der Daten derart niedrig, dass diese in den meisten Fällen nicht verwendet werden können. D.h., dass Daten wie das Volumen der transportierten Waren gar nicht oder nicht ausreichend genau übermittelt werden. Eine genaue Planung von Ladungszusammenstellungen oder ähnlichem kann deshalb auf diesen Daten basierend nicht durchgeführt werden. Die Konsequenz daraus ist, dass Ladungszusammenstellungen bzw. die Ermittlung von erforderlichen LKW oder Wechselaufbaubrücken (WAB) auf Erfahrungs- und

Schätzwerten beruhen. Gerade bei sehr hohen geplanten Füllgraden besteht hier die Gefahr, dass die ermittelten Fahrzeuge nicht ausreichen. Ist der ganze Fuhrpark im Einsatz, kann dies für den Transportdienstleister erhebliche Probleme verursachen. Zusätzliche Kapazitäten müssen teuer zugekauft werden bzw. es muss ermittelt werden, ob und welcher Teil der Ladung auch zu einem späteren Zeitpunkt mit eigenen Fahrzeugen transportiert werden kann. Doch auch wenn die verzögerte Lieferung ohne direkte Kosten durch Ersatzleistungen an Kunden möglich ist, verursacht diese trotzdem nennenswerte finanzielle Einbußen. Das Abladen von Teilladungen, die Standzeiten des LKWs, sowie der zusätzliche organisatorische Aufwand verursachen oft erhebliche indirekte Kosten (vgl. [WEN18]).

Hinsichtlich der Identifikation von Objekten soll beim Transport und Handling von Waren durch diese keine zeitliche Verzögerung entstehen. Aktuell werden in Hubs jedoch fast ausschließlich optische Identifikationssysteme eingesetzt, durch die diese Anforderung nicht erfüllt werden kann. Sind beispielsweise mehrere Kartons auf einer Palette zu identifizieren, wird der gesamte Entladevorgang durch das Scannen wesentlich verlängert (vgl. [WEN18]). Diese manuelle Schnittstelle des Datenaustauschs wird als Medienbruch bezeichnet (vgl. [RIC13, S. 41]). Elgar Fleisch definiert diesen wie folgt: „*Ein Medienbruch ist vergleichbar mit einem fehlenden Glied einer digitalen Informationskette und ist Mitursache für Langsamkeit, Intransparenz, Fehleranfälligkeit etc. inner- und überbetrieblicher Prozesse*“ ([FM05, S.7]). Ein solcher Medienbruch stört die digitale Informationskette und stellt somit ein Hemmnis für die Umsetzung des PI dar. Um Medienbrüche zu vermeiden bzw. zu minimieren sind innovative Lösungen notwendig. D.h. bestehende Technologien wie der Strichcode müssen durch neue Technologien ersetzt werden.



Abbildung 2-7: Wissen in Unternehmen über RFID-Technologie [RIC13, S. 3]

Der Informationsstand von Unternehmen hinsichtlich neuer Technologien ist in Abbildung 2-7 am Beispiel der RFID-Technologie grafisch aufbereitet. Während der eigene Wissensstand hinsichtlich der grundlegenden Möglichkeiten durch RFID als größtenteils gut eingeschätzt wird, fehlt es oft an Wissen bezüglich konkreter Einsatzpotenziale im eigenen Unternehmen. Vor allem schwer ermittelbare Einsparungspotenziale werden hierfür verantwortlich gemacht (vgl. [RIC13, S. 2 ff]). Aus Expertengesprächen ging hervor, dass bei Hubbetreibern eher durch-

schnittliches Wissen über RFID sowie konkrete Anwendungsmöglichkeiten vorhanden ist. Hinsichtlich Technologien zur Datenerfassung ist der Informationsstand sogar als sehr gering zu bezeichnen. Ausreichend Informationen, um beispielsweise auch nur ein grobes Konzept selbst zu entwickeln, sind meist nicht vorhanden. Dies beruht vor allem auf der hohen Auslastung der Mitarbeiter durch das Tagesgeschäft. Neben der Bewältigung der täglichen Aufgaben bleibt kaum Zeit, sich mit möglichen Neuerungen, was die technische Ausstattung des Unternehmens angeht, auseinanderzusetzen. Die Konsequenz aus dieser Situation ist, dass bei Erweiterungen und Umbauten eines Hubs meist auf wesentliche Neuerungen verzichtet wird. Wird beispielsweise durch steigende Umschlagsraten eines Spediteurs auch ein gesteigerter Durchsatz eines Hubs angestrebt, werden diese meist durch Gebäudeerweiterungen und nicht durch technisch innovative Lösungen herbeigeführt. Trotz der grundsätzlichen Bereitschaft für die Umsetzung neuer Systeme überwiegt hier auf Grund mangelnder Informationen die Angst vor möglichen Risiken. Auch Forschungseinrichtungen bieten aktuell keine nutzbaren und für Unternehmer zugänglichen Entscheidungshilfen für Hubbetreiber an (vgl. [WEN18]).

Werden fortschrittliche Technologien gegenwärtig eingesetzt, geschieht dies in der Regel durch große Unternehmen, die über ausreichende Kapazitäten, was Personal und finanzielle Mittel angeht, verfügen. Jedoch wird auch hier deutlich, dass sich diese hauptsächlich auf spezielle Produktgruppen, Branchen oder nur auf kleine Teile der Supply-Chain beziehen. So können trotz eingesetzter innovativer Technologien, die durchaus im PI Verwendung finden können, unter anderem folgende Einschränkungen genannt werden (vgl. [FOM18]):

- Die Anwendung erfolgt oft nur für einen Teil des Sortiments. Dabei kann es sich beispielsweise um das Trockensortiment eines Lebensmittelhändlers handeln.
- Geschieht die Umsetzung durch einen Logistikdienstleister, ist oft nur ein einziger oder sehr wenige Kunden miteinbezogen.
- Neben logistischen Vorteilen stehen teilweise Anwendungen wie Diebstahlschutz im Fokus. Beispielhaft dafür ist der Textilhandel, in dem versucht wird durch Überwachung von Filialausgängen Diebstähle zu verhindern.
- Innovative Systeme werden oft nur im Hauptlauf eingesetzt.

2.5 Das PI und die Rolle des PI-Hubs

Die Herausforderung des PI besteht darin, die Bewegung physischer Objekte auf globaler Ebene nachhaltig zu gestalten. Dabei ist auch die wirtschaftliche Komponente entscheidend. So müssen zukünftig besonders die Kosten für notwendige Transportbewegungen geringgehalten werden. Dies betrifft auf globaler Ebene nicht nur die Transportbranche, sondern auch international produzierende Unternehmen. Aus ökologischer Perspektive ist das Ziel des PI definiert durch die Reduktion des globalen Energieaufwands, der für den Transport physischer Objekte aufgebracht werden muss. Dadurch werden auch emittierte Schadstoffe wie CO₂ reduziert. Der soziale Aspekt des PI beinhaltet die Verbesserung der Arbeitsbedingungen von Personen, die in der Transport- und Logistikbranche, aber auch in der Produktion beschäftigt sind (vgl. [MON11, S. 71 ff]).

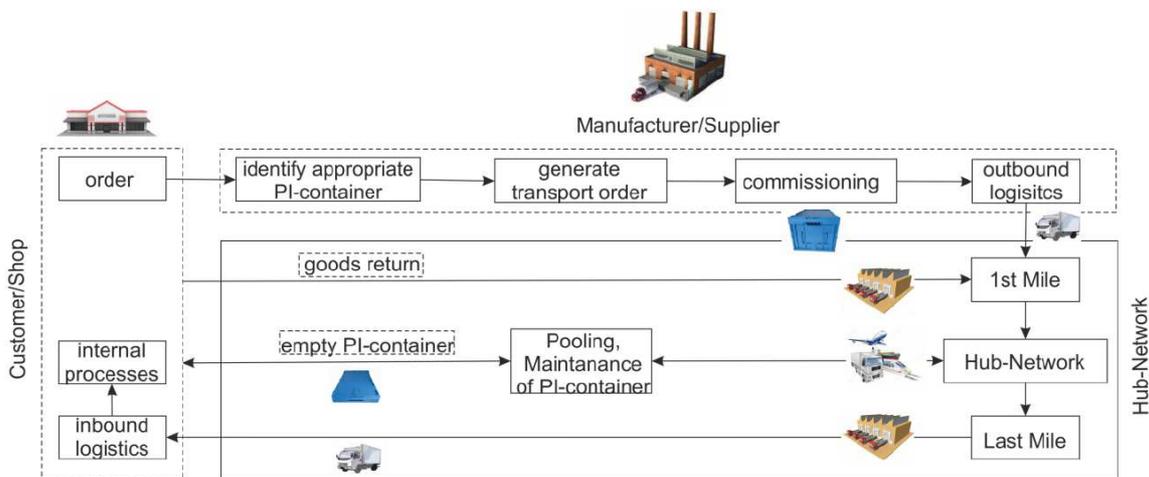


Abbildung 2-8: Standardprozess für B-2-B Netzwerke im PI [ELJ16, S.6]

Wie diese Ziele im PI erreicht werden, ist in Abbildung 2-8 dargestellt. Beschrieben werden hier sowohl die Prozesse sowie der Warenfluss im PI. Durch eingehende Bestellungen bei einem Hersteller oder Lieferanten wird ein standardisierter PI-Prozess ausgelöst. Anhand vorhandener Produktdaten wird neben Anzahl und Größe der Waren auch die Kommissionierreihenfolge festgelegt. Reicht der vorhandene Bestand an LHM nicht aus, wird automatisch ein Poolingbetreiber, der für den notwendigen Nachschub zur erforderlichen Zeit sorgt, benachrichtigt. Die Kommissionierung sowie die Bereitstellung der zu versendenden Waren ist zeitlich auf den weiteren Transportweg abgestimmt, was zusätzliche Zwischenlagerungen überflüssig macht. Ein auf die erste Meile spezialisierter Spediteur holt alle Lieferungen in einem bestimmten Gebiet nach dem Milkrun-Prinzip ab. Verladevorgänge bei den Lieferanten sowie beim ersten Hub erfolgen mit automatischen Systemen. Dies ermöglicht neben einer sicheren Handhabung der Waren auch eine optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden Transportkapazitäten. Bereits bevor der LKW am Hub eintrifft, werden weitere Transportaufträge generiert, um innerhalb des Hubs reibungslose Abläufe zu ermöglichen und den ankommenden LKW ohne Zeitverzögerung wieder neu zu beladen. Die Transportabläufe bis zum letzten Hub erfolgen nach einem standardisierten Prozess und werden gleich abgewickelt. In den Hubs kann dabei eine neue Zu-

sammenstellung von Sendungen mittels Cross-Docking oder eine Zwischenlagerung gewisser Waren erfolgen. Ebenso kann beispielsweise das gewünschte Lieferdatum oder die Zieladresse auch während des Transportprozesses angepasst werden. Werden Behälter während des Transports beschädigt, wird der Lieferant umgehend darüber informiert, wodurch entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können.

Ausgehend vom letzten Hub werden die Waren wieder im Milkrun zu den Kunden geliefert. Im Wareneingang des Kunden sind die standardisierten Prozesse abgeschlossen und die internen Prozesse des Kunden werden gestartet (vgl. [ELJ16, S. 6]).

Das PI basiert nicht nur auf der Optimierung einzelner Transportwege, sondern auf multimodalem Transport von Waren. D. h. durch Kombination verschiedener Transportwege werden vorhandene Ressourcen am effizientesten genutzt. Das PI-Hub fungiert in diesem multimodalen Netzwerk als Schnittstelle zwischen den verschiedenen Transportwegen. Im Vergleich zu herkömmlichen Hubs entsteht in PI-Hubs somit ein höherer Aufwand für Be- und Entladung von Transportmitteln. Dieser Aufwand für das Umsetzen der Waren zwischen den verschiedenen Transportwegen muss so gering wie möglich gehalten werden. Abbildung 2-9 zeigt die dadurch angestrebte Beschleunigung von Transporten vom Lieferanten zum Kunden.

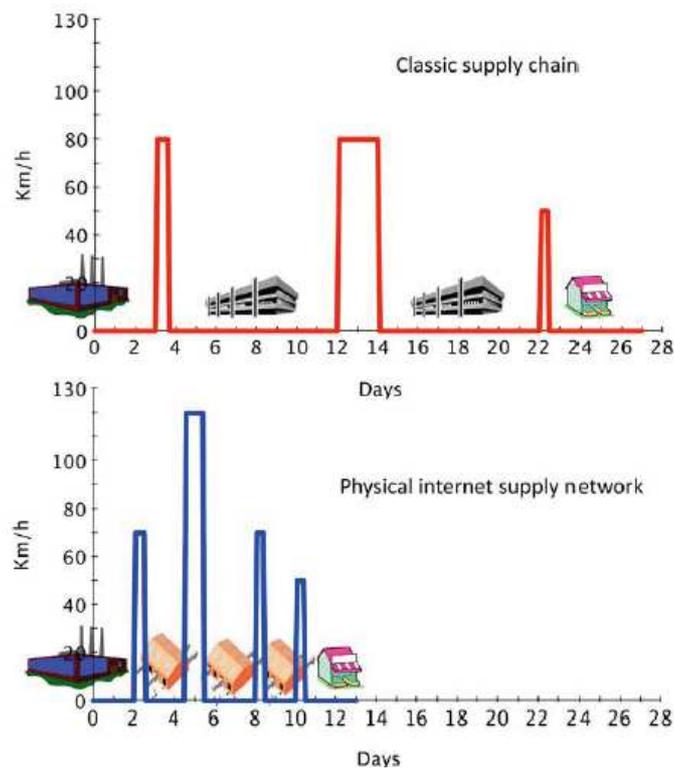


Abbildung 2-9: Angestrebte Beschleunigung von Transporten vom Lieferanten zum Kunden [BMM14, S. 78]

Ein entscheidender Punkt für die Effizienz eines PI-Hubs ist die Möglichkeit PI-Container verschiedener Größen zu verarbeiten. Um das Handling zu erleichtern und effizienter zu gestalten, werden diese mit einem Verriegelungsmechanismus miteinander verbunden. Hinsichtlich der Größe wird zwischen folgenden Kategorien unterschieden [BMM14, S. 79]:

- S: kleiner PI-Container
- M: PI-Container mit einem Volumen von rund einem Kubikmeter
- L: große PI-Container, die kompatibel mit Handlingsystemen für Schwerlasten sind

Entsprechend dieser Kategorien sind in Abbildung 2-10 die verschiedenen Hub-Typen angegeben. Ein PI-Hub vom Typ Ship/Train kann beispielsweise nur PI-Container der Kategorie L umschlagen, während eines vom Typ Truck/ Light Vehicle PI-Container aller Kategorien verarbeiten kann.

Hub types	Ship	Train	Barge	Aircraft	Truck	Light vehicle	Manual*
Ship	L: ✓ M: S:	L: ✓ M: S:	L: ✓ M: S:	∅	L: ✓ M: ✓ S:	∅	∅
Train		L: ✓ M: S:	L: ✓ M: S:	L: ✓ M: ✓ S:	L: ✓ M: ✓ S:	L: ✓ M: ✓ S:	∅
Barge			L: ✓ M: S:	∅	L: ✓ M: ✓ S:	L: ✓ M: ✓ S:	∅
Aircraft				L: M: ✓ S: ✓	L: M: ✓ S: ✓	L: M: ✓ S: ✓	L: M: S: ✓
Truck					L: ✓ M: ✓ S: ✓	L: ✓ M: ✓ S: ✓	L: ✓ M: ✓ S: ✓
Light vehicle						L: ✓ M: ✓ S: ✓	L: M: ✓ S: ✓
Manual*							L: M: S: ✓

Abbildung 2-10: Hub-Typen bezogen auf die PI-Containergröße [BMM14, S.79]

Diese Arbeit beschäftigt sich mit PI-Hubs, die nur über eine Straßenanbindung verfügen. Dies umfasst die Hub-Typen Truck/Truck und Truck/Light Vehicle. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden diese als Road PI-Hub zusammengefasst.

2.6 Angewandte Methoden

Dieser Abschnitt geht genauer auf die angewandten Methoden, die in Abbildung 1-3 angeführt wurden, ein.

2.6.1 Recherche

Die Recherchetätigkeit für diese Arbeit dient vor allem der Ermittlung von IST-Zuständen. Dabei wurde mittels Literaturrecherche Ergebnisse von verschiedenen Umfragen und Statistiken gesammelt, um aktuelle Gegebenheiten richtig abbilden zu können. Neben Fachbüchern wurde dabei auch auf Forschungsberichte zurückgegriffen. Vor allem hinsichtlich der betrachteten Technologien wurde auch online recherchiert. Dabei wurden von Herstellern die notwendigen Daten zusammengetragen.

2.6.2 Expertengespräch

Um Lösungen zu finden, die auf die Bedürfnisse von Unternehmen zugeschnitten sind, ist es unerlässlich, mit diesen auch in Kontakt zu treten. Das wichtigste Werkzeug für diese sogenannten Expertengespräche ist das Interview. Darunter wird grundsätzlich ein Vieraugengespräch verstanden. Stehen mehrere Gesprächspartner zur Verfügung, können diese nacheinander oder auch gleichzeitig befragt werden. Die Schritte, um ein erfolgreiches Interview zu führen, sind in Abbildung 2-11 angeführt (vgl. [GER19, S.1]).



Abbildung 2-11: Etappen eines Expertengesprächs [GER19, S. 1]

Wie in vielen anderen Bereichen ist auch bei einem Interview eine gute Vorbereitung bereits die halbe Miete. Zum einen müssen im Vorfeld die Themen genau definiert werden. Dabei werden je nach Bedarf auch konkrete Fragen vorbereitet. Zum anderen ist die Wahl des Interviewpartners im Unternehmen entscheidend. Je nachdem welches Themengebiet behandelt wird, sind unterschiedliche Ansprechpartner zu wählen, bei denen grundsätzlich in folgende Kategorien eingeteilt werden kann:

- Führungskräfte und Entscheidungsträger, die einen wesentlichen Einfluss auf die tatsächliche Umsetzung von Projekten haben.
- Fachexperten, die mit ihrem Wissen und Know-how zur Lösung beitragen können.
- Endnutzer, deren Arbeit bei der Umsetzung eines infrage kommenden Projekts unmittelbar betroffen ist.

Sind Themengebiete sowie Interviewpartner festgelegt, kann das eigentliche Interview durchgeführt werden. Hier kann wiederum zwischen zwei Arten unterschieden werden:

- Bei strukturierten Interviews wird der Gesprächsablauf bereits im Vorfeld festgelegt. Auch konkrete Fragen für das gesamte Interview werden im Vorhinein definiert.
- Unstrukturierte Interviews haben nur das Thema und gegebenenfalls Einstiegsfragen vorgegeben. Weitere Fragen ergeben sich dann flexibel anhand der Antworten.

Eine weitere Unterscheidung von Interviews kann anhand der verwendeten Fragetypen getroffen werden:

- Offene Fragen ermöglichen dem Interviewpartner, sich nach Belieben zu äußern. Die große Menge an erhaltenen Informationen erhöht jedoch den Aufwand für die anschließende Auswertung.

- Geschlossene Fragen bieten nur eine engbegrenzte Anzahl von Antwortmöglichkeiten wie zum Beispiel „Ja“ und „Nein“. Hinsichtlich der Auswertung der Antworten ist hier ein geringerer Zeitaufwand erforderlich.
- Halbgeschlossene Fragen bieten eine größere Anzahl an Antwortmöglichkeiten an.

Um in einem Interview verwertbare Informationen zu erhalten, muss anhand der genannten Punkte die richtige Strategie gewählt werden. Dabei muss auf das Unternehmen, von dem Informationen beschafft werden sollen, individuell eingegangen werden. Setzt man, wie in Abbildung 2-12 auf der linken Seite dargestellt, auf eine strukturierte Vorgehensweise mit festgelegten Fragen, können womöglich nicht alle wichtigen Aspekte erfasst werden. In diesem Fall würde man vom PI als fixiertes Ziel ausgehen und auf dieser theoretischen Basis aufbauen. Werden auch noch geschlossene Fragen verwendet, kann beispielsweise die tatsächliche Ausgangssituation des Unternehmens nicht richtig erfasst werden. In diesem Fall würde man ein Projekt anhand einer theoretisch festgelegten Ausgangssituation planen, die nicht den realen Umständen entspricht. Ebenfalls kann es durch diese Herangehensweise passieren, dass zum Beispiel rein technische Aspekte zu sehr in den Vordergrund gestellt und wirtschaftliche Aspekte vernachlässigt werden.

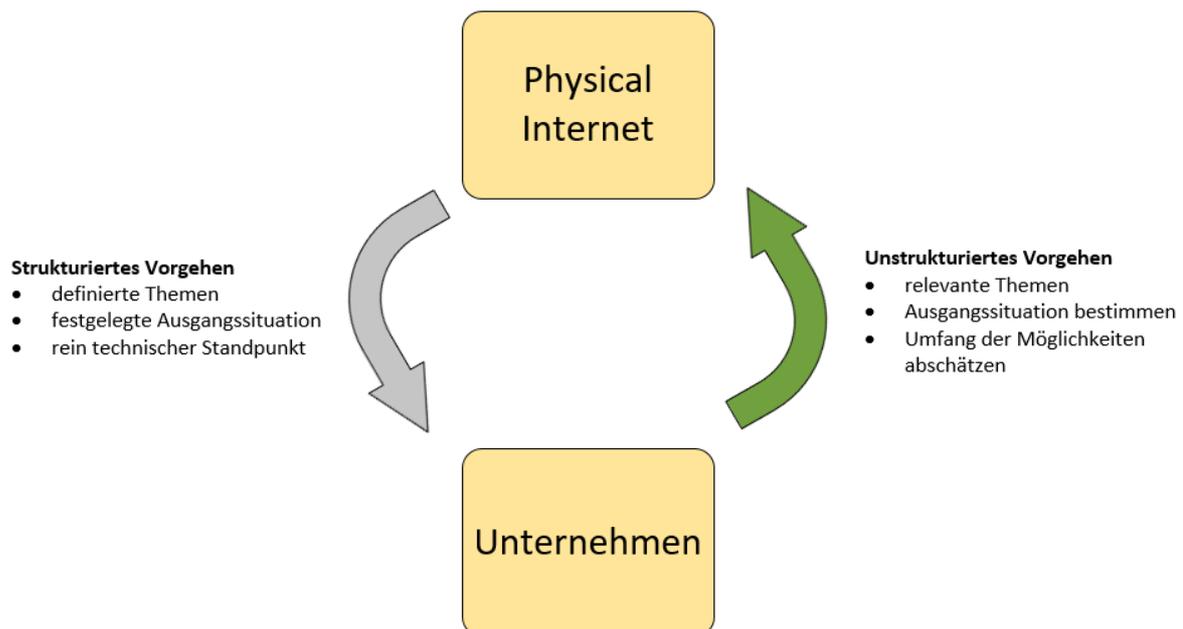


Abbildung 2-12: Vorgehen bei Expertengesprächen

Eine effizientere Vorgehensweise, um verwertbare Informationen zu erhalten, verspricht die in Abbildung 2-12 dargestellte rechte Seite. In diesem Fall wird das Augenmerk auf das Unternehmen selbst gelegt. Durch ein unstrukturiertes Interview können oft schon zu Beginn relevante Themen aufgeworfen werden, die durch ein strukturiertes Vorgehen womöglich überhaupt nicht angesprochen werden. Dabei dürfen auch wirtschaftliche Aspekte nicht vernachlässigt werden. So ist es nicht sinnvoll, Themen hinsichtlich der technischen Umsetzung ausführlich

zu behandeln, wenn die wirtschaftliche Umsetzung von vornherein nicht möglich ist.

Die Nachbereitung umfasst alle an das Interview anschließende Tätigkeiten. Darunter fällt zum Beispiel die Auswertung der Antworten. Auch während des Interviews gemachte Notizen können hier in Form gebracht werden.

2.6.3 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse wird häufig dann zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Technologien eingesetzt, wenn eine exakte Kosten- und Nutzenbewertung kaum möglich oder nur mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Während die Kosten für Anschaffung und Betrieb meist ausreichend genau ermittelt werden können, verhält es sich beim Nutzen schon nicht mehr so einfach. Nutzeneffekte nehmen nämlich nicht nur direkten Einfluss auf Prozesse oder Geschäftsbereiche, sondern können auch indirekt wirken. Als indirekter Nutzeneffekt kann beispielsweise die Steigerung der Kundenzufriedenheit genannt werden, die quantitativ schwer zu erfassen ist. Diese nicht-monetär bewertbaren Aspekte werden häufig mit Hilfe einer Nutzwertanalyse (siehe Abbildung 2-13) abgebildet (vgl. [SGH10, S.30 ff]). Die notwendigen Schritte, um eine Nutzwertanalyse durchzuführen, sind (vgl. [KUN14, S. 5 ff]):

1. Organisation des Arbeitsumfelds: Zu Beginn muss vor allem der Teilnehmerkreis festgelegt werden. Hinsichtlich der Anzahl sollte dieser in der Regel fünf bis zehn Personen umfassen. Der stabil bleibende Personenkreis soll aus keinen Vertretern, sondern Personen mit Verfügungsmacht bestehen. Unterschiede in der Hierarchie der Teilnehmer wirken sich in der Regel nicht nachteilig aus. Dieser erste Schritt soll jedoch nicht als isolierter Prozess betrachtet werden. Fachexpertise kann auch von Personen, die nicht Teil des Teams sind, kommen.
2. Benennung des Entscheidungsproblems: Die Nutzwertanalyse kann für zwei Arten von Entscheidungsproblemen eingesetzt werden:
 - Erstens kann damit die Wahl zwischen einer gewissen Anzahl an Alternativen getroffen werden. Für eine sinnvolle Bewertung sollen dabei zwei bis fünf Alternativen betrachtet werden.
 - Zweitens kann eine vorgegebene Menge von Alternativen sortiert und somit priorisiert werden.
3. Auswahl der Entscheidungsalternativen: In diesem Schritt werden alle nennenswerten Alternativen ausgewählt. Kriterien bzw. Schwellwerte, die gewisse Alternativen von vornherein ausschließen, sind dabei genau zu dokumentieren.

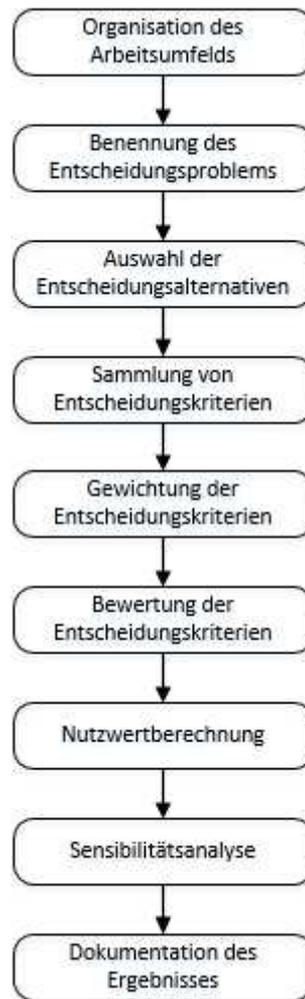


Abbildung 2-13: Vorgehen bei der Nutzwertanalyse
[KUN14, S. 6]

4. Sammlung von Entscheidungskriterien: Hier muss ein Katalog mit Entscheidungskriterien festgelegt werden, der das Entscheidungsproblem bestmöglich beschreibt. Die Kriterien müssen das Problem vollständig umfassen. Diese müssen auch bewertbar sein, was Wissen über den fachlichen Hintergrund voraussetzt.
5. Gewichtung der Entscheidungskriterien: Die Gewichte legen die Bedeutung der einzelnen Kriterien für die Entscheidung bzw. Rangfolgenbildung fest. Die Summe aller Gewichtungen ergibt 100 %. Für die Festlegung der Gewichtung gibt es wiederum mehrere Vorgehensweisen, auf die hier nicht näher eingegangen wird.
6. Bewertung der Entscheidungskriterien: Für die Bewertung der Kriterien ist zunächst eine Skala notwendig.
7. Nutzwertberechnung: Für diese werden die festgelegten Kriterienwerte mit den Gewichten multipliziert. Die Summe der Einzelwerte ergibt den Nutzwert der bewerteten Technologie.

8. Sensibilitätsanalyse: Grundsätzlich variiert man Gewichte und Kriterienbewertungen, um herauszufinden, ob sich dadurch Nutzwert und Präferenzordnung der Handlungsalternativen ändern. Diese ist jedoch nur empfehlenswert, wenn davon ausgegangen werden muss, dass die Urteile der Teilnehmer stark von der Dynamik der Diskussion mit anderen beeinflusst wurde.
9. Dokumentation des Ergebnisses: Diese kann in einer beliebigen Form wie zum Beispiel einer Präsentation erfolgen.

2.6.4 Szenarienbildung

Nach der Bewertung der betrachteten Technologien mittels Nutzwertanalyse werden diese in Szenarien eingebettet. Dies ermöglicht theoretisch komplex erscheinende Technologien anschaulich darzustellen. Ziel ist es betrachtete Technologien hinsichtlich der Anwendung verstehen zu können. Durch Betrachtung einer gleichen Szenerie für verschiedenen Technologien, können diese sehr anschaulich verglichen werden. Szenarien sollen hier vor allem Unterschiede wie den Aufwand für die Implementierung der Technologien verdeutlichen.

3 Entwicklung von Maßnahmen und Vorgehensweisen

Nachdem in Kapitel 2 die verschiedenen Aufgaben der Intralogistik sowie aktuell angewandte Technologien zur produktbezogenen Datenerfassung und zur Identifikation von Waren beschrieben wurden, stellt Kapitel 3 Lösungsansätze dar, mit denen man sich ausgehend von der gegenwärtigen Situation dem PI annähern kann. Betrachtet werden Technologien, die für das Generieren notwendiger Daten sowie für die Identifikation von Objekten eingesetzt werden können.

3.1 Definition von Anforderungen und notwendiger Informationen

Nachdem sowohl die Zieldefinition als auch die Situation in aktuellen Hubs dargestellt wurde, müssen nun, wie in Abbildung 3-1 dargestellt, Wege zum Erreichen des definierten Ziels gefunden werden.

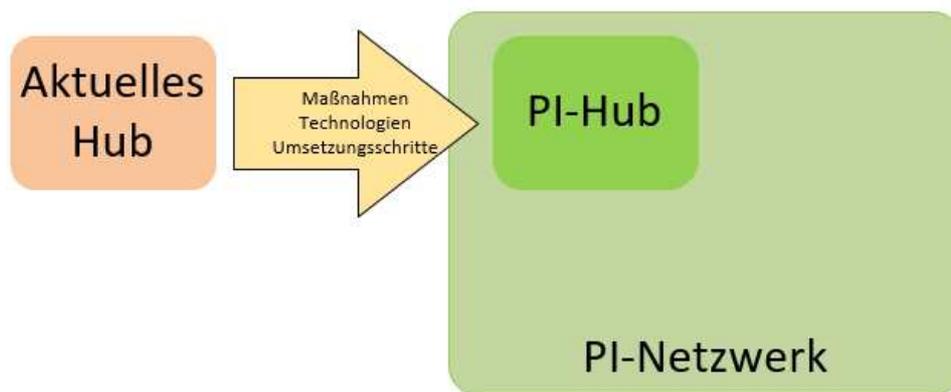


Abbildung 3-1: Umsetzungsschema vom konventionellen Hub zum PI-Hub

Bevor technologische Maßnahmen zur Datenerfassung sowie zur Identifikation von Objekten betrachtet werden, müssen die an aktuelle Hubs gestellten Anforderungen definiert werden. Für wirtschaftliche PI-Umsetzungsschritte müssen diese sowohl Effizienzsteigerung von Prozessen in aktuellen Hubs als auch Anforderungen des PI-Hubs vereinen. Hinsichtlich der Effizienzsteigerung aktueller Prozesse in Hubs muss darauf eingegangen werden, welche Potentiale sich Unternehmen erwarten. Der Prozess zur Ermittlung der gewählten Kennzahlen ist in Abbildung 3-2 schematisch dargestellt.

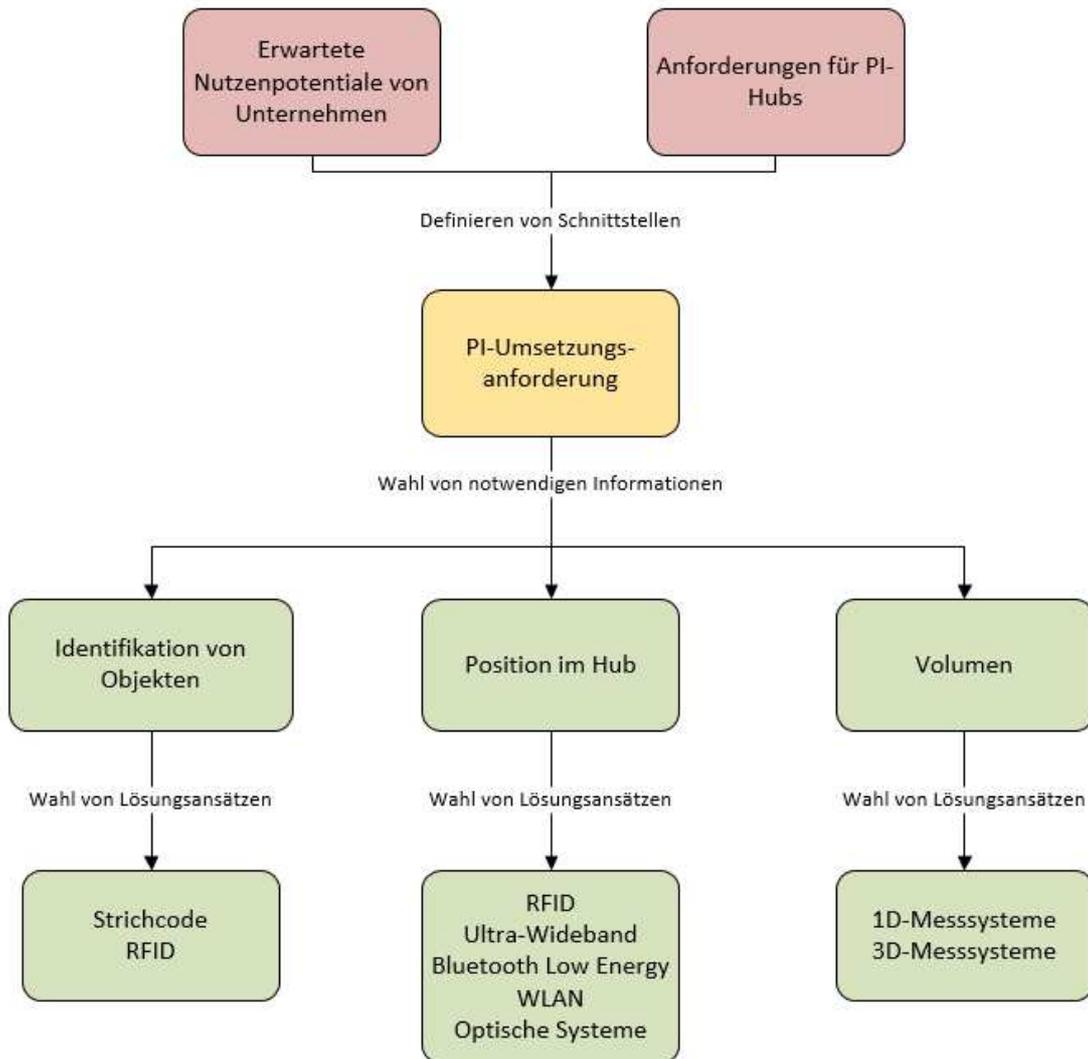


Abbildung 3-2: Schema zur Ermittlung von Lösungsansätzen

Aus Umfragen und Arbeiten, die sich mit dem Einsatz verschiedener neuer Technologien in der Praxis befassen, können entsprechend erwartete Nutzenpotentiale definiert werden (vgl. [RIC13, S. 101]):

- Prozessbeschleunigung
- Reduktion von Prozessfehlern
- Steigerung der Lieferzuverlässigkeit
- gesteigerte (Prozess-)Transparenz
- effizienteres Lagermanagement
- geringere Lagerbestände
- Qualitätssicherung
- höhere Verfügbarkeit
- Vermeidung von Leerbeständen
- Vermeidung von Schwund

Hinsichtlich des PI seien hier Anforderungen an Handling- und Lagersysteme für PI-Container sowie für PI-Hubs im Allgemeinen betrachtet (vgl. [BMM14, S. 77], [MON11, S. 76]):

- Minimierung der Durchlaufzeit von PI-Containern in PI-Hubs
- Handhabung von PI-Containern verschiedener Größen
- Schnelles Ein- und Auslagern
- Interaktion von PI-Containern mit Fahrzeugen und Handling-Systemen
- Sicherstellen und Überwachen der Unversehrtheit von PI-Containern
- Eindeutige Identifizierung von PI-Containern
- Sicherheit der PI-Container
- Ständige Dokumentation von Leistung und Kapazitäten

Nun müssen Anforderungen definiert werden, die eine Schnittstelle der beiden genannten Anforderungsbereiche bilden. Diese werden hier als PI-Umsetzungsanforderungen definiert:

- Schnelles und eindeutiges Identifizieren von Waren
- Effizientes Routing innerhalb des Hubs
- Effiziente Nutzung von Lager- und Transportvolumina
- Hohe Verfügbarkeit des Hubs
- Sicheres Handling der Waren, um Schäden zu vermeiden
- Transparente Planungs- und Organisationsabläufe
- Effiziente Kommunikationssysteme

Zieht man das schnelle und eindeutige Identifizieren von Waren heran, ist dadurch beispielsweise das erwartete Nutzenpotential hinsichtlich Prozessbeschleunigung gegeben. So benötigt ein durchschnittlicher Staplerfahrer rund 20 Prozent seiner Arbeitszeit mit dem Abscannen von Strichcodes (vgl. [IND18]). Innovative Technologien, die diesen Arbeitsschritt ohne Zeitverzögerung durchführen können, haben also eine entsprechend hohe Wirkung. Bezieht man sich auf die PI-Anforderungen, ist die Identifizierung von Objekten ebenfalls eine wichtige Anforderung. Ebenso können mit den weiteren PI-Umsetzungsanordnungen Teile der erwarteten Nutzenpotentiale von Unternehmen als auch der PI-Anforderungen abgedeckt werden. Um den Umfang dieser Arbeit zu begrenzen, werden folgende Punkte weiter betrachtet:

- Schnelles und eindeutiges Identifizieren von Waren
- Effizientes Routing innerhalb des Hubs
- Effiziente Nutzung von Lager- und Transportvolumina

Der nächste Schritt behandelt notwendige Informationen, die für die PI-Umsetzungsschritte notwendig sind. In der folgenden Aufzählung werden den betrachteten PI-Umsetzungsanforderungen die jeweils notwendigen Informationen, deren Erfassung für die zugehörigen PI-Umsetzungsschritte notwendig ist, zugeordnet:

- Schnelles und eindeutiges Identifizieren von Waren → Identifikation von Objekten
- Effiziente Nutzung von Lager- und Transportvolumina → Warenvolumen

- Effizientes Routing innerhalb des Hubs → Position von Objekten

Nachdem die notwendigen Informationen definiert sind, müssen noch Lösungsansätze gewählt werden, die grundsätzlich für die Erfassung der notwendigen Informationen in Betracht gezogen werden können. Dabei werden Technologien und Systeme gewählt, die bereits am Markt erhältlich sind. So kann grundsätzlich von einer zuverlässigen Funktion ausgegangen werden. Auch Standardisierungen sind bei bewährten Lösungsansätzen meist mehr oder weniger umfangreich vorhanden. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass die Implementierung in allen bzw. den meisten aktuellen Hubs möglich ist. Das setzt voraus, dass Lösungsansätze eigenständig funktionieren und keinen hohen Automatisierungsgrad voraussetzen. Um wirklich relevante Technologien und Systeme betrachten zu können, fließen in die getroffene Wahl besonders Informationen aus Expertengesprächen ein. Die gewählten Lösungsansätze sind in folgender Aufzählung angeführt:

- Identifikation von Objekten
 - Strichcode
 - RFID
- Warenvolumen
 - 1D-Messsysteme
 - 3D-Messsysteme
- Position von Objekten
 - RFID
 - Ultra-Wideband
 - Bluetooth Low Energy
 - WLAN
 - Optische Systeme

Die Liste der gewählten Technologien und Systeme kann mit Sicherheit noch erweitert werden, was jedoch den Umfang dieser Arbeit übersteigt.

3.2 Identifikation von Objekten

Nachdem die Strichcode-Technologie bereits in Kapitel 2.3.2 erläutert wurde, werden hier Möglichkeiten für den Einsatz von RFID-Technologie betrachtet.

3.2.1 RFID-Technologie

Die RFID-Identifikation ist ein automatisches Identifikationsverfahren. Durch den Einsatz von Funkwellen im Radiofrequenzbereich speichert oder liest es mittels elektromagnetischer Kopplung eines Lesegerätes und eines mobilen Datenträgers Informationen dieses Datenträgers aus (vgl. [GDX18, S.6]). Ein typisches RFID-System, wie in Abbildung 3-3 dargestellt, besteht aus den folgenden Komponenten (vgl. [FM05, S.70]):

- RFID-Transponder: Angebracht am zu identifizierenden Objekt
- Lesegerät (Reader): Enthält Transceiver und Recorder zur Regelung der Kommunikationsschnittstelle
- Rechner: Verarbeitung der Daten

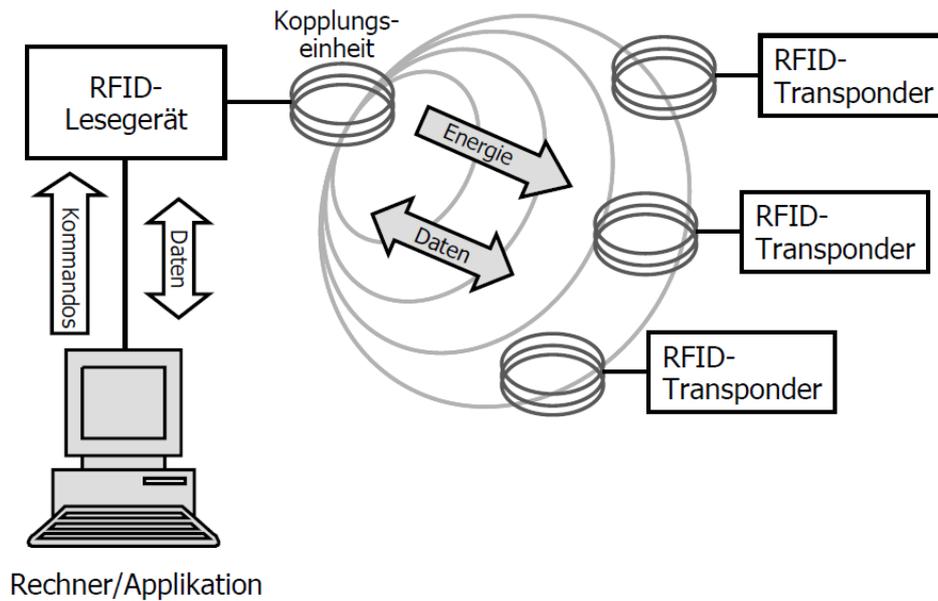


Abbildung 3-3: Komponenten eines RFID- Systems [FM5]

Der Transponder ist elektronisch programmierbar und enthält die Daten, die zur eindeutigen Identifikation eines Objektes dienen. Er besteht aus einer Kopplungseinheit und einem Mikrochip als Informationsträger. Als Kopplungseinheit dienen entweder eine Spule oder eine Antenne. Der Transponder ist zum Beispiel in Kunststoff eingebettet und dadurch resistent gegen Verschmutzung und mechanische Beschädigungen. Alternative Ausführungen werden in Kapitel 3.2.2 beschrieben. Unterschieden wird bei den Transpondern hinsichtlich der Energieversorgung (vgl. [MAR14, S.511]):

- Passive RFID-Transponder werden vom Feld des Lesegerätes gespeist.
- Semi-aktive Transponder besitzen eine interne Batterie zur Versorgung des Mikrochips. Die Feldenergie des Lesegerätes wird zum Senden der Daten benutzt.
- Aktive RFID-Transponder besitzen eine Batterie für den Mikrochip und zum Senden der Daten.

Tabelle 3-1: Eigenschaften von Transpondern mit unterschiedlicher Energieversorgung [MEL06, S.10]

Merkmale/System	Passiv	Semi-aktiv	Aktiv
Lesedistanz	<i>gering</i>	<i>gering</i>	<i>groß</i>
Lesezuverlässigkeit	<i>hoch</i>	<i>sehr hoch</i>	<i>sehr hoch</i>
Lebensdauer	<i>lang</i>	<i>mittel</i>	<i>kurz</i>
Speicherkapazität	<i>gering</i>	<i>hoch</i>	<i>hoch</i>
Baufom	<i>klein</i>	<i>mittel</i>	<i>groß</i>
Sensorik	<i>nicht möglich</i>	<i>möglich</i>	<i>möglich</i>
Kosten	<i>gering</i>	<i>mittel</i>	<i>hoch</i>

Tabelle 3-1 listet die Eigenschaften der verschiedenen RFID-Systeme hinsichtlich verwendeter Transponder auf. Der wesentliche Unterschied in der Anwendung der verschiedenen Systeme liegt vor allem in der Reichweite. Semi-aktive Transponder weisen Reichweiten von bis zu 15 m und aktive Transponder von bis zu 150 m auf. Nachteil dieser Systeme ist vor allem der regelmäßig notwendige Tausch der Batterien. Dies würde bei einer großen Anzahl eingesetzter Tags einen enormen Aufwand an Zeit und Personal bedeuten. Sofern RFID-Systeme schon in der Intralogistik eingesetzt werden, haben sich passive Systeme durchgesetzt. Damit werden Lesereichweiten von 1 bis 5 Metern erreicht, wobei mit Hochfrequenz (HF) bis 1,5 Meter und mit Ultrahochfrequenz bis 5 Meter gelesen werden kann (vgl. [FM05, S. 78]).

Hinsichtlich der Datenhaltung kann die RFID-Technologie in zwei Konzepte unterteilt werden (vgl. [FAU09, S.102]):

- „Data on Tag“ sieht die Speicherung aller notwendigen Daten direkt auf dem Transponder vor.
- „Data on Network“ hinterlegt produktbezogene Daten in einer Datenbank. Auf den Transpondern werden eindeutige Identifikationsnummern gespeichert, durch die auf den zugehörigen Datensatz zugegriffen wird.

Auf Grund der niedrigen Anforderungen wird für die meisten Anwendungen „Data on Network“ eingesetzt. Gerade in der Logistik, die eine sehr große Anzahl an Transpondern innerhalb eines Netzwerks fordert, ist dieser Ansatz zielführend. Außerdem wurden bereits standardisierte Nummernsysteme wie der Electronic Product Code (EPC) für dieses Konzept entwickelt (vgl. [FAU09, S. 102 ff]). Alle RFID-Systeme, die im Laufe dieser Arbeit behandelt werden, basieren auf dem „Data on Network“-Grundsatz.

Tabelle 3-2: Eigenschaften von RFID-Systemen in Abhängigkeit von der Arbeitsfrequenz [GFX18, S.18]

		125 kHz (LF)	13,56 MHz (HF)	868 MHz (passiv / aktiv) (UHF)	2,45 GHz (passiv / aktiv) (MW / SHF)
Physik	Kopplung	Induktiv (Nahfeld)	Induktiv (Nahfeld)	Elektromagnetisch (Fernfeld)	Elektromagnetisch (Fernfeld)
	Einfluss von Flüssigkeiten	Niedrig	Niedrig	Mittel/Hoch	Sehr Hoch
	Praktische max. Reichweite [m]	0,2	1,5	10/100	3/300
Vorgaben	Datenübertragungsraten	Niedrig	Hoch	Sehr Hoch	Sehr Hoch
	Pulkfähigkeit	Nein	Ja	Ja/Ja	Nein/Ja
	Standardisierung	Hoch	Hoch	Mittel→Hoch	Niedrig

Ein weiteres Unterscheidungskriterium für die RFID-Systeme bietet die Arbeitsfrequenz. Die Eigenschaften der einzelnen Systeme sind in Tabelle 3-2 zusammengefasst.

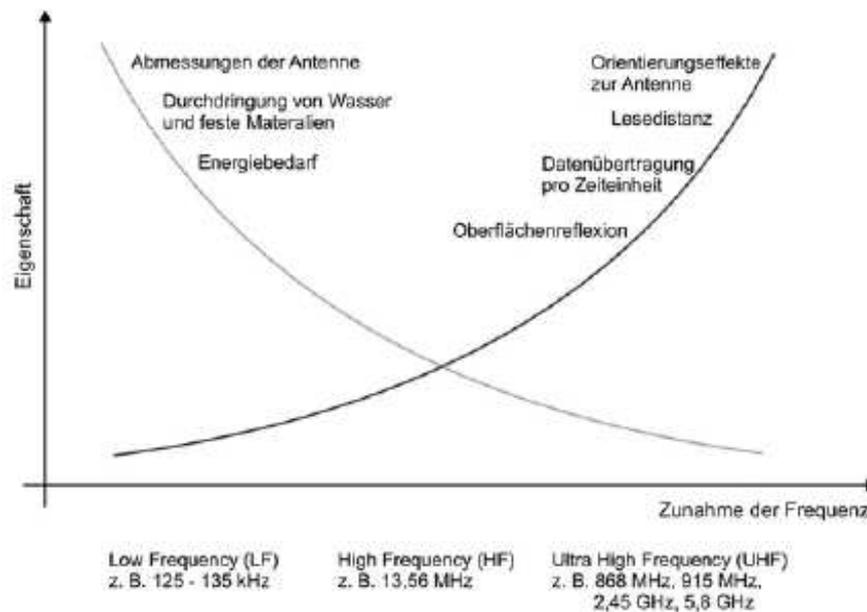


Abbildung 3-4: Frequenzbereiche und relevante Eigenschaften für RFID
[MEL06, S. 41]

Abbildung 3-4 zeigt, dass auch die verwendeten Frequenzen die Eigenschaften bzw. die Nutzungsmöglichkeiten eines RFID-Systems wesentlich beeinflussen können. Mit steigender Frequenz nimmt beispielsweise auch die Durchdringung von Flüssigkeiten ab. Dies wird auch durch den in Kapitel 4.5 beschriebenen Versuch zur Pulkerfassung mit HF und UHF bestätigt. Da die UHF-Technologie jedoch unter anderem entscheidende Vorteile bei der Lesedistanz oder dem notwendigen Energiebedarf aufweist, ist diese für Anwendungen in der Intralogistik sehr gut geeignet.

3.2.2 RFID-Transponderbauart und Nummernsysteme

Gerade bei der Einführung von RFID-Systemen bzw. bei Pilotprojekten muss für die Verwendung herkömmlicher RFID-Transponder, die in Gehäusen verbaut sind, oft ein nennenswerter Aufwand betrieben werden. Soll der Betrieb mit konventionellen LHM durchgeführt werden, müssen zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, um die Transponder zu befestigen. Da von der Position des Transponders auch die Lesbarkeit im Pulk abhängig ist, kann diese am LHM nicht frei gewählt werden. Auf die Transponderlesbarkeit im Pulk wird in Kapitel 4.2.3 genauer eingegangen. Eine günstige Alternative zu Transpondern, die in einem Gehäuse verbaut sind, bietet das in Abbildung 3-5 abgebildete RFID-Label.



Abbildung 3-5: RFID-Label [ZEB19]

Dieses besteht aus einem herkömmlichen bedruckten Label, hinter dem ein RFID-Transponder angebracht ist. Die Verarbeitung dieser Smart-Labels unterscheidet sich kaum von der Verarbeitung konventioneller Labels. Lediglich das Beschreiben des Transponders mit den entsprechenden Daten stellt einen zusätzlichen Arbeitsschritt dar.

Neben den Transpondern selbst sind auch entsprechende Nummernsysteme zur Identifikation notwendig. Um die durchgehende Verfolgung und Datenerfassung von Transportgütern zu gewährleisten, ist es notwendig, hierfür gewisse Standards festzulegen und diese auch in der gesamten Lieferkette einzuhalten. Zur Gewährleistung dieses Ziels wurden bereits von verschiedenen Organisationen Nummernsysteme zur Identifikation von Objekten eingeführt. Neben branchenspezifischen Vereinigungen wie dem VDA hat sich vor allem Global Standards One (GS1) am internationalen Markt etabliert. GS1 vergibt international genormte Nummern zur eindeutigen Identifikation von Produkten, Behältern, Lokalitäten und anderen relevanten Objekten (vgl. [GS118]).

Diese bestehenden Nummernsysteme können auch für das PI zum Einsatz kommen. Die bezüglich des Transponderspeichers auf einem Behälter günstigste Methode, um auf Produktdaten zuzugreifen, ist die Speicherung einer einzelnen Nummer. Über diese kann im PI-Hypersystem auf die entsprechenden Datensätze zugegriffen werden. Beispiele hierfür sind (vgl. [GS118]):

- Die Global Trade Item Number (GTIN), auch European Article Number (EAN) genannt, ermöglicht die weltweite Identifikation von Artikeln und Dienstleistungen.
- Die Global Location Number (GLN) dient der eindeutigen Kennzeichnung von Unternehmen und Betrieben bzw. Betriebsstellen.
- Der Global Returnable Asset Identifier (GRAI) ermöglicht die Identifikation von Mehrweg-Ladehilfsmitteln und Transportbehältern.

Werden elektronische Speichermedien wie RFID-Tags verwendet, kommen wie bei analogen Datenträgern ebenfalls die von GS1 definierten Codes zum Einsatz. Diese werden jedoch in Form des Electronic Product Codes (EPC) gespeichert. Der

EPC ist ein Identifikationsschema für die universelle und eindeutige Identifikation physischer Objekte. Dazu enthält der EPC im Gegensatz zu den verwendeten Nummern auf Strichcodes neben einer Hersteller- und Produktnummer auch eine eindeutige Seriennummer. Der EPC besteht aus den vier Punkten (vgl. [RIC13, S. 51]):

- Der Header definiert das EPC-Format (64-Bit, 96-Bit, 256-Bit).
- Der EPC Manager gibt Unternehmen oder die Organisation an, die Nummern der nachfolgenden Felder verwaltet.
- Die Object Class dient der Definition des Objekttyps.
- Die Serial Number ermöglicht die eindeutige Identifikation eines Objekts.

Die oben genannten Nummern wie GTIN oder GLN stellen Teilmengen des EPC dar und können in diesen eingebettet werden. Es sind bisher drei Grundversionen des EPC entwickelt worden. Die 64-Bit lange Version spart durch seine geringe Länge Speicherplatz, was den Einsatz kostengünstigerer Tags erlaubt. Die nächste Version des EPC hat eine Länge von 96-Bit. Die letzte Ausbaustufe kann ein 256-Bit langer EPC sein, wobei nach aktuellen Untersuchungen derzeit kein dringender Bedarf für den EPC-256 besteht, da der EPC-96 für heutige Verhältnisse schon genug Spielraum bietet. In Zusammenhang mit den verschiedenen Versionen des EPC ist zu erwähnen, dass alle miteinander kompatibel sind (vgl. [IDE18]).

3.3 Ermittlung von Volumendaten

In der Darstellung der aktuellen Situation mittelständischer Spediteure im Kapitel 2.4 wurde bereits erwähnt, dass diese hinsichtlich der produktbezogenen Daten von den Warenversendern abhängig sind. PI-Transportdaten wie Zielvorgaben oder Zollinformationen können nicht selbst generiert werden, wodurch auf die Korrektheit der erhaltenen Daten vertraut werden muss. Anders sieht es bei physikalischen Daten wie dem Volumen von zu transportierenden Waren aus. Für den Fall, dass diese gar nicht oder nicht ausreichend genau vom Versender übermittelt werden, werden hier Möglichkeiten aufgezeigt, diese direkt in einem Hub zu ermitteln.

Zur Volumenerfassung von Waren stehen verschiedene optische Messmethoden zur Verfügung. Grundsätzlich kann man folgende Ansätze, um schlussendlich verwertbare Volumendaten zu erhalten, unterscheiden:

- 3D-Systeme, die das Volumen sowie die Kontur von Objekten direkt erfassen.
- 1D-Systeme, die Längen einzeln erfassen und daraus Volumendaten berechnen.

Obwohl 3D-Scanner neben den Abmessungen je nach Ausführung auch genaue Konturen ermitteln können, weisen sie auch entscheidende Nachteile auf. Die

Scanvorgänge sind meist zeitaufwändig und können bei normaler Geschwindigkeit von Stetigförderern nicht durchgeführt werden. Für quaderförmige Objekte sind Geschwindigkeiten von maximal 0,2 m/s möglich. Konturmessende Systeme sind meist nur bei stehenden Objekten möglich. Je nachdem wie die Scanner angeordnet sind, müssen auch Mindestabstände eingehalten werden. In der Regel betragen diese 30 bis 50 cm zwischen zwei zu vermessenden Objekten. Durch die Vorgabe der Positionen von einer oder mehreren verwendeten 3D-Scannern sind konstruktiv meist nur wenige möglich (vgl. [IFM19]).

1D-Messsysteme, die aus einzelnen Lichtschranken oder aus Lichtvorhängen bestehen, können hingegen ohne Verringerung der Fördergeschwindigkeit und bei dicht aufeinanderfolgenden Objekten eingesetzt werden. Lichtvorhänge bestehen grundsätzlich aus mehreren Einweglichtschranken, die wie in Abbildung 3-6 angeordnet sind. Die Länge einer Dimension wird anhand der Anzahl der durch das Objekt unterbrochenen Lichtschranken bestimmt. Die Genauigkeit ist dabei von der Anzahl bzw. vom Abstand der Lichtschranken im Lichtvorhang abhängig, was wiederum Auswirkungen auf die Kosten der verwendeten Komponenten hat (vgl. [DIE18]).

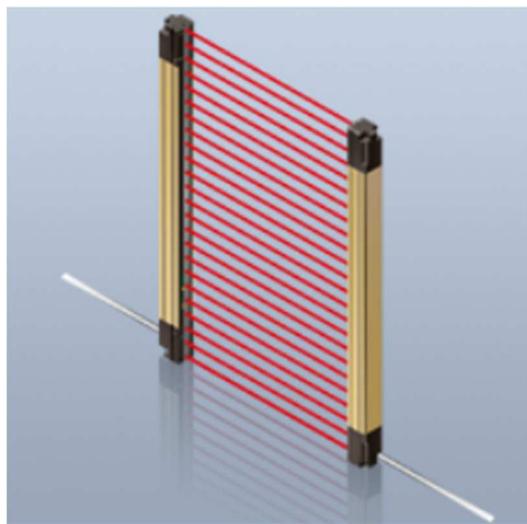


Abbildung 3-6: Optoelektronischer Lichtvorhang [DIE18]

Bei Verwendung von Lichtvorhängen sind für die Erfassung des Volumens zwei Lichtvorhänge notwendig. Abbildung 3-7 zeigt eine mögliche Anordnung zur Messung des Querschnitts. Die dritte Dimension kann ebenfalls mittels Lichtgitter oder auch über die Durchlaufzeit berechnet werden (vgl. [DUO19]).

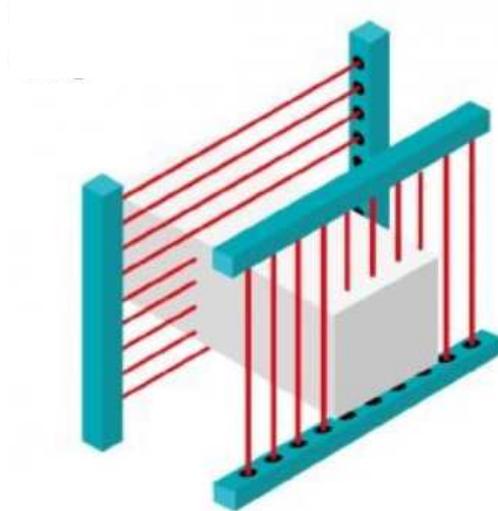


Abbildung 3-7: Lichtgitteranordnung zur Volumenmessung [DUO19]

Unabhängig davon, ob 1D- oder 3D-Systeme verwendet werden, ist die Montage von optischen Messsystemen sowohl an neuen als auch an bereits bestehenden Stetigförderanlagen möglich. Je nach Anwendung bestehen aber auch gewisse Einschränkungen. Erfolgt die Breitenmessung mit einem Lichtvorhang, dessen Strahlen vertikal verlaufen, so ist zu beachten, dass der untere Teil des Lichtvorhangs unter der Förderebene montiert werden muss, jedoch keine Bauteile des Förderers die Sichtverbindung zwischen den Balken behindern darf. Bei Neuanlagen kann dies mit der Teilung des Förderers an entsprechender Stelle gewährleistet werden. Die Nachrüstung einer bestehenden durchgängigen Förderstrecke mit dieser Variante ist dadurch nur schwer möglich.

Für eben solche Fälle der Nachrüstung besteht jedoch die Möglichkeit, einen Lichtvorhang durch andere Komponenten zu ersetzen. So ist die Messung einzelner Dimensionen auch mit optischen Abstandssensoren möglich. Diese sind, wie in Abbildung 3-8 dargestellt wird, sehr kompakt ausgeführt, was hinsichtlich der Montage und Positionierung viel Spielraum lässt. Am Markt erhältliche Systeme können dabei Distanzen von ca. 50 mm bis zu mehreren Metern messen. Abstandssensoren, die in einem Bereich bis 500 mm arbeiten, weisen beispielsweise

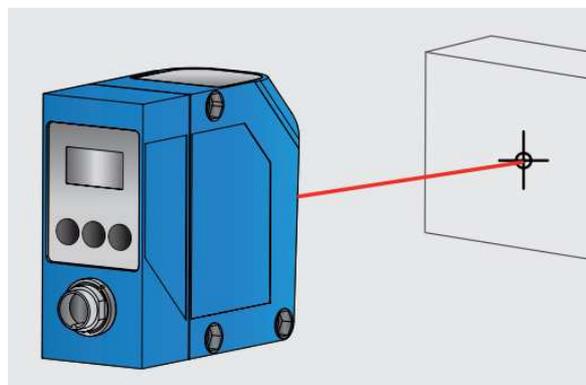


Abbildung 3-8: Optischer Distanzsensor [BIB19]

eine maximale Abweichung von 4 % auf (vgl. [LEU19]). Diese Genauigkeit ist für Anwendungen hinsichtlich Warenvermessung ausreichend (vgl. [WEN18]). Bei Verwendung eines einzelnen Distanzsensors ist jedoch ein physikalischer Nullpunkt notwendig. D. h. zu vermessende Objekte müssen während dem Messvorgang an einen Anschlag geführt werden, was hinsichtlich des Handlings einen Mehraufwand bedeutet.

In Messportalen zur Volumenmessung können auch zusätzliche Funktionen wie Reader für Strichcodes oder RFID-Transponder integriert werden.

3.4 Technologien zur Positionsbestimmung

Die Positionsbestimmung von verschiedenen Objekten wie Transportfahrzeugen oder von Waren ist ein essenzieller Bestandteil von Ein- und Auslagervorgängen. Erst wenn die Positionen von diesen bekannt sind, können interne Abläufe gezielt und effizient abgewickelt werden. Die Information über die Position eines Objekts kann somit als ebenso wertvoll wie das Volumen angesehen werden. Hier wird auf zeitgemäße Realisierungsansätze für die Positionsbestimmung von Objekten innerhalb eines Hubs eingegangen.

RFID

Die Positionsbestimmung mittels RFID erfolgt grundsätzlich nicht über die Bestimmung der Koordinaten eines Objekts. Stattdessen wird ermittelt, ob das Objekt einen festgelegten Wegpunkt passiert hat. Werden RFID-Transponder im Boden platziert, können diese von Fahrzeugen, die mit dem notwendigen Lesegerät ausgestattet sind, beim Überfahren ausgelesen werden. Die Waren werden somit über die Bewegung des Fahrzeugs verfolgt, wodurch die aktuelle Position bestimmt werden kann (vgl. [RK19]). Diese Technologie kann grundsätzlich problemlos für alle Fahrzeuge, die in einem Lager für das Warenhandling zuständig sind, angewendet werden. Abbildung 3-9 stellt die Nachrüstung eines Gabelstaplers dar.

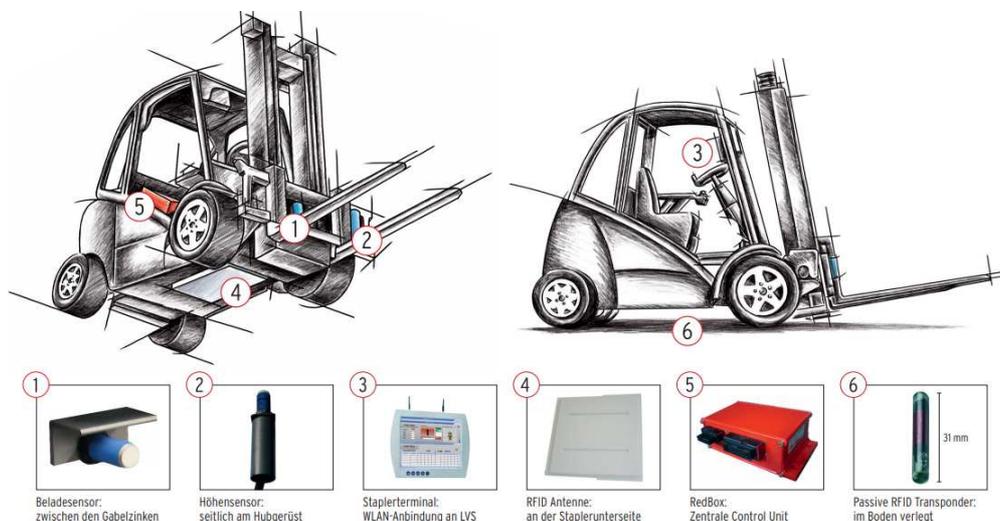


Abbildung 3-9: Ausstattung eines Gabelstaplers für ein RFID-Ortungssystem

Neben den Transpondern im Boden sind keine weiteren Kennzeichnungen von Waren oder Lagerplätzen notwendig. Durch zusätzliche Sensorik am Gabelstapler kann durch Erfassung der Hubhöhe auch zwischen Regelebenen unterschieden werden (vgl. [IND18]). Dem Fahrer können durch das System jederzeit die benötigten Daten angezeigt werden. Wenn bereits Geräte wie Smartphones oder Tablets eingesetzt werden, können auch diese dafür verwendet werden. Abbildung 3-10 zeigt hingegen einen Gabelstapler, der mit einem eigenen Bildschirm ausgestattet wurde. Diese Möglichkeiten, Informationen für Fahrer von Gabelstaplern oder anderen Fahrzeugen zugänglich zu machen, können auch für die im weiteren Verlauf dieser Arbeit betrachteten Systeme zur Positionserfassung eingesetzt werden.



Abbildung 3-10: Nachgerüsteter Gabelstapler [7ID19]

Bluetooth Low Energy

Eine weite Möglichkeit zur Positionsbestimmung stellt der Einsatz von Bluetooth Low Energy (BLE)-Technologie dar. Durch Anbringen von mehreren Sendern (Beacons) kann ein beinahe beliebig großes Areal abgedeckt werden bzw. eine höhere Genauigkeit erreicht werden. Als Empfangsgeräte dienen in der Regel Tablets bzw. Smartphones, da heutige Industriegeräte größtenteils mit BLE-Empfängern ausgestattet sind. Sobald diese die Signale von zwei oder mehreren Beacons empfangen, kann die Position bestimmt werden. Je nach vorhandener Positionierungsdichte der Beacons wird eine Genauigkeit von rund einem Meter erreicht. Mit entsprechender Anordnung der BLE-Beacons erlaubt die Technologie auch dreidimensionale Ortung, wodurch beispielsweise die Bestimmung des Stockwerks, in dem sich ein Empfangsgerät befindet, möglich wird. Den relativ günstigen Beacons (3-30€) ([INF18]) stehen jedoch die hohen Kosten für ein Empfangsgerät gegenüber. Aus diesem Grund eignet sich diese Ortungsmethode vor allem für Objekte, die das Areal nicht verlassen und auch für die Aufenthaltsbestimmung von Personen (vgl. [ECO18]).

Die zusätzliche Integration von RFID erlaubt genaueres und punktuelles Lokalisieren von Objekten sowie deren Identifizierung. So kann, wie in Abbildung 3-11

skizziert ist, ein Gabelstapler mit einem smarten Modul ausgestattet werden, das Signale von BLE oder ähnlichen Technologien empfangen kann. Dieses ist auch in der Lage, RFID-Tags auf den zu manipulierenden Waren oder Ladehilfsmittel auszulesen (vgl. [INF18]).

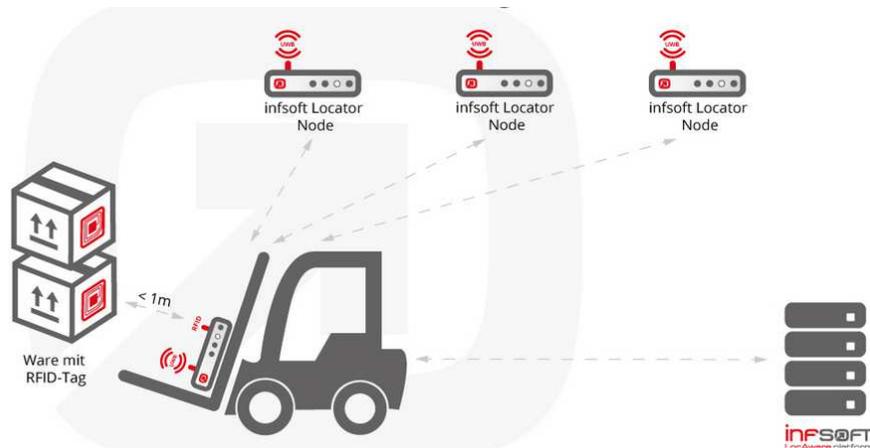


Abbildung 3-11: Kombination von BLE- und RFID- Technologie [INF18]

Ultra-Wideband

Die Nahbereichs-Funktechnik Ultra-Wideband (UWB) stellt eine weiter innovative Technologie in diesem Bereich dar. Im Gegensatz zu Bluetooth Low Energy und WLAN basiert die Positionsbestimmung nicht auf der Messung von Signalstärken, sondern auf einem Laufzeitverfahren. Dabei wird die Lichtlaufzeit zwischen einem Objekt und mehreren Empfängern (Anchors) gemessen. Für die genaue Lokalisierung eines Objektes sind mindestens 3 Empfänger nötig (Trilateration), außerdem müssen direkte Sichtverbindungen zwischen Empfänger und Sender bestehen (vgl. [INF18]).

UWB arbeitet mit einer niedrigen Sendeleistung (0,5 mW), um bereits belegte Frequenzbereiche nicht zu stören. Der Frequenzbereich von Ultra-Wideband liegt zwischen 3,1 und 10,6 GHz. Ultra-Wideband kann beispielsweise Verbindungen zwischen Computern und verschiedenen Geräten wie Druckern und Bildschirmen herstellen, aber auch Audio- und Videodaten übertragen. In diesen Funktionen ähnelt es Bluetooth bzw. WLAN. Dank seiner Robustheit gegenüber Interferenzen und der hohen Datenrate (110 kbit/s – 6,8 Mbit/s) ist es auch für die ultra-präzise Indoor-Positionsbestimmung geeignet (vgl. [ULT18]). Die erreichbare Genauigkeit beträgt 10-30 cm (vgl. [IND18]).

WLAN

Weiter sei hier die WLAN-Ortung erwähnt. Diese kann in den meisten Fällen nur in elektromagnetisch sterilen Umgebungen wie beispielsweise in Krankenhäusern oder öffentlichen Gebäuden erfolgreich Anwendung finden. Für typische Industrieumgebungen ist die WLAN-Ortung aufgrund der oft wechselnden metallischen Umgebung und den dadurch hervorgerufenen Reflexionen nicht gut geeignet (vgl. [SOL19]). Zusätzlich liegt die Genauigkeit bei rund 5 bis 15 Metern, was

im Vergleich zu den anderen hier betrachteten Technologien sehr ungenau ist. Um die Positioniergenauigkeit zu erhöhen, sind auch hier kombinierte Anwendungen, die auf RFID oder ähnlichen Systemen basieren, notwendig (vgl. [INF18]). Da die WLAN-Ortung als eigenständiges System zu ungenau ist, wird es im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht mehr betrachtet.

Visuelle Positioniersysteme

Die visuelle Positionsbestimmung beruht auf computergestützter Auswertung von Kamerabildern. Dabei kommen passiv optisch bildgebende Verfahren zum Einsatz. Einer der größten Vorteile entsprechender Systeme ist die Unabhängigkeit von zusätzlicher Infrastruktur. Dadurch können diese Systeme in nahezu jeder beliebigen Umgebung eingesetzt werden.

Visuelle Navigationsansätze lassen sich grundsätzlich in zwei Ansatzweisen gruppieren (vgl. [INT19]):

- Kartenbasierte Ansätze bestimmen die eigenen Koordinaten im Bezug auf einen vorhandenen Lageplan. Dabei gibt es die Möglichkeit, bestehende Karten zu nutzen oder diese erst bei der Navigation zu erstellen und ständig zu aktualisieren.
- Kartenlose Ansätze kommen hingegen ohne umfassende Darstellung der Umgebung aus. Vorrangig wird damit die inkrementelle Positionsbestimmung umgesetzt. Dabei wird die aktuelle Position laufend relativ zur vorausgegangenen Position ermittelt. Im Vergleich zu kartenbasierten Ansätzen ist dieser weniger rechenaufwändig.

Obwohl die Forschung im Bereich der visuellen Positionsbestimmung stark vorangetrieben wird und auch große Fortschritte erzielt werden konnten, ist in vielen potentiellen Einsatzbereichen eine rein visuelle Navigation in Echtzeit noch nicht möglich. Ein großes Problem stellen vor allem schlechte bzw. wechselnde Beleuchtung dar (vgl. [INT19]). Aus diesem Grund wird die visuelle Positionsbestimmung hier als zu ungenau betrachtet und nicht weiter betrachtet.

4 Methodik der Vorgehensweise

In diesem Kapitel wird eine mögliche technische Umsetzung eines PI-Hubs betrachtet. Die in Kapitel 3 angeführten Technologien werden hier hinsichtlich der Einsetzbarkeit im PI-Hub bewertet. Diese werden anschließend in Szenarien, die jeweils einen Ausschnitt des PI-Hubs abbilden, dargestellt.

4.1 Konzepterstellung eines Road PI-Hubs

Zunächst wird hier das PI-Hub, das als Zieldefinition gesehen werden kann, genauer definiert. Das PI-Hub kann als physikalische Plattform gesehen werden, auf die die einzelnen Teilnehmer des PI zugreifen können. Reine Sharing-Systeme sind teilweise auch heute schon am Markt verfügbar. Im Bereich der Logistikinfrastruktur ist hier das sogenannte Multi-User Warehouse relevant. Dabei stehen Gebäude mehreren Nutzern zur Verfügung. Wie der Name schon sagt, begrenzt sich die Nutzung meist auf das Lagern von Waren. Dabei geht es oft nicht um das reguläre Tagesgeschäft, sondern um das Überbrücken von kurz- und mittelfristigen Engpässen hinsichtlich der eigenen Lagerkapazität. Innovative Konzepte, um den Umschlag in Multi-User Warehouses effizienter zu gestalten, sind grundsätzlich nicht angedacht (vgl. [KAN19, S. 4]).

Die Einbindung vieler unterschiedlicher Nutzer stellen ebenfalls für das PI-Hub eine Herausforderung dar. Jedoch geht dessen Funktion weit über das Teilen einfacher Lagerhallen zum Warenumschlag und für kurzfristige Lagertätigkeiten hinaus. Das PI-Hub stellt ein sehr effizientes System dar, das auf einem hohen Automatisierungsgrad basiert. Neben dem Handling physikalischer Waren ist vor allem der Umgang mit den zugehörigen Daten eine wesentliche Aufgabe. Dabei muss auch gewährleistet werden, dass alle Teilnehmer auf für sie notwendige Informationen und Daten zugreifen können (vgl. [BMM14, S. 40]). Das im Zuge dieser Arbeit entwickelte, verallgemeinerte Layout eines PI-Hubs ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Es handelt sich dabei um ein Road PI-Hub, das nur Anschluss an das Straßennetz hat. Hinsichtlich der Größe werden in diesem PI-Container der Kategorien S und M bearbeitet. Die Kategorie L, für deren Umschlag Lastenkräne oder ähnliche Handlingsysteme notwendig sind, wird hier nicht abgebildet. Dabei wurde das hier dargestellte Layout vor allem auf die Anforderungen von mittelständischen Spediteuren zugeschnitten.

Hinsichtlich der warenbezogenen Datenerfassung fallen dem PI-Hub keine Aufgaben zu. Notwendige Daten werden bereits beim Versender erfasst und in eine Datenbank eingespeist. Systeme im PI-Hub können auf benötigte Daten durch die ausgelesenen Identifikationsnummern der Transponder zugreifen.

Der Prozess, den die Waren im PI-Hub durchlaufen, beginnt mit der automatischen Entladung, sobald ein LKW oder eine WAB am Wareneingang ankommt. Dies kann je nach verwendetem Entladesystem als Komplettentladung oder mit autonomen Flurförderzeugen erfolgen, wird in dieser Arbeit jedoch nicht genauer betrachtet. Parallel und somit ohne zusätzlichen Zeitaufwand erfolgt die Lesung von Transpondern, die an den verschiedenen LHM angebracht sind, mittels Readern, die in Portalen installiert sind.

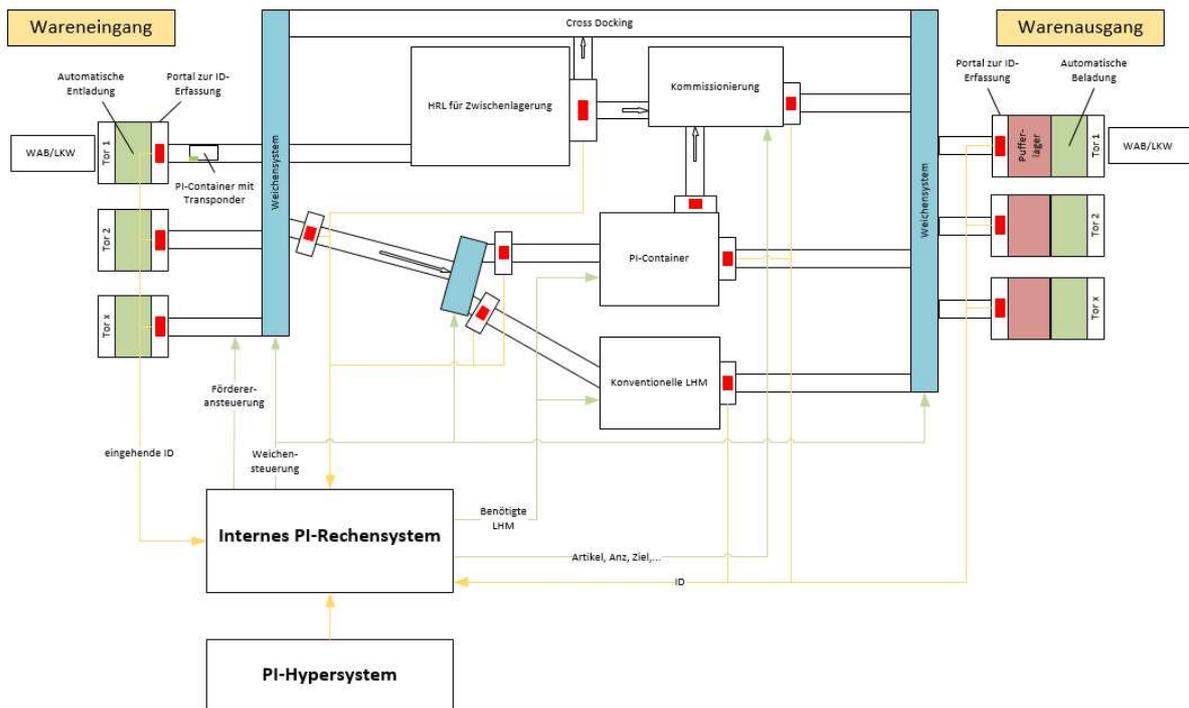


Abbildung 4-1: Darstellung der internen Prozesse im PI-Hub mit eingehendem und ausgehendem Datentransfer

Für die erfolgreiche Umsetzung von PI-Hubs wird im Bereich der LHM entscheidend sein, dass neben PI-Containern auch konventionelle LHM wie Europaletten weiterhin bearbeitet werden können. So ist es möglich, dass einzelne Unternehmen im PI-Netzwerk bereits PI-Container mit integrierten Mehrwegtranspondern verwenden, andere jedoch noch Europaletten oder sonstige konventionelle LHM mit Transpondern. Hinsichtlich der verwendeten LHM kann also gesagt werden, dass unterschiedliche Arten verarbeitet werden können, diese jedoch alle über entsprechende Identifikationstechnologie verfügen müssen. Der Warentransport selbst ist hier mit fest installierten Förderstrecken dargestellt. Je nach Anforderungen bzw. benötigter Kapazität ist der interne Transport auch mit autonomen Flurförderzeugen möglich. Um fehlgeleitete Packstücke ehestmöglich zu erkennen, wird an jeder Weiche oder Abzweigung der Förderstrecke ein Portal installiert. So kann auf Fehler im Routing sofort reagiert werden, wodurch Lieferverzögerungen oder sogar Fehllieferungen vermieden werden können.

Steht für den Weitertransport einer Sendung bereits ein LKW zur Verfügung, werden entsprechende Waren direkt zum Warenausgang geschleust. Dort werden diese nach einer abschließenden Erfassung der Transponder in den LKW verladen. Ist dieser noch nicht direkt am zugewiesenen Tor, kann die zusammengestellte Ladung kurzfristig in einem Pufferlager zwischengelagert werden.

Erfolgt der Weitertransport nicht sofort, sondern erst mehrere Stunden oder auch einen Tag später, werden ankommende Waren in einem automatischen Hochregallager (HRL) zwischengelagert. Ist keine Neukommissionierung notwendig, werden die entsprechenden Waren bei Bedarf in Richtung Warenausgang transportiert. Andernfalls bildet die Kommissionierung die nächste Station in der Transportkette. Sind neue LHM nötig, können auch diese aus dem entsprechen-

den Lager direkt in die Kommissionierung transportiert werden. Die fertig beladenen PI-Container oder konventionelle LHM werden wiederum zum Warenausgang transportiert.

Kommen leere LHM im Wareneingang an, werden auch diese entsprechend eingelagert. Die Lagerbereiche für LHM sind separat ausgeführt, da diese unterschiedliche Aufgaben erfüllen müssen. Während konventionelle LHM nur gelagert werden müssen, sind für die PI-Container weitere Funktionen notwendig. Ausgehend von modularen Behältern, die auch platzsparend zerlegt werden können, müssen dafür entsprechende Einrichtungen vorgesehen werden (vgl. [MOD18]). Der Einlagerprozess von PI-Containern besteht demnach aus Zerlegen und Einlagern. Dementsprechend folgt beim Auslagerprozess dem Auslagern das Zusammenbauen des PI-Containers.

Der hohe Automatisierungsgrad der PI-Hubs stellt auch entsprechend hohe Anforderung hinsichtlich der Datenverarbeitung. Diese koordinative Aufgabe übernimmt das interne PI-Rechensystem. Für dieses ergeben sich folgende Aufgaben:

- Verarbeiten der eingehenden Portaldata
- Lokale Zielvorgabe für ein- und ausgehende Waren sowie leere LHM:
 - Ansteuern der Weichen bei Stetigförderern
 - Ansteuern der Stetigförderer (Betrieb der Förderer nach Bedarf)
 - Ansteuerungen von Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF)
- Senden der jeweiligen ID zu den Portalen, um den korrekten Warenfluss zu kontrollieren
- Korrekturmaßnahmen bei Fehltransporten
- Torzuweisung der LKW- Fahrer mittels Handy-App
- Daten an RFID-Drucker senden
- Kommissioniervorgänge koordinieren

All diese Aufgaben setzen voraus, dass Informationen zu den eingehenden Waren, sobald diese im PI-Hub ankommen, zur Verfügung stehen. Dies wird durch eine ständige Echtzeitverbindung mit dem PI-Hypersystem (vgl. [PRO18]) sichergestellt.

Das PI-Hypersystem stellt das Herzstück des PI dar und sorgt für die Verwaltung und Verteilung der Daten im gesamten Netzwerk. Zu diesen zählen in erster Linie:

- Globale Zielvorgabe
- Verwaltung und Vergabe der ID
- Zusammenstellung der LKW- Ladungen
- LHM für zukünftige Transporte abschätzen und adressieren
- Transportaufträge vergeben
- Notwendige Neukommissionierungen
- Ermittlung von Abhol- und Ankunftszeiten am Ziel

4.2 PI-Tauglichkeit der identifizierten Technologien zur Identifikation von Objekten

Neben dem Vergleich von RFID- und optischen Systemen zur Identifikation von Objekten werden hier verschiedene RFID-Systeme miteinander verglichen. Die Bewertung erfolgt mit Hilfe der Nutzwertanalyse

4.2.1 Bewertung von RFID-Technologie und optischen Systemen

Um die in Kapitel 3.1 definierten Anforderungen hinsichtlich der Identifikation bei PI-Umsetzungsschritten zu erfüllen, werden hier die Identifikation mittels Strichcode (beschrieben in Kapitel 2.3.2) sowie die RFID-Technologie (beschreiben in Kapitel 3.2.1) miteinander verglichen. Dazu werden, wie in Tabelle 4-1 aufgelistet, die Bewertungskriterien festgelegt. Diese basieren auf Dokumentationen von durchgeführten RFID-Projekten (vgl. [SGH10, S.30 ff]) und sind an die für PI-Umsetzungsschritte notwendigen Anforderungen angepasst. D. h. Kriterien wie die Investitionskosten oder der Anpassungsaufwand sind bereits für herkömmliche Projekte herangezogen worden. Hinzugefügt wurde zum Beispiel die Pulkerfassung, die im PI-Hub eine wichtige Rolle darstellt. Dies wird auch durch die Gewichtung der einzelnen Kriterien deutlich. Die Pulkerfassung hat mit der höchsten Gewichtung auch den größten Einfluss auf das Ergebnis dieser Nutzwertanalyse.

Tabelle 4-1: Definition der Kriterien mit Gewichtung

Kriterium	Gewichtung in %
1. Investitionskosten	15
2. Anpassungsaufwand	2,5
3. Benutzerfreundlichkeit/Arbeitsschutz	5
4. Datensicherheit	5
5. Beständigkeit gegen Störeinflüsse	10
6. Pulkerfassung	20
7. Lebensdauer	5
8. Speicherkapazität	5
9. Objektgeschwindigkeit	10
10. Standardisierung	5
11. Lesegenauigkeit	10
12. Kommunikationsreichweite	7,5
Summe der Gewichtungsprozente	100

Sind die zu berücksichtigenden Kriterien sowie deren Gewichtung festgelegt, erfolgt eine Punktebewertung. Dieser liegt ein Wertesystem von 0 bis 5 zugrunde, wobei 5 die beste und 0 die schlechteste Bewertung darstellt. Die ausgeführte Beurteilung der einzelnen Kriterien sowie die Nutzwertberechnung ist Tabelle 4-2 zu entnehmen.

Tabelle 4-2: Beispielhafte Punktebewertung

Kriterium	Gewichtung in %	Strichcode		RFID	
		Beurt.	Wert	Beurt.	Wert
1. Investitionskosten	15	4	0,6	2	0,3
2. Anpassungsaufwand	2,5	5	0,125	2	0,05
3. Benutzerfreundlichkeit/Arbeitsschutz	5	5	0,25	3	0,15
4. Datensicherheit	5	5	0,25	3	0,15
5. Beständigkeit gegen Störeinflüsse	10	5	0,5	2	0,2
6. Pulkerfassung	20	0	0	5	1
7. Lebensdauer	5	3	0,15	5	0,25
8. Speicherfähigkeit	5	1	0,05	3	0,15
9. Objektgeschwindigkeit	10	1	0,1	4	0,4
10. Standardisierung	5	5	0,25	2	0,1
11. Lesegenauigkeit	10	3	0,3	5	0,5
12. Kommunikationsreichweite	7,5	1	0,075	4	0,3
Summe der Gewichtungsprozente	100		2,65		3,55

Mit einem Wert von 3,55 weist RFID einen wesentlich höheren Nutzwert als der Strichcode auf und ist somit bei PI-Umsetzungsschritten vorzuziehen. Die Betrachtung bezieht sich dabei auf den aktuellen Stand von Strichcode- und RFID-Systemen. Die Umsetzung des PI umfasst jedoch nicht nur ein einzelnes Projekt, sondern einen fortlaufenden Prozess, der durch die Lösung von Aufgabenstellungen in Projektform gegliedert werden kann. Für nachfolgende kann die Entwicklung von Technologien, deren Nutzwert untersucht werden soll, nennenswert fortgeschritten sein. Dadurch kann sich auch die Bewertung der jeweiligen Technologie entsprechend verändern. Bei gleichbleibender Gewichtung der einzelnen Kriterien wird dabei von einer allgemeinen Weiterentwicklung der RFID-Technologie ausgegangen. So können beispielsweise die Investitionskosten für Transponder durch höhere produzierte Stückzahlen, wie in Abbildung 4-2 dargestellt, sinken.

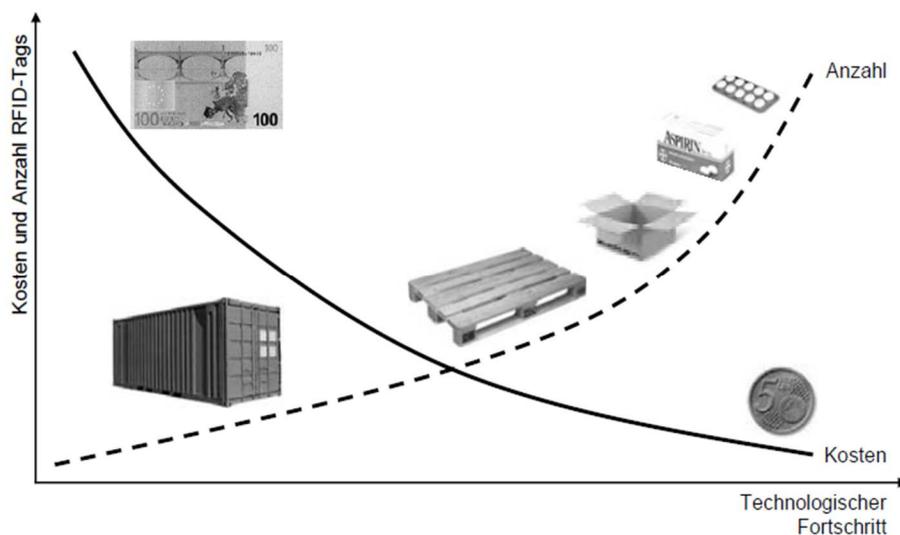


Abbildung 4-2: Kostenentwicklung von RFID-Tags [FLE, S.14]

Das Kriterium Investitionskosten erfährt dadurch eine bessere Bewertung. Ein anderer Punkt, der in Zukunft Entwicklungspotential aufweist, ist die Standardisierung. Tabelle 4-3 zeigt eine abermalige Bewertung von Strichcode und RFID unter Annahme einer Weiterentwicklung der RFID-Technologie. Alle farblich hinterlegten Werte wurden um 1 erhöht.

Tabelle 4-3: Punktebewertung unter Berücksichtigung von RFID-Weiterentwicklungen

Kriterium	Gewichtung in %	Strichcode		RFID	
		Beurt.	Wert	Beurt.	Wert
1. Investitionskosten	20	4	0,8	3	0,6
2. Anpassungsaufwand	2,5	5	0,125	2	0,05
3. Benutzerfreundlichkeit/Arbeitsschutz	5	5	0,25	4	0,2
4. Datensicherheit	0	5	0	3	0
5. Beständigkeit gegen Störeinflüsse	12,5	5	0,625	3	0,375
6. Pulkerfassung	20	0	0	5	1
7. Lebensdauer	5	3	0,15	5	0,25
8. Speicherfähigkeit	0	1	0	3	0
9. Objektgeschwindigkeit	10	1	0,1	4	0,4
10. Standardisierung	5	5	0,25	3	0,15
11. Lesegenauigkeit	10	3	0,3	5	0,5
12. Kommunikationsreichweite	10	1	0,1	4	0,4
Summe der Gewichtungsprozente	100		2,7		3,925

Das Ergebnis aus dieser Bewertung zeigt, dass RFID durch entsprechende Weiterentwicklungen noch attraktiver für die Umsetzung von automatischer Identifikation wird. Diese Möglichkeit muss auch für Technologien betrachtet werden, deren Nutzwert aktuell noch zu keiner Umsetzung führen würde. D.h. in Erwägung gezogene Technologien, die bei einer ersten Bewertung laut Nutzwertanalyse nicht gut für das PI geeignet sind, können einige Zeit später durchaus Bewertungen erhalten, die eine Umsetzung nahelegen. Dazu müssen jedoch immer der aktuelle Fortschritt bzw. die Weiterentwicklung von in Frage kommenden Technologien im Auge behalten werden.

4.2.2 Bewertung verschiedener RFID-Systeme zur Identifikation von Objekten

Die RFID-Technologie zeichnet sich durch ihre vielseitige Anwendbarkeit aus. Dies beruht auch auf den verschiedenen Arten von Transpondern, die für unterschiedliche Anwendungen eingesetzt werden können. Deren Eigenschaften wurden bereits in Kapitel 3.2.3 beschrieben. Die hier durchgeführte Nutzwertanalyse zeigt, welches dieser Systeme am besten für die Identifikation von Objekten geeignet ist.

Tabelle 4-4: Definition der Kriterien mit Gewichtung

Kriterium	Gewichtung in %
1. Investitionskosten	25
2. Lebensdauer	20
3. Speicherkapazität	5
4. Bauform	10
5. Sensorik	0
6. Datensicherheit	5
7. Lesegenauigkeit	25
8. Kommunikationsreichweite	10
Summe der Gewichtungsprozente	100

Bei der Gewichtung in Tabelle 4-4 gehen Lesezuverlässigkeit und Kosten mit den größten Werten in die Bewertung ein. Einerseits ist eine geringe Fehlerrate eines der wichtigsten Kriterien, andererseits sind die Transponderkosten bei einer sehr hohen Anzahl an auszustattenden Objekten ein entscheidender Punkt für die Wirtschaftlichkeit eines Projekts oder Umsetzungsschritts. Ebenso relativ hoch gewichtet ist die Lebensdauer der Transponder, da der Wechsel von Batterien zusätzlichen Aufwand und damit verbundene Kosten während des Betriebs bedeutet. Einen geringen Einfluss hat hingegen die Speicherkapazität. Dies beruht auf der Annahme, dass ein „Data on Network“-System verwendet wird. Der notwendige Speicherplatz dafür ist grundsätzlich bei allen Alternativen ausreichend vorhanden.

Nicht gewichtet wird in dieser Betrachtung die Möglichkeit, Sensorik zu integrieren. Für die Bewertung der Identifikation ist dies auch nicht notwendig. Die Möglichkeit Sensorik zu integrieren, wird dennoch angegeben. Wird in einer fortgeschrittenen Phase der PI-Umsetzung neben der Identifizierung und Lokalisierung von PI-Containern auch die Umgebungsüberwachung erforderlich, kann diese durch Änderung der Gewichtungen berücksichtigt werden.

Die festgelegte Gewichtung sowie die Bewertung der einzelnen Alternativen sind in Tabelle 4-5 zu sehen. Das Ergebnis dieser Nutzwertanalyse zeigt eindeutig, dass passive Transponder für die Ausstattung von LHM am besten geeignet sind.

Tabelle 4-5: Bewertung von RFID-Transpondern

Kriterium	Gewichtung in %	passiv		semi-aktiv		aktiv	
		Beurt.	Wert	Beurt.	Wert	Beurt.	Wert
1. Investitionskosten	25	4	1	2	0,5	1	0,25
2. Lebensdauer	20	5	1	3	0,6	1	0,2
3. Speicherkapazität	5	2	0,1	4	0,2	4	0,2
4. Bauform	10	5	0,5	3	0,3	2	0,2
5. Sensorik	0	0	0	5	0	5	0
6. Datensicherheit	5	5	0,25	4	0,2	3	0,15
7. Lesegenauigkeit	25	4	1	5	1,25	5	1,25
8. Kommunikationsreichweite	10	2	0,2	2	0,2	4	0,4
Summe der Gewichtungsprozente	100		4,05		3,25		2,65

Tabelle 4-6 veranschaulicht die Funktion der Nutzwertanalyse bei wesentlichen Änderungen der Gewichtung. Dazu soll kurz der über diese Arbeit hinausgehende Fall betrachtet werden, in dem Sensorik in den PI-Containern notwendig ist. Da die Batterien von aktiven bzw. semi-aktiven Transpondern auch für die Sensorik genutzt werden können, erhalten diese eine wesentlich höhere Bewertung.

Tabelle 4-6: Bewertung von RFID-Transpondern bei notwendiger Sensorik

Kriterium	Gewichtung in %	passiv		semi-aktiv		aktiv	
		Beurt.	Wert	Beurt.	Wert	Beurt.	Wert
1. Investitionskosten	20	4	0,8	2	0,4	1	0,2
3. Lebensdauer	15	5	0,75	3	0,45	1	0,15
4. Speicherkapazität	5	2	0,1	4	0,2	4	0,2
5. Bauform	10	5	0,5	3	0,3	2	0,2
6. Sensorik	15	0	0	4	0,6	5	0,75
8. Datensicherheit	5	5	0,25	4	0,2	3	0,15
2. Lesegenauigkeit	20	4	0,8	5	1	5	1
8. Kommunikationsreichweite	10	2	0,2	2	0,2	4	0,4
Summe der Gewichtungsprozente	100		3,4		3,35		3,05

Das durch die Nutzwerte erhaltene Ergebnis zeigt, dass hier die anfangs niedrig bewerteten Systeme fast gleichauf mit den passiven Transpondern sind.

4.2.3 Pulkerfassung von RFID-Transpondern

Um die generelle Zuverlässigkeit der Pulkerfassung mittels RFID zu ermitteln, wird hier die Dokumentation einer durchgeführten Versuchsreihe herangezogen. Dieser wurde am RFID-Versuchsstand des Instituts für Fördertechnik und Logistik (IFT) in Stuttgart durchgeführt (vgl. [WSR18]). Dabei wurde die Leseleistung bei Pulkerfassung mit unterschiedlichen Frequenzen untersucht. Konkret wurde ermittelt, wie viel Transponder maximal bei Durchfahrt eines RFID-Portals gelesen werden können.

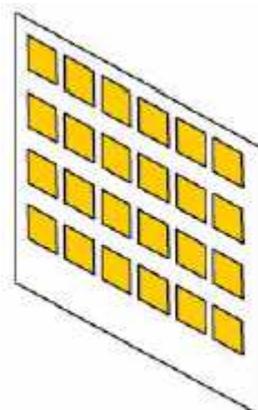


Abbildung 4-3: 2D-Testaufbau [WSR18, S.8]

Der Versuch mit HF wurde zunächst mit einem zweidimensionalen Aufbau wie in Abbildung 4-3 durchgeführt. Rechnerisch wurde eine maximal mögliche Transponderanzahl von 95 ermittelt. Bei den durchgeführten Versuchen wurden 95 Transponder zuverlässig, d. h. zu 99,53 %, erfasst. Bei den restlichen 0,47 % der Lesungen wurden zwischen 91 und 94 Transponder erkannt.

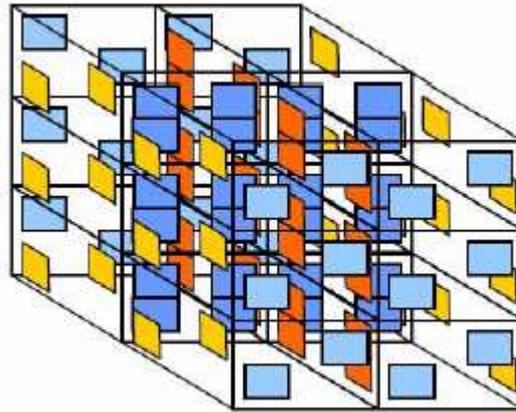


Abbildung 4-4: dreidimensionale Transponderanordnung [WSR18, S. 9]

Nach der zweidimensionalen Anordnung der Transponder im Lesefeld der Antenne wurde geprüft, ob eine dreidimensionale Anordnung Auswirkungen auf die Erkennungsrate der Transponder bei Pulkerfassungen hat. Hierzu werden Kleinladungsträger (KLT) an allen vier Seitenwänden mit Transpondern versehen und zu einer Ladeeinheit zusammengefasst. Insgesamt umfasst die Ladeeinheit zwölf KLT mit je 8 Transpondern, d. h. in Summe 96 Datenträger, wie in Abbildung 4-4 für ein Pulk dargestellt wird. Beim Test der 96 Transponder in räumlicher Anordnung reduziert sich die Anzahl der erfassten Datenträger, wodurch bei lediglich 86,98 % der Lesungen alle Transponder erfasst wurden. Auffällig bei den Testreihen mit räumlicher Transponderanordnung ist, dass die unzuverlässig erfassten Transponder an den Stirnseiten der KLT bzw. an den inneren Längsseiten der KLT zu finden waren. Die an den äußeren Längsseiten der KLT positionierten Datenträger wurden zu 100 % erfasst. Für die Verschlechterung der Erkennungsraten bei Wechsel von der zweidimensionalen Anordnung zum KLT-Versuchsaufbau ist demnach die räumliche Ausrichtung verantwortlich. Gründe hinsichtlich der Lage sind die Ausrichtung der Transponder zum Antennenfeld bzw. der zu kleine Abstand zwischen zwei Transpondern. In beiden Fällen kann die Energiezufuhr zu gering für die Lesung ausfallen. In Abbildung 4-5 sind die optimalen und die am schlechtesten geeigneten Ausrichtungen von Transpondern im Antennenfeld dargestellt.

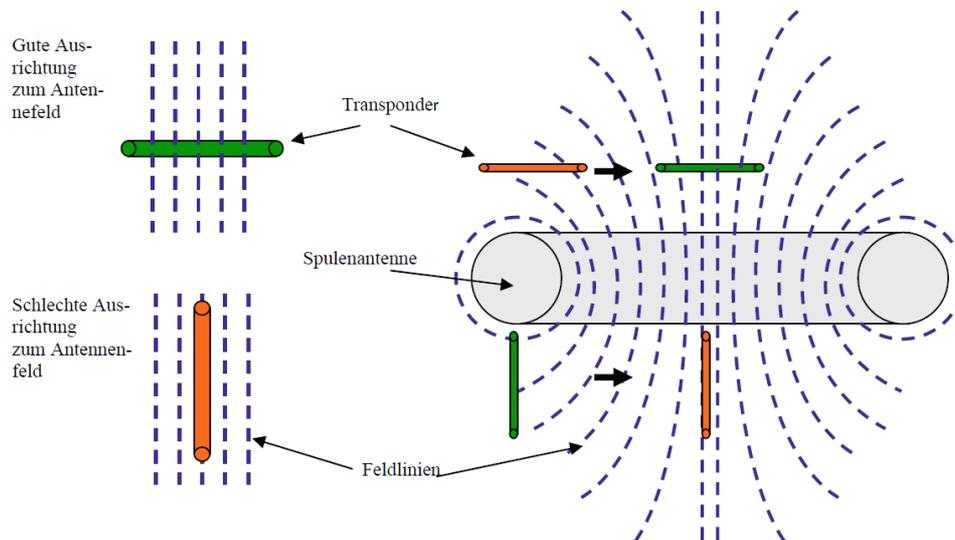


Abbildung 4-5: Ausrichtung der Transponder zu den Feldlinien [WSR18, S. 13]

Somit kann die Lage der Transponder als wesentlicher Parameter für die Leserate bei Pulkerfassung angesehen werden. Für die eindeutige Lesbarkeit aller Behälter in einem Pulk ist daher das Anbringen von einem Transponder je Längsseite ausreichend.

Die gleichen Versuchsreihen wurden mit einem UHF-System durchgeführt. Diese lieferten bei leeren Behältern ebenso hohe Leseraten. Deutliche Unterschiede ergaben sich jedoch bei KLT, die mit Metall- oder Holzteilen bzw. mit Wasser gefüllt wurden. In diesen Fällen ergab sich eine Verringerung der Leseraten von bis zu 20 % gegenüber HF-Systemen. Differenziert man die Transponder jedoch nach ihrer Position innerhalb der Ladeeinheit, wird deutlich, dass die an den äußeren Längsseiten angebrachten Transponder zu 100 % gelesen werden. Diese Werte sind unabhängig von den verwendeten Füllstoffen der Behälter (vgl. [WSR18, S.13]).

Zusammenfassend kann die Pulkerfassung mittels RFID-Technologie als sehr effizientes Datenerfassungssystem gesehen werden. Entscheidend für eine zuverlässige Erkennung der Transponder ist jedoch deren Position auf den Behältern.

4.3 PI-Tauglichkeit der identifizierten Technologien zur Ermittlung von Volumendaten

Die Beurteilung der aktuellen Situation in Hubs hat gezeigt, dass grundsätzlich lediglich über Online-Plattformen erhaltene Daten zur Verfügung stehen. In Tabelle 4-7 wird deren Nutzbarkeit im PI mit der einer internen Datenerfassung verglichen. Als mit Abstand wichtigstes Kriterium ging aus Expertengesprächen die Datenqualität hervor (vgl. [WEN18]). Die Investitionskosten werden vor allem bei Betrachtung kleiner Anlagen wesentlich niedriger gewichtet. Die Beurteilung der Entladezeit bezieht sich auf ein Volumenmesssystem, mit dem die Identifikation der zu vermessenden Waren automatisch und ohne zusätzlichen Aufwand erfolgt. Das Ergebnis zeigt eindeutig, dass eine Volumenerfassung innerhalb des Hubs zu bevorzugen ist.

Tabelle 4-7: Vergleich von Daten aus Online-Portalen und interner Erfassung

Kriterium	Gewichtung in %	Online-Portal		int. Erfassung	
		Beurt.	Wert	Beurt.	Wert
1. Investitionskosten	15	5	0,75	3	0,45
2. Implementierungsaufwand	5	5	0,25	3	0,15
3. Datenqualität	40	1	0,4	5	2
4. Instandhaltungskosten	10	4	0,4	3	0,3
5. Instandhaltungsaufwand	5	4	0,2	3	0,15
6. Personalaufwand für den Betrieb	10	4	0,4	4	0,4
7. Entladezeit	15	3	0,45	5	0,75
Summe der Gewichtungsprozente	100		2,85		4,2

Nachdem der Nutzen einer internen Volumenerfassung im Allgemeinen bewertet wurde, werden in Tabelle 4-8 die zwei grundsätzlichen Methoden zur Volumenerfassung betrachtet. Da beide hinsichtlich Datenqualität mit der höchsten Punktezahl bewertet werden können, sind vor allem die Investitionskosten sowie die maximal mögliche Messgeschwindigkeit ausschlaggebend. Auch hier fällt das Ergebnis, in dem 1D-Systeme favorisiert werden, eindeutig aus.

Tabelle 4-8: Vergleich von 1D- und 3D-Systemen zur Volumenerfassung

Kriterium	Gewichtung in %	1D		3D	
		Beurt.	Wert	Beurt.	Wert
1. Investitionskosten	15	5	0,75	3	0,45
2. Implementierungsaufwand	5	3	0,15	4	0,2
3. Benutzerfreundlichkeit	10	4	0,4	5	0,5
4. Datenqualität	30	5	1,5	5	1,5
5. Messgeschwindigkeit	20	5	1	2	0,4
6. Aufwand für Vereinzeln	10	5	0,4	2	0,2
7. Anpassungsmöglichkeiten	10	5	0,5	1	0,1
Summe der Gewichtungsprozente	100		4,7		3,35

4.4 PI-Tauglichkeit der identifizierten Technologien zur Positionsbestimmung

Die Festlegung von Kriterien und Gewichten hinsichtlich Technologien zur Positionsbestimmung kann ohne konkreten Anwendungsfall nur sehr allgemein gehalten werden. Beispielsweise wird bei der in Tabelle 4-9 durchgeführten Bewertung hinsichtlich der Investitionskosten davon ausgegangen, dass grundsätzlich keine Infrastruktur mit Industrie-Tablets oder ähnlichen Geräten vorhanden ist. Wären entsprechende Ressourcen bereits vorhanden, würde sich dies sehr positiv auf die Beurteilung von BLE hinsichtlich Investitionskosten und Anpassungsaufwand auswirken.

Tabelle 4-9: Punktebewertung von Technologien zur Positionserfassung

Kriterium	Gewichtung in %	RFID		UWB		BLE	
		Beurt.	Wert	Beurt.	Wert	Beurt.	Wert
1. Investitionskosten	20	4	0,8	1	0,2	3	0,6
2. Anpassungsaufwand	5	2	0,1	3	0,15	3	0,15
3. Benutzerfreundlichkeit	10	3	0,3	3	0,3	4	0,4
4. Datensicherheit	5	4	0,2	2	0,1	2	0,1
5. Beständigkeit gegen Störeinflüsse	10	2	0,2	4	0,4	3	0,3
6. Positionsgenauigkeit	15	3	0,45	5	0,75	2	0,3
7. Lebensdauer	7,5	5	0,38	3	0,23	3	0,23
8. Standardisierung	15	3	0,45	1	0,15	3	0,45
9. Kommunikationsreichweite	12,5	2	0,25	4	0,5	4	0,5
Summe der Gewichtungsprozente	100		3,13		2,78		3,03

Die Nutzwerte der betrachteten Technologien zur Positionserfassung liegen eng zusammen. Eine eindeutige Entscheidung, welche grundlegend zu bevorzugen ist, kann so also nicht getroffen werden. Hier sei noch einmal darauf hingewiesen, dass sowohl die Gewichtungen als auch die Bewertungen im Rahmen dieser Arbeit nur Annahmen sind. Wird diese Bewertung im Rahmen eines Umsetzungsprojekts bei einem Unternehmen durchgeführt, ist auch ein deutlicheres Ergebnis möglich.

4.5 Szenarien zur Identifikation von Waren im PI-Hub

Hier wird neben den allgemeinen Möglichkeiten, RFID-Technologie zur Identifikation von Waren einzusetzen, auch das Ausstatten von Behältern mit RFID-Transpondern betrachtet.

4.5.1 Identifikationsprozess

Obwohl die RFID-Technologie sehr viel Potential für automatisierte Prozesse liefert, muss der Strichcode nach wie vor eingesetzt werden können. Weiterentwicklungen (siehe Kapitel 2.3.2), die durch Verwendung von unterschiedlichen Farben erhöhte Speicherkapazitäten bieten, werden im Warenverkehr auf Grund der beschriebenen Nachteile keine Anwendung finden. Zum einen ist für das Speichern einer einzelnen Identifikationsnummer auch auf herkömmlichen einfarbigen Strichcodes ausreichend Platz. Zum anderen weisen sie die gleichen Schwachstellen wie auch andere auf Label gedruckte Codes auf. Dabei geht es beispielsweise um die Lesbarkeit der Codes bei Verschmutzung oder wechselnder Beleuchtung. Ebenso verhält es sich beim zweidimensionalen QR-Code bzw. beim Ultracode.

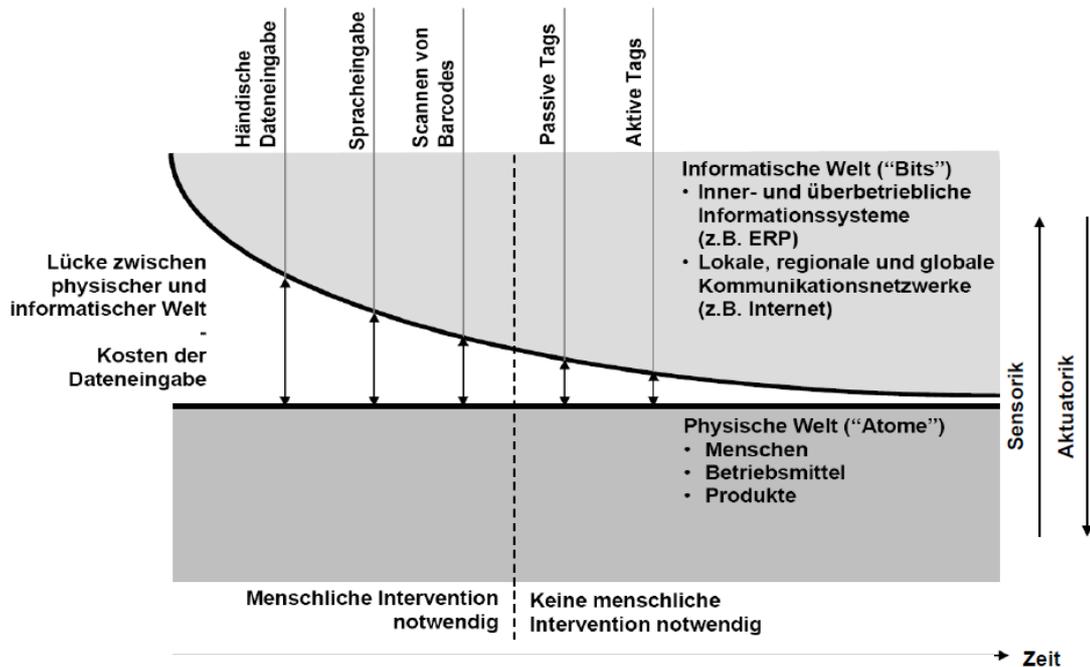


Abbildung 4-6: Integration von realer und virtueller Welt [RIC13, S.45]

Im Weiteren wird hier zwar davon ausgegangen, dass optische Identifikation auch in Zukunft verwendet wird, eingesetzte Strichcodes oder QR-Codes sich aber nicht nennenswert verändern oder weiterentwickeln werden. Deshalb wird hier vor allem die Anwendung von RFID genauer betrachtet. Ziel von RFID-Lösungen im PI muss es sein, Automatisierungslücken und die dadurch entstehenden Medienbrüche zu minimieren. Abbildung 4-6 macht deutlich, dass mit RFID hinsichtlich der Identifikation eine Annäherung an einen Prozess ohne menschlichen Eingriff möglich ist.

Für die Umsetzung sind grundsätzlich verschiedenste Möglichkeiten denkbar. So können hinsichtlich Sendeleistung verschiedene Transponder verwendet werden oder auch hinsichtlich der Lesegerätplatzierung unterschiedliche Lösungen gewählt werden. Dazu werden hier zwei grundsätzliche Ansatzmöglichkeiten angeführt (vgl. [SGH10, S. 19 ff]):

- Bei RFID-Systemen an mobiler Fördertechnik werden zum Identifizieren von Waren Lesegeräte an mobilen Transportfahrzeugen wie Gabelstaplern montiert. So können Transponder, die an LHM oder den Waren selbst angebracht sind, ausgelesen werden. In Abbildung 4-7 ist die Anbringung der verschiedenen Komponenten an einem Gabelstapler dargestellt. Die verwendeten Antennen sind den jeweiligen Anforderungen hinsichtlich Sendeleistung bzw. Reichweite angepasst. Die an der Fahrzeugfront angebrachte UHF-Antenne dient der Identifikation von Waren oder LHM. Die am Boden angebrachte LF-Antenne dient zur Identifikation einzelner Stellplätze. Diese wird in Verbindung mit der Positionsbestimmung des Gabelstaplers in Kapitel 4.7.1 genauer beschrieben.

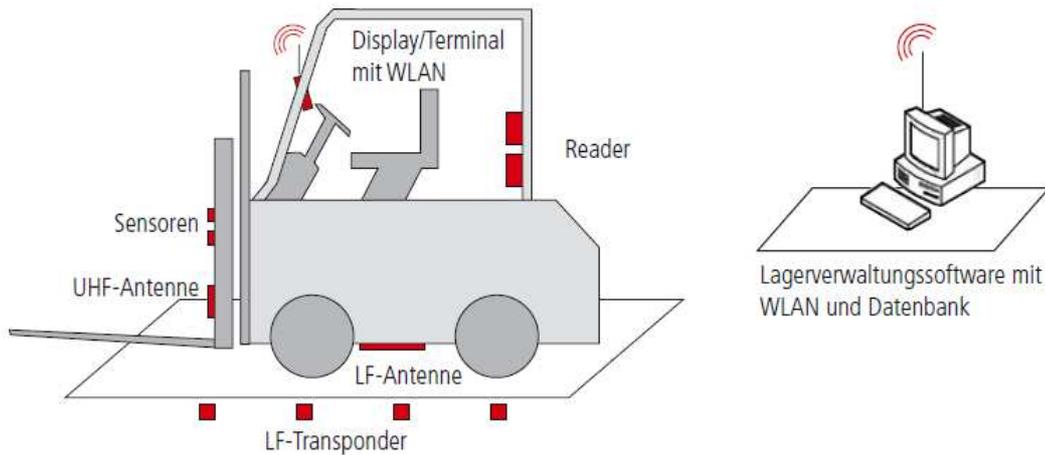


Abbildung 4-7: RFID-System an mobiler Fördertechnik [SGH10, S. 19]

- RFID-Systeme mit örtlich fest montierten Lesegeräten erfordern keine zusätzlichen Maßnahmen an Gabelstaplern oder sonstigen Transportfahrzeugen. Diese werden, wie in Abbildung 4-8 dargestellt, an einem Portal montiert. Neben freistehenden Konstruktionen ist auch eine Montage an der Wand möglich. Die Datenerfassung erfolgt beim Durchfahren des Portals. Dabei muss jedoch in jedem Fall der Maximalabstand sowie die Antennenausrichtung zu den Transpondern berücksichtigt werden (vgl. [SGH, S.28]).

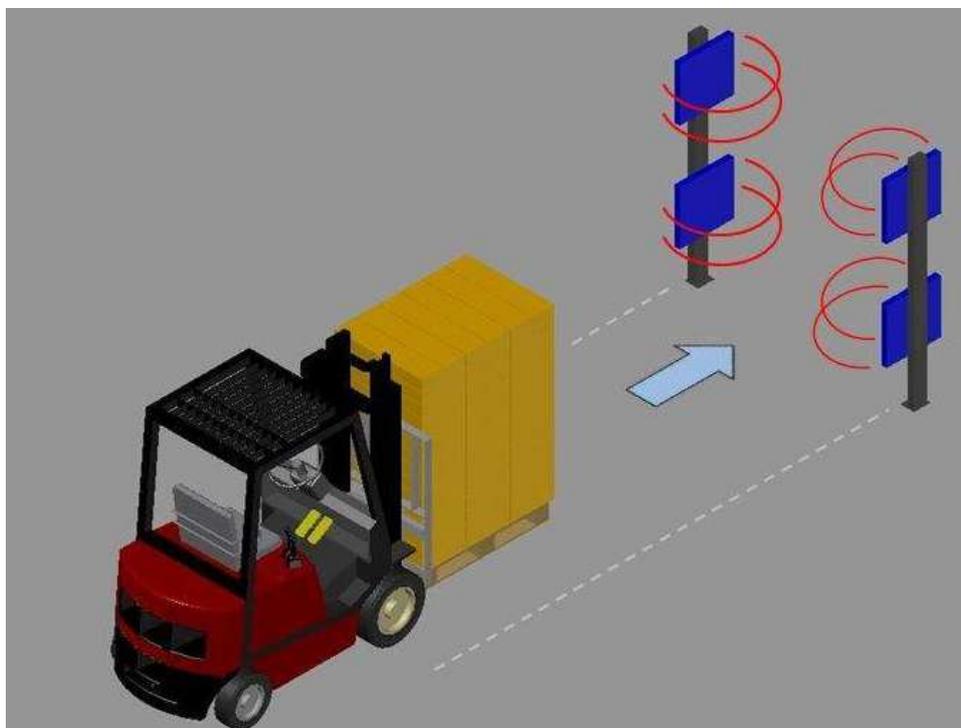


Abbildung 4-8: Identifikation von RFID Transpondern durch ein RFID-Portal [LOG18]

4.5.2 Szenario für den Einsatz von PI-Containern

Maßnahmen, um ein sichtkontaktloses Identifikationssystem umzusetzen, betreffen nicht nur Änderungen der Infrastruktur, sondern nehmen auch Einfluss auf die Beschaffenheit der eingesetzten LHM. Umsetzungsmöglichkeiten für einen modular aufgebauten PI-Container wurden bereits im Forschungsprojekt Modulushca (vgl. [MOD18]) bis hin zur Fertigung eines physikalischen Prototyps aufgezeigt. Erste PI-Umsetzungsschritte in diesem Bereich beziehen sich jedoch auf die Nachrüstung konventioneller LHM. Diese nachgerüsteten LHM können dann zumindest einzelne Anforderungen an den PI-Container wie die automatische Identifikation erfüllen.

Da sich modular aufgebaute PI-Container noch in der Entwicklungsphase befinden, können für die Einführung smarter Behälter Kleinladungsträger (KLT) wie in Abbildung 4-9, die mit Transpondern versehen werden, zum Einsatz kommen. Dieser vom VDMA sowie dem Verband Deutscher Automobilindustrie (VDA) entwickelte Behälter ist gleichermaßen für manuelle, mechanische und automatische Handhabung entwickelt. Da er als Mehrwegbehälter konzipiert ist, sind auch Pooling-Systeme etabliert (vgl. [MAR14, S.63]).



Abbildung 4-9: Kleinladungsträger (KLT) [SOE18]

In Kapitel 4.2.3 wurde erläutert, dass die Pulkerfassung nur bei außenliegenden Transpondern zuverlässig funktioniert. Diese Vorgabe muss bei der Wahl der Behältergröße berücksichtigt werden. Wird die Größe wie in Abbildung 4-10 festgelegt, entsteht eine Mittelreihe, deren Transponder auf keiner Seite des Pulks außenliegend sind.

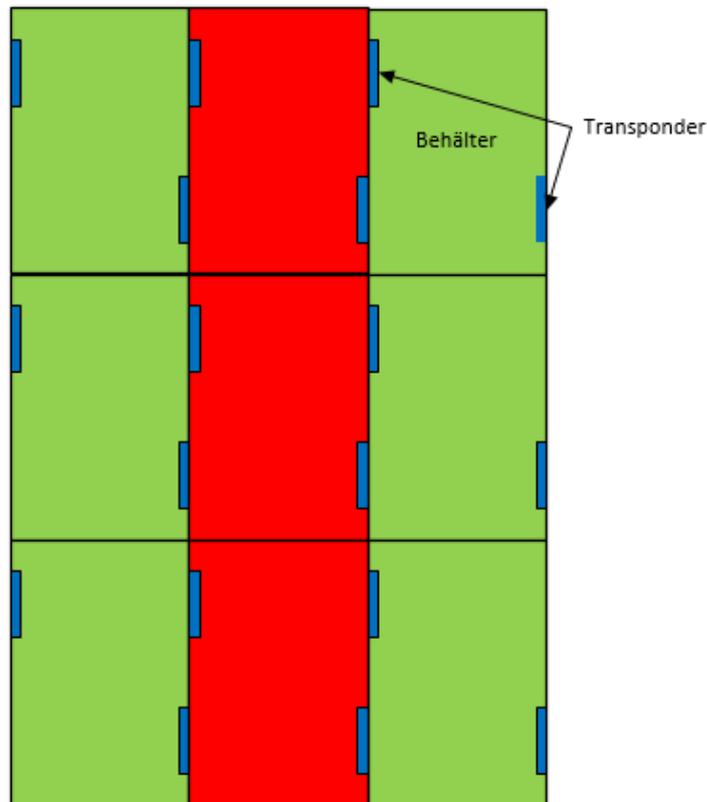


Abbildung 4-10: Anordnung von 9 Behältern auf einer Palette

Um die sichere Lesbarkeit von Behältern auf einer Palette zu gewährleisten, kann eine Behältergröße, die die Anordnung auf einer Palette wie in Abbildung 4-11 ermöglicht, gewählt werden. So wird sichergestellt, dass jeder Behälter über einen Transponder verfügt, der an einer Außenfläche des Pulks angebracht ist. Werden die Behälter in Verbindung mit einer Euro-Palette verwendet, ergeben sich beispielsweise Behälterabmessungen von 600 mm x 400 mm. Es sind für eine zuverlässige Lesung jedoch auch andere Abmessungen möglich, solange jeder Behälter eine außenliegende Seite aufweist.

Um Behälter mit Transpondern zu versehen, gibt es verschiedenste Möglichkeiten. Neben der konstruktiven Integration in neue Behälter gibt es auch Methoden, die ein nachträgliches Anbringen an bereits genutzte LHM zulassen. Dies kann mit den in Kapitel 3.2.2 beschriebenen RFID-Labels realisiert werden.

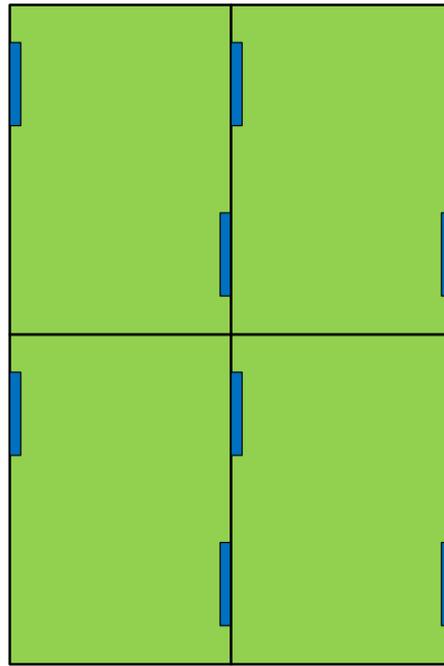


Abbildung 4-11: Anordnung von 4 Behältern auf einer Palette

4.6 Szenario zur Volumenerfassung im PI-Hub

Die Nutzwertanalyse in Kapitel 4.3 hat ergeben, dass bei unzuverlässigen Volumendaten von Versendern die Verwendung eines 1D-Messsystems zur Volumenerfassung innerhalb eines Hubs am besten geeignet ist. Daher zeigt dieses Szenario, wie ein solches 1D-Messsystem umgesetzt werden kann. In die Gestaltung dieses Szenarios fließen die Ergebnisse und Anforderungen aus Expertengesprächen sehr stark mit ein (vgl. [WEN18]).

Bei der Messanlage handelt es sich um ein System, das in keinen automatisierten Ablauf eingebunden ist. D.h. die Beschickung mit Paketen sowie die Entnahme dieser erfolgt manuell. Als Systemgrundlage dient eine permanent angetriebene Rollenbahn. Auf dieser durchlaufen die Pakete, ohne angehalten zu werden, die Messung sowie die Strichcode-Lesung. Alle Komponenten sind auf dem Rahmen der Rollenbahn verbaut. Die Messanlage wird, wie in Abbildung 4-12 dargestellt, fest an einem Tor verbaut.

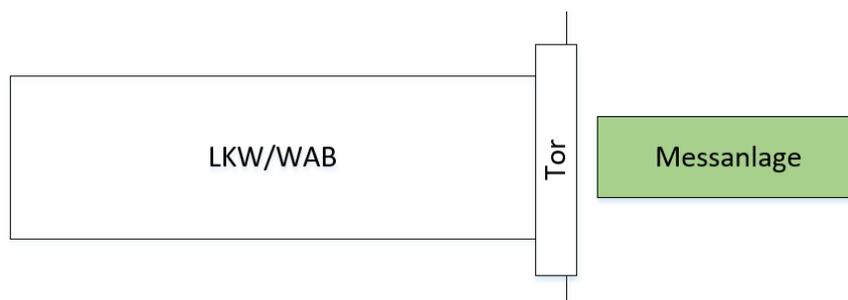


Abbildung 4-12: Position der Messanlage im WE

Für die Umsetzung entsprechender Messanlagen können, wie in Kapitle 3.3 beschrieben, verschiedene Messsysteme zum Einsatz kommen. Das Ergebnis ist in Abbildung 4-13 skizziert.

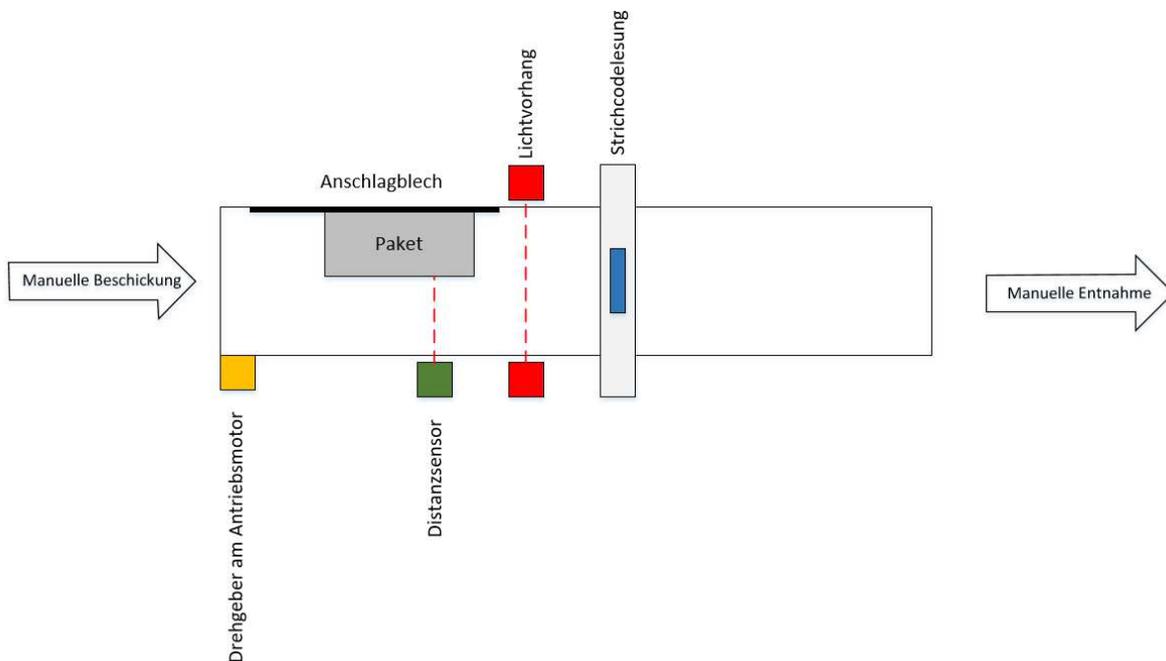


Abbildung 4-13: Schematischer Aufbau der Volumenmessung im Grundriss

Der Ablauf beginnt mit der händischen Entladung eines LKW oder einer WAB, in der die Kartons ohne weitere LHM gestapelt sind. Für den Transport der Kartons aus dem hinteren Bereich des Laderaums hin zur Messanlage ist ein nicht angetriebener Teleskoprollenförderer angedacht, auf dem die Kartons händisch bewegt werden. Am Beginn der Messanlage wird jeder Karton manuell mit dem Strichcode auf der Oberseite an ein Anschlagblech geführt. Dieser stellt einen physikalischen Nullpunkt dar, was eine Messung der Breite mit einem Abstandssensor, der auf der gegenüberliegenden Seite montiert ist, ermöglicht. Im Vergleich zu einem zusätzlichen Lichtvorhang ist diese Lösung vor allem hinsichtlich der Kosten zu bevorzugen. Ein weiterer Vorteil ist, dass so keine Teilung des Förderers notwendig ist und somit ein Standardmodell verwendet werden kann, wodurch auch in diesem Bereich Kosten eingespart werden. Die Höhenmessung erfolgt mit einem Lichtvorhang mit einer Auflösung von 5 mm, wodurch der Querschnitt bestimmt ist. Die Länge der Kartons kann über die Zeit, in der sich diese im Lichtvorhang befinden, sowie mit der Fördergeschwindigkeit berechnet werden. Um die Fördergeschwindigkeit genau zu erfassen, wird am Antrieb des Förderers ein Drehegeber verbaut.

Aus den so ermittelten drei Maßen der Kartons kann nun das Volumen ermittelt werden. Als abschließender Schritt erfolgt die Lesung des Strichcodes von oben. Deshalb ist auch die Ausrichtung des Strichcodes beim Auflegen der Kartons notwendig. Danach werden die Kartons händisch vom Förderer entnommen und auf Paletten gestapelt.

Gelesene Strichcodes, die mit den zugehörigen Volumendaten jeweils einen Datensatz bilden, werden als Excel-File auf dem Speicher der Messanlage gesichert.

Die Auslesung der Daten erfolgt mittels Ethernet-Schnittstelle in direkter Verbindung mit einem Rechner.

4.7 Szenarien zur Positionsbestimmung im PI-Hub

Die folgenden Szenarien zeigen, wie verschiedene Technologien zur Positionsbestimmung angewendet werden können.

4.7.1 Positionsbestimmung mittels RFID

Zur Orientierung in einem Lager bzw. zum Auffinden bestimmter Objekte kann ausschließlich auf RFID-Technologie gesetzt werden. Nachdem sie neben der Identifikation von LHM auch für die Ortung verwendet werden kann, wird die Vielseitigkeit dieser Technologie ersichtlich. RFID-Positionsbestimmung für Fahrzeuge kann je nach Anzahl der im Boden verbauten Transponder sehr hoch sein. Wird beispielsweise gefordert, dass jeder Palettenstellplatz identifiziert werden kann, muss auch jeder Palettenstellplatz mit einem Transponder ausgestattet werden.

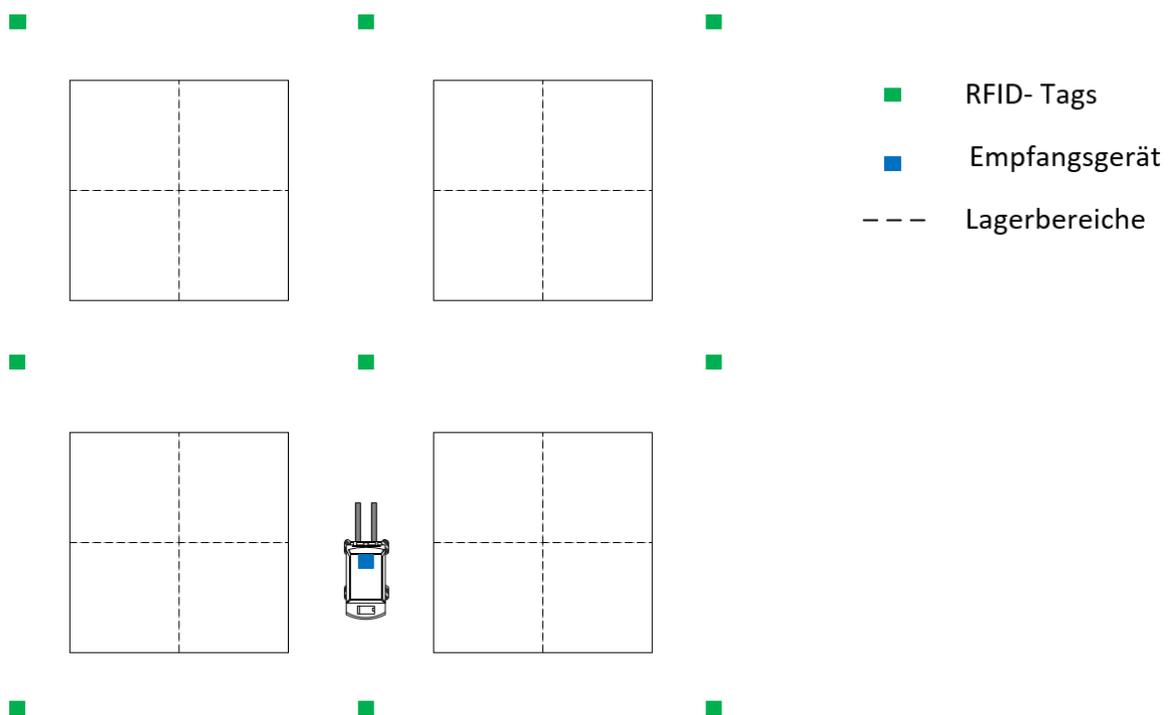


Abbildung 4-14: Blocklager mit RFID-Tags an den Kreuzungen

Um Fahrzeuge problemlos durch ein Lager zu leiten, ist an jedem Punkt, der eine Richtungsänderung zulässt, ein RFID-Transponder zu platzieren. Abbildung 4-14 zeigt ein Blocklager mit RFID-Transpondern an den Kreuzungspunkten. Durch das Leitsystem wird dem Fahrer auf einem Bildschirm die nächste Richtungsänderung oder auch das Erreichen seines Ziels angezeigt. Damit ist ein Auffinden der einzelnen Lagerblöcke zwischen den Gassen möglich bzw. ein Fahrzeug kann zum entsprechenden Bereich geleitet werden. Ebenso kann dies in Lagern mit Regalgassen erfolgen. Für das Auffinden der Gassen sind Transponder am Anfang bzw. am Ende jeder Gasse ausreichend. Wird zusätzlich zum Auffinden bestimmter Regalgassen auch die Identifikation einzelner Stellplätze gefordert, sind zusätzliche Tags notwendig. In Abbildung 4-15 sind entlang der Regalgassen entsprechend viele Tags platziert. Sind auf beiden Seiten einer Gasse Regale oder Lagerblöcke, wird dem Fahrer auf dem am Fahrzeug montierten Bildschirm die entsprechende Seite angezeigt. Sind autonome Fahrzeuge im Einsatz, ist die richtige Seite der Gasse bereits im Datenpaket, das auch die Koordinaten liefert, enthalten. So können zwei Stellplätze mit einem Transponder eindeutig gekennzeichnet werden. Obwohl hier nur ein kleiner Bereich eines Lagers abgebildet ist, ist leicht zu erkennen, dass je nach Genauigkeit der Ortung sehr viele Transponder notwendig sind. Bei geringem Abstand der Transponder ist darauf zu achten, dass immer nur ein einziger vom Lesegerät erfasst werden kann. Bei gleichzeitigen Mehrfachlesungen kann die eindeutige Position des Fahrzeugs nicht mehr bestimmt werden.

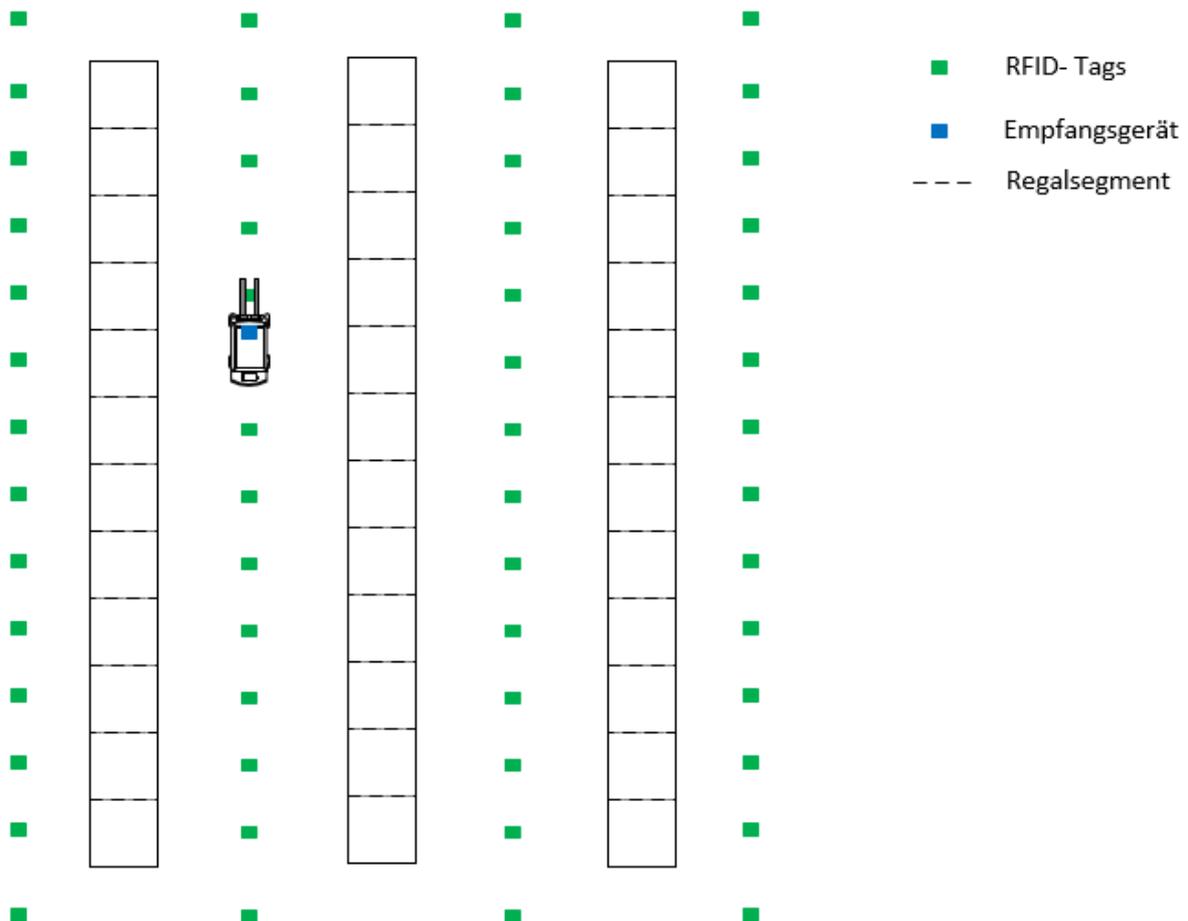


Abbildung 4-15: Regalgassen mit RFID- Tags an Kreuzungen und jedem Regalsegment

Für hoch automatisierte Förderanlagen wie im PI-Hub des Kapitels 4.1 bzw. für Stetigförderer im Allgemeinen sei hier noch eine mögliche Lösung zur Positionserfassung von geförderten Objekten angeführt. Die RFID-Transponder der LHM werden beginnend beim Wareneingang an jeder möglichen Abzweigung mittels RFID-Portal erfasst. Eine Anordnung wie in Abbildung 4-16 kann fehlgeleitete Objekte schnellstmöglich erkennen, wodurch auch sofort Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden können.

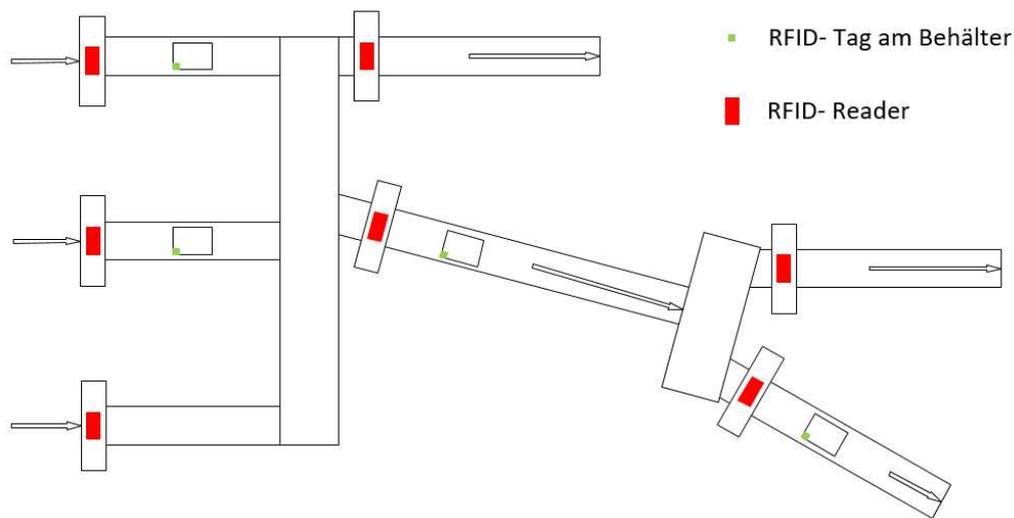


Abbildung 4-16: Positionierung von RFID-Readern an Stetigförderstrecken

In Systemen mit hohem Durchsatz sind auch entsprechend viele ID-Nummern an mehreren Punkten zu lesen und zu verarbeiten. Dies stellt hohe Anforderungen an das Leitsystem und an das interne Rechensystem des Hubs im Allgemeinen. Anfallende Aufgaben der PI-Rechensysteme wurden bereits in Kapitel 4.1 genauer erläutert.

4.7.2 Positionsbestimmung mittels BLE

Die Ortung von Waren erfolgt in diesem Szenario über die ständige Überwachung des Transportfahrzeugs. BLE-Ortung erreicht zwar keine hohe Genauigkeit, hat jedoch den großen Vorteil, dass oft schon vorhandene industrielle IT-Geräte genutzt werden können. Smartphones oder Tablets haben meist schon BLE-Chips integriert. Diese können an einem Fahrzeug somit als Empfangsgerät dienen und gleichzeitig dem Fahrer Informationen anzeigen. D. h. für die Implementierung dieses Systems ist nur noch das Anbringen der Transponder (Beacons) sowie die Lokalisierungssoftware notwendig. Bei Verwendung der BLE-Technologie stehen für die Platzierung der notwendigen Beacons vielfältige Platzierungsmöglichkeiten zur Verfügung. Durch die Reichweite von 10-30 Metern müssen diese nicht auf Höhe der Empfangsgeräte montiert werden. Stehen keine Regale oder sonstige Objekte zur Verfügung, können bei Hallen mit Blocklagerung die Beacons auch an der Decke montiert werden. Mit einer ausreichenden Verteilung kann so der Standort des jeweiligen Empfangsgeräts ermittelt werden (vgl. [INF18]). In

Abbildung 4-17 ist die Verteilung der Beacons schematisch dargestellt. Die Genauigkeit von ein bis drei Metern lässt jedoch keine exakte Ortung einzelner Stellplätze zu. Staplerfahrer werden so beispielsweise zum entsprechenden Regalsegment gelotst. Wird am Förderfahrzeug Sensorik zur Messung der Hubwerkshöhe eingesetzt, kann auch die Regalebene oder die Stapelebene von Waren erfasst werden. Bis zu diesem Punkt kann die Ortung mit jeder Art von LHM erfolgen, da die notwendigen Empfangsgeräte und Sensorik auf den eingesetzten Fahrzeugen verbaut sind (vgl. [IND18]).

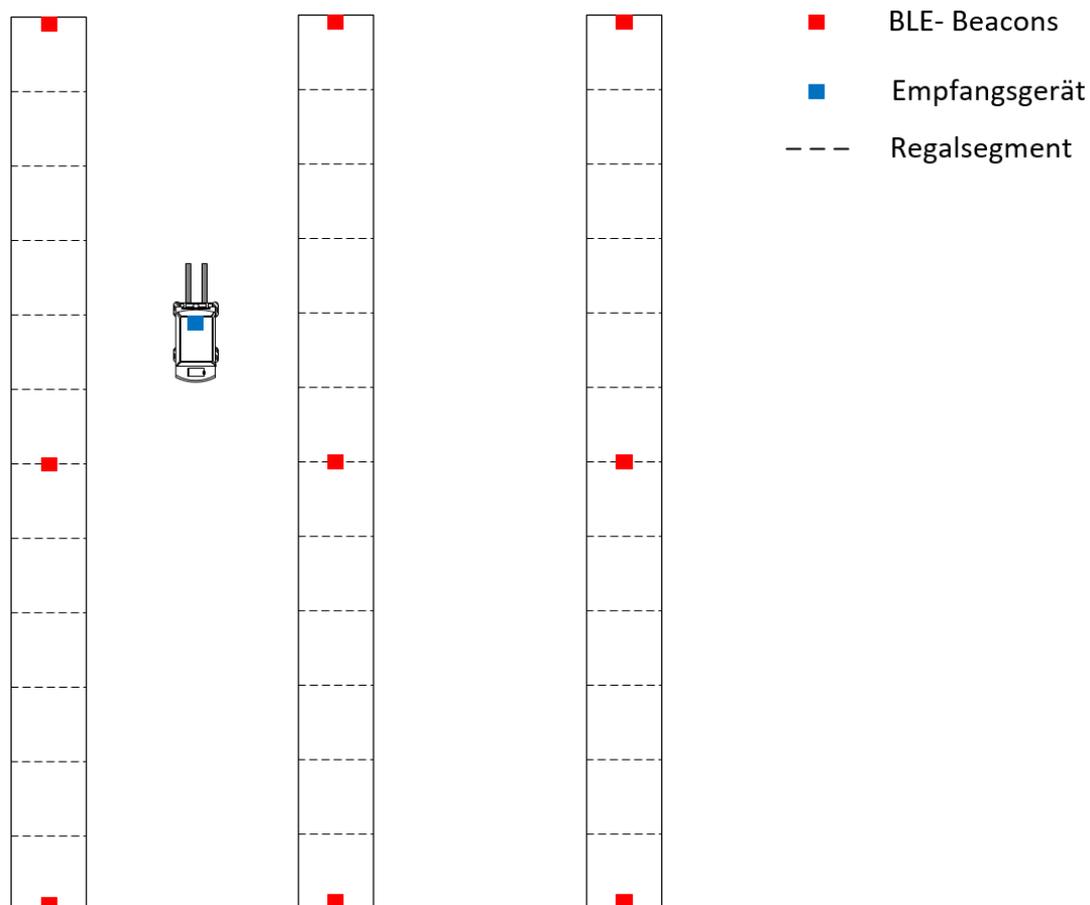


Abbildung 4-17: Regalgassen mit BLE-Beacons an den Regalen

Zur eindeutigen Identifizierung einzelner Regalplätze oder auch gestapelter Behälter sind jedoch LHM, die beispielsweise mit RFID-Transpondern ausgestattet sind, notwendig. Diese können durch einen zusätzlichen RFID-Reader am Fahrzeug gelesen und somit Fehler beim Auslagern weiter minimiert werden.

4.7.3 Positionsbestimmung mittels Ultra-Wideband

In der Anwendung ähnelt dieses System der BLE-Technologie. So erfolgt die Warenortung ebenfalls indirekt über die Ortung des Transportfahrzeugs. Hinsichtlich der erreichbaren Genauigkeit können jedoch große Vorteile gegenüber BLE verzeichnet werden. Die notwendige UWB-Technologie ist jedoch nicht in herkömmlichen Geräten verbaut, wodurch auch entsprechende Kosten für die Anschaffung dieser entstehen. Je nach Anforderungen sind im Vergleich zu BLE-

Beacons ähnlich viele UWB-Anchors notwendig. Bei der Montage der UWB-Anchors muss jedoch genauer auf die Positionierung geachtet werden. In einem Regallager kann die Montage, wie in Abbildung 4-18 ersichtlich, an den Regalseiten erfolgen. Ein großer Unterschied zu Systemen, die auf Signalstärkenmessung beruhen, besteht bei der Montage der Anchors. Bei langen Regalgassen, wie sie in diesem Szenario dargestellt sind, kann der Sichtkontakt zwischen Anchors und Lesegerät am Fahrzeug problemlos sichergestellt werden. Wird jedoch ein verwinkeltes und unübersichtliches Lager nachgerüstet, sind entsprechend mehr Anchors notwendig, um die Positionsbestimmung in allen Bereichen sicherzustellen.

Auch die Ausstattung von zu ortenden Objekten ist aufwändiger. UWB-Empfänger sind im Normalfall nicht in Standardgeräten wie Industrie-Tablets verbaut. So müssen dafür eigene Geräte angeschafft und zusätzlich auf Staplern oder anderen zu lokalisierenden Objekten montiert werden (vgl. [ULT18]).

Neben diesem hohen Aufwand für die Implementierung stellt die in Kapitel 3.4 erwähnte Genauigkeit von unter 30 cm einen wesentlichen Vorteil gegenüber anderen Technologien dar. So wird nämlich die eindeutige Identifikation einzelner Palettenstellplätze, ohne zusätzliche Technologien zu nutzen, gewährleistet.

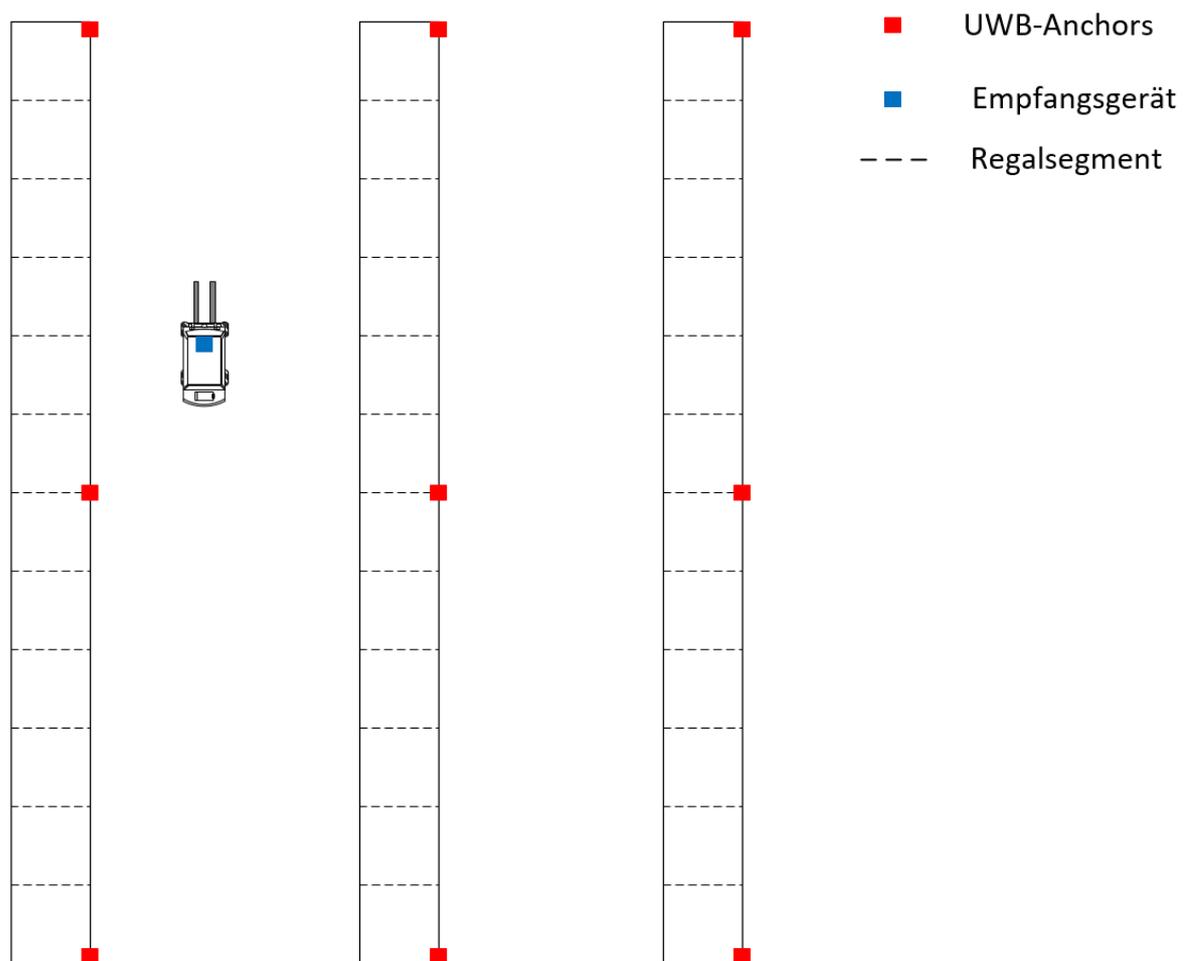


Abbildung 4-18: Regalgassen mit UWB-Anchors an den Regalen

Die Kombination mit anderen Systemen kann für gewisse Anwendungen trotzdem erfolgen. Wie in der unteren Detailansicht der Abbildung 4-19 zu sehen ist, wird ein am Gabelstapler montierter RFID-Reader verwendet, um Daten aus einem RFID-Transponder, der direkt an der Ware angebracht ist, auszulesen.

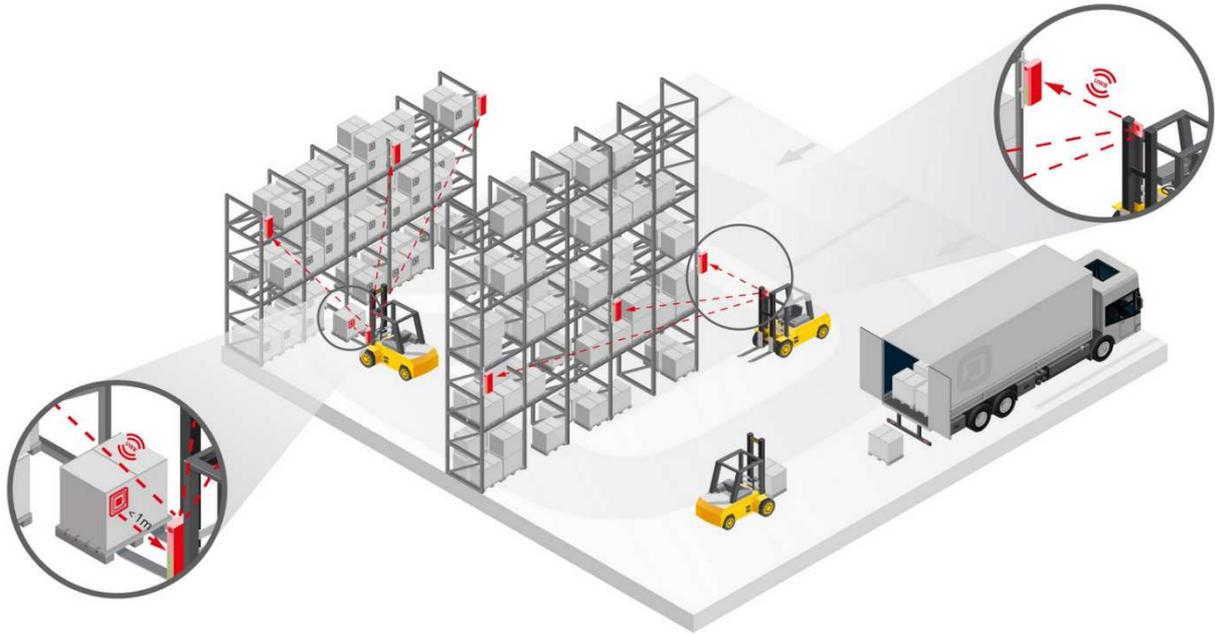


Abbildung 4-19: Positionsbestimmung von Gabelstaplern mittels UWB [INF18]

5 Beurteilung der Anwendungsszenarien im PI

Kapitel 5 beurteilt die betrachteten Szenarien in Kapitel 4 hinsichtlich ihres Nutzens für die Annäherung an das PI. Zusätzlich werden Handlungsempfehlungen für Hubbetreiber abgegeben.

5.1 Beurteilung des Szenarios zur RFID-Identifikation

Grundsätzlich kann durch den Einsatz von RFID-Technologie an allen Punkten, an denen Waren identifiziert werden müssen, ein positiver Effekt hinsichtlich der Identifikationsgeschwindigkeit erzielt werden. Werden hier herkömmliche Strichcodes verwendet, kann die Zeit für das Scannen mittels Handscanner mit 4 Sekunden pro Code angesetzt werden (vgl. [RIC13, S. 41]). Die Zeit wird dabei vor allem für die Vereinzelnung von zu identifizierenden Waren und die Suche nach der Position des Strichcodes aufgewendet. Für eine durchschnittliche mit Kartons beladene Palette kann so eine Zeitersparnis von rund zweieinhalb Minuten pro Palette erzielt werden [WEN18]. Besonders der Wareneingang eines Hubs stellt einen Bereich dar, in dem bei der Entladung von LKW viele Objekte wie Waren oder LHM schnell durchgeschleust werden müssen. Sind Waren und LHM mit Transpondern ausgestattet, können diese mit dem gleichen System gelesen werden. Für die Systemeinführung können so anfangs beispielsweise nur Paletten mit Transpondern ausgestattet werden. Darauf aufbauend kann in weiteren Schritten die Identifikation kleinerer LHM oder einzelner Produkte mit dem gleichen RFID-Portal umgesetzt werden. Dies ermöglicht eine schrittweise Annäherung an den PI-Container.

Im PI-Hub stellt die Anwendung von RFID-Technologie zur Identifikation von LHM einen wichtigen Grundstein für die eindeutige Identifizierung von PI-Containern dar. Neben dem WE und WA können zusätzliche Punkte, an denen LHM identifiziert werden, mit geringem Aufwand umgesetzt werden. Dies ermöglicht einen transparenten Prozessablauf innerhalb des Hubs, in dem Fehler sofort erkannt und korrigiert werden können.

Werden konventionelle LHM mit Transpondern versehen, ermöglicht dies außerdem die Interaktion der LHM mit Fahrzeugen und Handling-Systemen, was ebenfalls eine entscheidende Voraussetzung für die Umsetzung eines PI-Hubs darstellt. So ist es mit entsprechend ausgestatteten Fahrzeugen nicht nur an vorgegangenen Stellen, sondern auch in jedem Bereich eines Hubs möglich, LHM zu identifizieren.

Die bereits angesprochene Beschleunigung im WE sowie im WA hat jedoch auch über das PI-Hub hinausgehenden Nutzen für das PI. Werden Prozesse im WE und WA beschleunigt, hat dies auch einen positiven Effekt auf die gesamte Transportzeit von Hub zu Hub. Durch die hohe Umschlagstätigkeit im PI ist der Einsatz von RFID-Technologie also noch wirkungsvoller als in herkömmlichen Transportprozessen. Darüber hinaus können Fehlleitungen von Waren zwischen PI-Hubs durch Identifikation von LHM und Waren im WA vermieden werden. So kann auch hier ein entsprechend großer Nutzen für das PI erzielt werden.

5.2 Beurteilung des Szenarios zur Volumenerfassung

Das in Kapitel 4.6 dargestellte Szenario zur Volumenerfassung von Kartons oder anderen quaderförmigen Waren hat vor allem zum Ziel, dass durch entsprechende Daten eine genaue Planung der benötigten Transportkapazitäten möglich ist. Wie in Kapitel 2.4 erläutert wurde, stehen dem Hubbetreiber notwendige Daten meist nicht in ausreichender Qualität zur Verfügung. Dies hat zwei grundlegende Probleme zur Folge (vgl. [WEN18]):

- Benötigte Transportvolumina können nicht genau geplant werden.
- Volumenbezogene Entgelte für den Transport können nur nach geschätzten Daten erfolgen, was sich größtenteils negativ für den Spediteur auswirkt.

Die Umsetzung dieses Szenarios bietet dem Hubbetreiber eine Lösung für diese aktuellen Probleme. Vor allem wird so ein vom Versender unabhängiges Agieren möglich gemacht.

Volumendaten mit ausreichender Qualität können jedoch auch in anderen Bereichen genutzt werden. Beispielsweise können auch Lagerkapazitäten genau geplant und somit effizienter genutzt werden. Gerade im PI, das auf einen hohen Automatisierungsgrad setzt, können hier auch Kosten reduziert werden. Gerade bei teuren vollautomatischen HRL und ähnlichen Anlagen ist der Nutzen besonders groß. So kann konkret die geforderte ständige Dokumentation von Kapazitäten in PI-Hubs umgesetzt werden.

Weiter kann mit genauen Volumendaten die Planung von LHM bedarfsgerecht erfolgen. So kann gewährleistet werden, dass nicht zu viel oder zu wenig LHM angeliefert werden. Obwohl die konzipierte Anlage für einen Hubbetreiber zugeschnitten ist, wird hier schnell klar, dass der Einsatz auch in anderen Strukturen sinnvoll sein kann. So kann die Volumenerfassung bereits beim Hersteller von Produkten unmittelbar nach dem Verpacken in Kartons oder sonstige Versandeinheiten erfolgen. Dies ermöglicht hinsichtlich der Planung von Volumina von Anfang an einen effizienten Transport innerhalb des eigenen Betriebs sowie auf dem gesamten Weg zum Empfänger. Würde die Volumenerfassung bei Versendern flächendeckend eingesetzt, könnten Transportdienstleister ebenfalls auf diese Daten zurückgreifen, was hinsichtlich der Datennutzung der Idee des PI entspricht. Auch momentan nicht effizient nutzbare Onlineportale hätten dann wieder einen entsprechenden Nutzen für Hubbetreiber und andere Akteure im Transportprozess.

Neben Kostenersparnissen, die durch Effizienzsteigerungen in verschiedenen Bereichen entsteht, sei an diesem Punkt noch einmal der Vorteil bei Preisverhandlungen erwähnt. Da Entgelte für Logistikdienstleistungen grundsätzlich auf das Volumen bezogen werden, entsteht mit zuverlässigen Daten eine günstige Ausgangsposition für den Logistikdienstleister. Auch im PI kann durch die genaue Erfassung von Volumendaten ein faires und transparentes Kostensystem entstehen.

5.3 Beurteilung der Szenarien zur Positionsbestimmung

Um die in Kapitel 3.4 beschriebenen Möglichkeiten zur Positionsbestimmung von Waren zu veranschaulichen, wurden diese jeweils in einem einfachen Szenario angewendet. Das Szenario umfasst die Orientierung bzw. das Auffinden von Waren im Lagerbereich. Dabei wird der Einsatz der notwendigen Komponenten zur Positionsbestimmung bzw. Auffindung der jeweiligen Waren dargestellt. Da die betrachteten Technologien RFID, BLE und UWB sehr unterschiedlich verwendet werden, dienen mehrere Szenarien dazu, diese Technologien hinsichtlich des notwendigen Implementierungsaufwands zu vergleichen.

Allgemein können durch die Umsetzung von Systemen zur Positionsbestimmung Ein- und Auslagervorgänge wesentlich beschleunigt werden. Im PI kann damit die Forderung nach minimaler Durchlaufzeit von PI-Containern durch das PI-Hub erfüllt werden. Neben ständig aktuellen Informationen aller mit Transpondern versehenen Objekte im Hub, kann auch das Routing verbessert werden. Dabei kann hubintern ebenso wie im PI-Hub-Netzwerk agiert werden. Ist beispielsweise der kürzeste Weg zur Ware durch erhöhten Gabelstaplerverkehr in einem gewissen Lagerbereich ungünstig, kann die Route um dieses Nadelöhr herum gelegt werden. Dies ermöglicht für das gesamte PI-Hub eine hohe Effizienz der internen Transporte. Ebenso ermöglicht die ständige Positionsbestimmung von Gabelstaplern oder sonstigen Fahrzeugen die permanente Dokumentation von Leistungen und Kapazitäten des PI-Hubs. Diese Dokumentation kann vor allem für die weitere interne Optimierung des Hubs herangezogen werden. So können beispielsweise regelmäßige Spitzenbedarfe an Fahrzeugen schnell erkannt werden, um darauf mit dem Einsatz zusätzlicher Ressourcen zu reagieren. Ist die genaue Leistung eines PI-Hubs bekannt, dient dies auch dem Routing durch das gesamte Hubnetzwerk. D.h. es können PI-Hubs mit voller Auslastung zu entsprechender Zeit mit Änderung der Route umgangen werden. Dies kann die Überlastung von PI-Hubs, die zum Beispiel an Knoten von Hauptverkehrswegen liegen, vermeiden.

In Kapitel 4.4 konnte durch die Nutzwertanalyse keine klare Empfehlung für eine Technologie zur Positionsbestimmung abgegeben werden. Daher wird allgemein auf die Anwendungsmöglichkeiten der betrachteten Technologien eingegangen. Durch die hohen Kosten der Empfangseinheiten muss sowohl bei BLE als auch bei UWB-Systemen genau betrachtet werden, welche Objekte damit wirtschaftlich geortet werden können. Die Ausstattung aller LHM wird in der Regel wirtschaftlich nicht zielführend sein. Ausnahmen in diesem Bereich können teure LHM, von denen in einem internen Kreislauf eine beschränkte Anzahl vorhanden ist, darstellen. Grundsätzlich beschränkt sich die Anwendung von BLE und UWB auf die direkte Positionsbestimmung von Fahrzeugen. Vorteile von BLE und UWB sind jedoch die einfache Montage der Komponenten und die dadurch gegebenen Erweiterungsmöglichkeiten.

Ein großer Vorteil von Systemen für die Positionsbestimmung von Fahrzeugen im Allgemeinen ist, dass sie auch mit konventionellen LHM ohne Identifikationssystem eingesetzt werden können. Die genaue Position der LHM kann dabei über den Standort des Fahrzeugs beim Entladen bestimmt werden. Die Verwendung von RFID-Technik auf Stetigförderern wie beispielsweise Rollenbahnen ist jedoch nur möglich, wenn an transportierten Waren oder LHM Transponder angebracht

sind. Aus denselben Gründen wie bei der Fahrzeugortung mittels RFID muss hier ebenfalls auf einen Mindestabstand zwischen den einzelnen Kontrollpunkten geachtet werden. Bei UHF-Systemen entspricht dieser grundsätzlich rund 5 m. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die Leseantennen auf einen bestimmten Bereich auszurichten. Dadurch kann die minimale Distanz zwischen zwei Kontrollstellen wesentlich verkürzt werden. Wird diese minimale Distanz unterschritten, besteht die Gefahr, dass der Transponder von zwei Lesegeräten gleichzeitig erfasst wird. In diesem Fall wäre keine genaue Positionsbestimmung möglich (vgl. [SOL18]). Tabelle 5-1 fasst die wichtigsten Eigenschaften der eben bewerteten Technologien zusammen.

Tabelle 5-1: Eigenschaften wichtiger Technologien zur Positionsbestimmung

	UWB	BLE	RFID
Genauigkeit	Sehr hoch	niedrig	hoch
Transponderkosten	Sehr hoch	hoch	niedrig
Erweiterungsmöglichkeiten	Sehr gut	Sehr gut	gut

Die durchgehende Verfolgung der Waren vom WE bis zum WA mit einer dieser Technologien kann als Umsetzungsziel, das in mehreren Ausbaustufen erreicht wird, gesehen werden. Erste Ortungsstrategien können beispielsweise das Auffinden von Fahrzeugen zum Ziel haben. So könnte ein erster Umsetzungsschritt lediglich zum Ziel haben, festzustellen, welche Gabelstapler sich in welchem Bereich eines Lagers befinden. Weiterführende Schritte können auf die genaue Lokalisierung von Fahrzeugen oder anderen Objekten wie LHM abzielen.

Auch die Information über die Position von Objekten kann vielseitig genutzt werden. Alle in dieser Arbeit behandelten Systeme zur Positionsbestimmung können verwendet werden, um abgestellte Waren zu finden und um Waren an einem definierten Punkt abzustellen. So können Lagerstrategien, die sich auf fixe Stellplätze beziehen genauso unterstützt werden wie Lagerstrategien, die auf einer chaotischen Einlagerung basieren. Der Nutzen der schnellen Auffindung von Waren liegt auf der Hand. Durch Zeiteinsparung in diesem Bereich können Personal sowie Flurförderzeuge eingespart werden bzw. mit den vorhandenen Ressourcen mehr Leistung erbracht werden. Neben der Ortung von Waren kann jedoch auch die Ortung von Flurförderzeugen wie Gabelstaplern nützlich sein. Ist die Position aller verfügbaren Gabelstapler bekannt, kann dies für eine effiziente Planung und Ablaufsteuerung herangezogen werden. So kann bei Bedarf beispielsweise ganz einfach der am nächsten gelegene, verfügbare Gabelstapler angefordert werden. Leerfahrten können so entsprechend reduziert werden. Durch besonders schnelle Verfügbarkeit von Flurförderzeugen können auch Prozesse wie das Entladen von LKW zeitlich weiter optimiert werden.

5.4 Handlungsempfehlungen für Unternehmen und Ausblick

Allgemein gültige Handlungsempfehlungen für Hubbetreiber, die Umsetzungsschritte in Richtung PI realisieren wollen, sind schwer festzulegen. Dies begründet sich vor allem auf den sehr unterschiedlichen Ausgangspositionen der Unternehmen. Ein wichtiger Punkt ist die vorhandene Infrastruktur. Je nachdem, welche Technologien und Systeme bereits verwendet werden, können unterschiedliche PI-Umsetzungsschritte sinnvoll sein. Wie in den Szenarien des Kapitels 4.7 beschrieben, können bestimmte Systeme zur Positionsbestimmung von bereits vorhandener Infrastruktur profitieren, was den Einsatz entsprechender Systeme wirtschaftlich sinnvoller als andere machen kann. Einen weiteren Punkt stellt die wirtschaftliche Ausgangslage des Hubbetreibers dar. Auch wenn sich ein Unternehmen in der Speditionsbranche solide am Markt platziert hat, sind die notwendigen finanziellen Mittel wie beispielsweise für das Ausstatten von Behältern mit Transpondern zur automatischen Pulkerfassung nicht vorhanden. Der Einsatz dieser wäre für Hubbetreiber und Spediteure nicht wirtschaftlich, wenn sie alleine für die Kosten aufkommen müssen (vgl. [WEN18]).

Die Abbildung von Anwendungsszenarien bzw. deren Bewertung kann von Hubbetreibern jedoch als Entscheidungshilfe, was die technische Umsetzung angeht, herangezogen werden. Dabei ist es wichtig, die zukünftige Ausrichtung des Unternehmens zu berücksichtigen. Sind die Ziele für ein Hub beispielsweise nicht nur die Minimierung der Durchlaufzeit, sondern auch die grundsätzliche Personaleinsparung im Hub, werden neben den in dieser Arbeit betrachteten technischen Kriterien noch weitere hinzukommen. Im Bereich der Identifikation kann so zum Beispiel durch Einsatz von RFID ein noch größerer Mehrwert für ein Unternehmen erzielt werden.

Neben dem Nutzen von PI-Umsetzungsschritten für den jeweiligen Prozess kann auch die Realisierung selbst einen Mehrwert für ein Unternehmen bedeuten. Dazu bieten anfangs kleine Projekte gute Möglichkeiten, um sich mit dem Prozess der Projektumsetzung vertraut zu machen. Kleiner angesetzte Umsetzungsschritte minimieren auch das finanzielle Risiko. Auch wenn in dieser Arbeit betrachtete Technologien für ein gesamtes Hub umsetzbar sind, besteht die Möglichkeit, erste Schritte in kleinem und klar abgegrenztem Rahmen umzusetzen. So kann die Positionsbestimmung in einem abgegrenzten Lagerbereich getestet werden oder ein System für die Volumenerfassung im WE nur an einem Verladeort installiert werden. Bei Problemen mit der Umsetzung hält sich das finanzielle Risiko so in Grenzen. Weiter können bei kleineren Umsetzungsprojekten leichter Korrekturen vorgenommen werden, die bei einer Ausdehnung dieser ersten Schritte gleich von Anfang an berücksichtigt werden können.

Ist sich ein Unternehmen trotz durchgeführter Nutzwertanalyse über den tatsächlichen Nutzen einer Technologie oder eines Systems nicht sicher, kann ein kleines Pilotprojekt Abhilfe schaffen. Bleibt man beim Beispiel der Volumenerfassung im WE, so kann diese anfangs auch parallel zum bisherigen Prozess betrieben werden und die erhaltenen Daten nur zum Vergleich herangezogen werden. D.h. die ermittelten Volumendaten werden zwar gespeichert, Prozesse wie die LHM-Planung erfolgen jedoch wie gewohnt zum Beispiel durch das Heranziehen von Erfahrungswerten. Nach einer bestimmten Betriebszeit können die erfassten Volumendaten dann mit den Erfahrungswerten verglichen werden. So

kann die Sinnhaftigkeit weiterer und auch größerer Projekte in diesem Bereich besser beurteilt werden. Auch Auswirkungen auf den Personalbedarf können auf diesem Weg genauer ermittelt werden. Dabei müssen beispielsweise der notwendige Aufwand für Einschulungen an neuen Systemen erzielten Personaleinsparungen gegenübergestellt werden.

Das Konzept der vorangehenden Bewertung von Technologien und das anschließende Einbinden dieser in Anwendungsszenarien kann auch für andere Technologien, die für das PI in Frage kommen, angewendet werden. So können beispielsweise hinsichtlich des PI-Containers weitere Alternativen zu dem in Kapitel 4.5.2 beschriebenen KLT untersucht werden.

Sollen Projekte wie ein umfangreicher Einsatz neuer LHM realisiert werden, wird es in Zukunft wichtig sein, die richtigen Partner für entsprechende Vorhaben zu finden. In diesem Bereich wird es entscheidend sein, große Unternehmen aus der Industrie zu gewinnen. Da die Automobilindustrie mit dem KLT bereits ein standardisiertes LHM in Umlauf gebracht hat, wären Verbände und Unternehmen aus dieser Branche mit Sicherheit geeignete Partner (vgl. [WEN18]).

Neben den technischen Aspekten von PI-Umsetzungsschritten wird zukünftig auch dem finanziellen Bereich viel Aufmerksamkeit geschenkt werden müssen. Gerade für die Einbindung von KMU wird für diese in gewissen Bereichen finanzielle Unterstützung notwendig sein. Neben großen Lieferanten, die von einem PI-Netzwerk profitieren können, wäre es in diesem Bereich auch denkbar, große Geldinstitute oder ähnlich zahlungskräftige Partner langfristig an Bord zu holen.

Zusätzlich zu technischen und wirtschaftlichen Aspekten werden für die Umsetzung des PI auch politische Entscheidungen eine wesentliche Rolle spielen. Gerade in diesem globalen Netzwerk, in dem Waren über viele Staatengrenzen hinweg transportiert werden, müssen gewisse Entscheidungen ebenfalls auf globaler Ebene getroffen werden. So wäre für einen effizienten Transport durch mehrere Länder beispielsweise eine schnelle und einheitliche Zollabwicklung entscheidend. Technische Umsetzungsschritte, wie sie in dieser Arbeit dargestellt wurden, können als Vorlage bzw. Entscheidungshilfe auch auf politischer Ebene herangezogen werden.

6 Zusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit Möglichkeiten, um sich mit konventionellen Umschlag- und Verteilzentren (Hubs) dem PI anzunähern. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Datenerfassung und Identifikation von Objekten.

Den Ausgangspunkt bildet die aktuelle Situation bei mittelständischen Unternehmen, die Hubs betreiben. Um sich dem PI-Hub anzunähern, wurden zunächst die notwendigen Anforderungen definiert. Diese Arbeit beschränkt sich dabei auf folgende Punkte:

- Schnelles und eindeutiges Identifizieren von Waren
- Effizientes Routing innerhalb des Hubs
- Effiziente Nutzung von Lager- und Transportvolumina

Nachdem Informationen, die zur Erfüllung dieser Anforderungen notwendig sind, festgelegt wurden, konnten die in Frage kommenden Lösungsansätze definiert werden. Dabei wurden Lösungsansätze gewählt, deren Verwendung keinen hohen Automatisierungsgrad voraussetzt:

- Identifikation von Objekten
 - Strichcode
 - RFID
- Position von Objekten
 - RFID
 - Ultra-Wideband
 - Bluetooth Low Energy
 - WLAN
 - Optische Systeme
- Warenvolumen
 - 1D-Messsysteme
 - 3D-Messsysteme

Durch die genaue Betrachtung der Lösungsansätze konnten einige davon bereits als nicht tauglich bewertet werden. Die noch relevanten Technologien wurden daraufhin mit Hilfe der Nutzwertanalyse einer genaueren Bewertung unterzogen und in Anwendungsszenarien eingebettet. Diese ermöglichen den Vergleich von Technologien und Systemen hinsichtlich Punkten wie dem Implementierungsaufwand. Der letzte Punkt dieser Arbeit befasst sich mit der Bewertung der Szenarien hinsichtlich ihrer PI-Tauglichkeit und daraus resultierender Handlungsempfehlungen für Unternehmen. Diese werden in Abbildung 6-1 zusammengefasst.

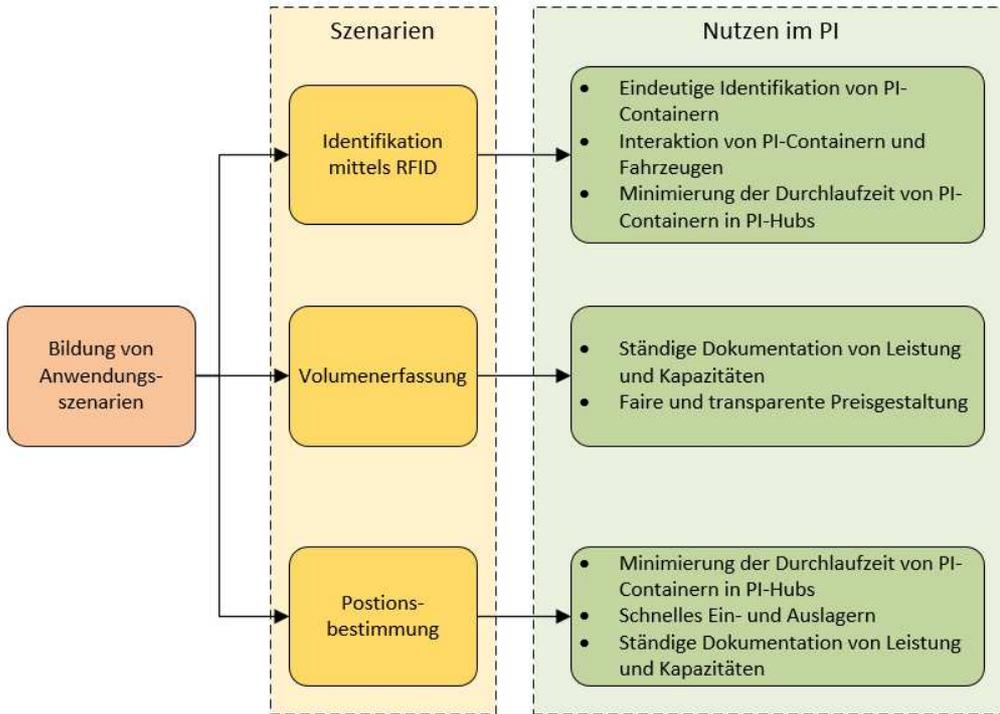


Abbildung 6-1: Nutzen der Anwendungsszenarien im PI

7 Verzeichnis

7.1 Literaturverzeichnis

- [7ID19] 7id; RTL and Forklift Logistics, Case Study - URL https://www.7id.com/wp-content/uploads/2019/02/7iD_UseCase-Hobas.pdf - Abrufdatum: 20.01.2019
- [BIB19] Bibus, Abstandssensoren für die Automation, Produktdatenblatt – URL https://www.bibus.at/fileadmin/product_data/sensopart/documents/Sensopart_Abstandssensoren.pdf - Abrufdatum: 06.03.2019
- [BMM14] Ballot, Eric; Montreuil, Benoit; Meller, Russel D.: The Physical Internet, The Network of Logistics Networks; Paris, 2014 – ISBN 978-2-110-09865-8
- [BOS18] Bosche Homepage: URL https://www.bosche.eu/industriewaagen/logistikwaagen/volumen_waagen/volumenmesssystem-vgm – Abrufdatum: 08.12.2018
- [COM19] Computerhope Homepage: URL <https://www.computerhope.com/jargon/m/msofttag.htm> - Abrufdatum: 25.02.2019
- [DIE18] Dietz Homepage: URL <https://www.dietz-sensortechnik.de/produkte/lichtvorhaenge-lichtgitter.html> - Abrufdatum: 28.12.2018
- [DUO19] Duometric Homepage: URL <https://www.duometric.de> – Abrufdatum: 21.01.2019
- [ECO18] ecom-Homepage: <https://www.ecom-ex.com/de/blog/post/indoor-lokalisierung-mit-bluetoothR-beacons> - Abrufdatum: 04.12.2018
- [ELJ16] Ehrentraut, Florian; Landschützer Christian; Jodin Dirk; Graf, Hans-Christian, Gasperlmaier, Andreas: A case study derived methodology to create a roadmap to realize the Physical Internet for SME: URL <https://research.fh-ooe.at/de/publication/5545> - Abrufdatum: 28.04.2019
- [EPA18] EPAL-Homepage: URL - <https://www.epal-pallets.org/eu-de/ladungstraeger/epal-europalette> – Abrufdatum: 15.03.2018
- [FAU09] Faupel, Titus: Einsatz von RFID zur Optimierung dezentraler Materialfluss-Steuerung. Dissertation, Universität Freiburg, Fakultät für Wirtschafts- und Verhaltenswissenschaften, 2009

- [FM05] Fleisch Elgar; Mattern Friedemann (Hrsg.): Das Internet der Dinge- Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag, 2005 – ISBN 978-3-540-24003-7
- [FOM18] URL https://www.fom.de/fileadmin/fomalt/downloads/Forschungsprojekte/FOM_Logfor_MZ_20100114.pdf - Abrufdatum: 19.07.2018
- [GER19] Gerstbach (Hrsg.): Business Analyse-Techniken: Interview - URL <https://gerstbach-businessanalyse.com/wp-content/uploads/2014/08/Interviewtechnik.pdf> – Abrufdatum: 20.03.2019
- [GFX18] Günthner, Willibald A. (Hrsg.); Fruth, Andreas; Xiang Wang, Kai: Technikleitfaden für RFID-Projekte. URL http://www.fml.mw.tum.de/rfid2/images/Downloadportal/RFID-AZM_Technikleitfaden.pdf – Abrufdatum: 13.10.2018
- [GGE16] Gastperlmaier, Andreas; Graf, Hans-Christian; Ehrentraut, Florian; Landschützer, Christian: Go2PI – Practically proved steps to implement the Physical Internet, 2016
- [GS118] GS1-Homepage: URL www.gs1.at/identifikationsnummern - Abrufdatum: 22.02.2018
- [GS1b17] GS1 Austria: Kompendium - GS1 Sync. https://www.gs1.at/fileadmin/user_upload/1_AT-GS1_Sync_B2CundAT-Zielmarkt_KOMPENDIUM_Rel.Nov.2017_GDSN_3.1.3_V1.0_20171120.pdf - Abrufdatum: 18.12.2018
- [GUD10] Gudehus, Timm: Logistik Grundlagen – Strategien – Anwendungen, 4. Auflage, Hamburg: Springer Verlag, 2010 – ISBN 978-3-540-89388-2
- [IDE18] URL - <http://www.identifikation.info/idpages/pmw/sites/identifikation.info/Integration/AufbauDesEPC> - Abrufdatum: 21.02.2018
- [IFM19] ifm electronic: Datenblatt, Volumenbestimmung für Lager- und Fördertechnik: URL <https://www.ifm.com/binaries/content/assets/pdf-files/de/de/produktneuheiten/2017/hmi/updates/update-o3d/ifm-o3d300-volumenbestimmung-lager-foerdertechnik-o3d-d-16.pdf> - Abrufdatum: 22.03.2019
- [IND18] Indyon-Homepage: URL <http://www.indyon.de/index.php/de/trackrace> - Abrufdatum: 24.7.2018
- [INF18] Infsoft-Homepage: URL <https://www.infsoft.com/de/technologie/hardware/infsoft-locator-tags> - Abrufdatum: 04.12.2018

- [INT19] Fraunhofer Institut Homepage: URL <https://www.int.fraunhofer.de/cotent/dam/int/de/documents/EST/EST%200515%20Visuelle%20Navigation.pdf> – Abrufdatum: 29.01.2019
- [KAN19] Kane, Chris: Collaborative Distribution - How CPG manufacturers and retailers can save millions and embrace the green revolution. URL http://cdn2.hubspot.net/hub/396583/file-2124995878-pdf/docs_new/Collaborative_Distribution.pdf?t=1421438648603 - Abrufdatum: 22.03.2019
- [KSS17] Kersten, W.; Seiter, M.; von See, B.; Hackius, N.; Maurer, T.; Tends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management; Hamburg, DVV Media Group GmbH; 2017 – ISBN 978-3-87154-607-5
- [KUN14] Kühnapfel, J.; Nutzwertanalyse in Marketing und Vertrieb, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014 - ISBN:978-3-658-05508-0
- [LEU19] Leuze, Optische Laser-Distanzsensoren, Datenblatt – URL https://leuze.de/de/deutschland/produkte/messende_sensoren/optische_abstandssensoren/odsl_6/selector.php - Abrufdatum: 09.02.2019
- [LOG18] Logistik Knowhow-Homepage: URL <https://logistikknowhow.com/bestandsverwaltung/vergleich-unterschiedlicher-rfid-transponder-fur-den-einsatz-im-stationaren-einzelhandel/>; Abrufdatum: 03.12.2018
- [LON19] Logistik News 24 Homepage: URL <http://www.logistik-news24.de/digitalisierung-logistik/> - Abrufdatum: 26.02.2019
- [MAD18] Madlberger, Maria: Elektronischer Stammdatenaustausch in Österreich - Ergebnisse der Befragung von Handelsmanagern im österreichischen Lebensmittelgroß- und -einzelhandel sowie Drogeriefachhandel. URL https://www.gs1.at/fileadmin/user_upload/Studie_Elektronischer_Stammdatenaustausch_in_Oesterreich.pdf - Abrufdatum: 31.11.2018
- [MAR14] Heinrich Martin, Transport- und Lagerlogistik, Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik, 9. Auflage, Hamburg: Springer Verlag, 2014 – ISBN 978-3-658-03142-8
- [MEL06] Melski Adam; Grundlagen und wirtschaftliche Anwendungen von RFID; Arbeitsbericht 11/2006, Universität Göttingen, Hrsg.: Schumann Matthias, 2006
- [MIC19] Microsoft Homepage: URL <https://www.microsoft.com> - Abrufdatum: 29.1.2019

- [MOD18] Modular Logistics Unit in shared Co-modal Networks: Projekt-Homepage, URL <http://www.modulushca.eu/> - Abrufdatum: 23.11.2018
- [MON11] Montreuil, Benoit: Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge; 2011
- [NIS19] Niesel Homepage: URL <https://www.niesel.de> – Abrufdatum: 29.1.2019
- [PNB14] Pan, Shenle; Nigrelli, Michele; Ballot, Eric; Sarraj, Rochdi; Yang, Yanyan: Perspectives of inventory control models in the Physical Internet: A simulation study, Paris, 2014
- [PRO18] Forschungsprojekt protoPI – Endbericht, FH OÖ Forschungs- und Entwicklungs GmbH (FH OÖ), TU Graz - Institut für Technische Logistik (ITL), 2018
- [RIC13] Richter, Markus: Nutzenoptimierter RFID-Einsatz in der Logistik-Eine Handlungsempfehlung zur Lokalisierung und Bewertung der Nutzenpotentiale von RFID-Anwendungen; Universitätsverlag der TU Berlin, 2013 - ISBN 978-3-7983-2523-4
- [RK19] Retscher Günther, Kistenich Michael; Vergleich von Systemen zur Positionsbestimmung und Navigation in Gebäuden, Fachbeitrag, URL <https://geodaesie.info/zfv/heftbeitrag/710> - Abrufdatum: 09.01.2019
- [SGH10] Scholz-Reiter, Bernd; Gorltdt, Christian; Hinrichs, Uwe; Topi Tervo, Jan; Lewdandowski, Marco: RFID-Einsatzmöglichkeiten und Potentiale in logistischen Prozessen, Bremer Institut für Betriebstechnik und angewandte Arbeitswissenschaft, Bremen, 2010 - ISSN 1863-625X
- [SMA18] Expertengespräche mit Mitarbeitern des Sensoriklieferanten Schmachtl GmbH
- [SOE18] Schoeller Allibert-Homepage: URL <https://www.schoellerallibert.de/produkte/stackable-containers/euro-stacking-containers/vda-rrl-klt/vda-rl-klt-3147-stapelhalter-blau/> - Abrufdatum: 05.12.2018
- [SOL19] Solconia Homepage: URL <https://www.solconia.de/aktuelles/neuigkeiten/indoor-ortung-mit-uwb-bluetooth-wlan-und-passiver-rfid/> - Abrufdatum: 15.01.2019

- [SRA09] Straube, Frank (Hrsg.): RFID in der Logistik - Empfehlungen für eine erfolgreiche Einführung, Berlin: Universitätsverlag der Technischen Universität Berlin, 2009 – ISBN 978-3-7983-2115-1
- [STE19] Ferdinand-Steinbeis-Institut Homepage: URL <https://steinbeisfsti.de> – Abrufdatum: 04.02.2019
- [STR05] Strasser Martin; RFID im Supply Chain Management, Auswirkungen und Handlungsempfehlungen am Beispiel der Automobilindustrie; Dissertation, Universität St. Gallen, Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2005
- [TON19] T-mobile-Homepage: URL https://www.t-online.de/digital/smartphone/id_46404754/was-sind-qr-codes-und-wie-nutzt-man-sie-.html Abrufdatum: 06.01.2019
- [UBI18] Ubimax Homepage: URL <https://www.ubimax.com/de/loesungen/xpick.html> - Abrufdatum: 20.12.2018
- [ULT18] Ultra-Wideband Homepage: URL <https://www.ultrawideband.de/de/technologie.php> - Abrufdatum: 30.12.2018
- [VDM18] Homepage VDMA: URL <https://foerd.vdma.org/viewer/-/v2article/render/16118581> - Abrufdatum: 8.2.2018
- [WEN18] Expertengespräche mit dem Bereichsleiter National, Umschlag, Systemverkehre EU der Wenzel Logistics GmbH
- [WSR18] Wehking, Karl-Heinz; Siepenkort, Andre; Rahn, Klaus-Peter: RFID – Systematische Versuche für den Einsatz in der Logistik: URL <https://www.logistics-journal.de/not-reviewed/2007/4/1017> Abrufdatum: 19.09.2018
- [ZEB19] Zebra Homepage: URL <https://www.zebra.com/de/de/products/supplies/rfid-labels-tags.html> - Abrufdatum: 06.01.2019

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Klassisches, hierarchisch aufgebautes Distributionsnetzwerk [PNB14]	1
Abbildung 1-2: Offenes Distributionsnetzwerk durch das PI [PNB14]	2
Abbildung 1-3: Angewandte Methoden	5
Abbildung 2-1: Einstufiges Netzwerk [GUD10, S.18]	7
Abbildung 2-2: Mehrstufiges Transportnetzwerk mit Sammel- und Verteilstationen [GUD10, S.19]	8
Abbildung 2-3: Funktionen eines Logistikhubs [GUD10, S. 21]	8
Abbildung 2-4: Strichcodeaufbau [MAR14, S. 506]	12

Abbildung 2-5: QR-Code [TON19]	12
Abbildung 2-6: High Capacity Color Barcode von Microsoft [COM19].....	13
Abbildung 2-7: Wissen in Unternehmen über RFID-Technologie [RIC13, S. 3] .	14
Abbildung 2-8: Standardprozess für B-2-B Netzwerke im PI [ELJ16, S.6].....	16
Abbildung 2-9: Angestrebte Beschleunigung von Transporten vom Lieferanten zum Kunden [BMM14, S. 78]	17
Abbildung 2-10: Hub-Typen bezogen auf die PI-Containergröße [BMM14, S.79]	18
Abbildung 2-11: Etappen eines Expertengesprächs [GER19, S. 1].....	19
Abbildung 2-12: Vorgehen bei Expertengesprächen.....	20
Abbildung 2-13: Vorgehen bei der Nutzwertanalyse [KUN14, S. 6].....	22
Abbildung 3-1: Umsetzungsschema vom konventionellen Hub zum PI-Hub.....	24
Abbildung 3-2: Schema zur Ermittlung von Lösungsansätzen.....	25
Abbildung 3-3: Komponenten eines RFID- Systems [FM5]	28
Abbildung 3-4: Frequenzbereiche und relevante Eigenschaften für RFID [MEL06, S. 41]	30
Abbildung 3-5: RFID-Label [ZEB19].....	31
Abbildung 3-6: Optoelektronischer Lichtvorhang [DIE18]	33
Abbildung 3-7: Lichtgitteranordnung zur Volumenmessung [DUO19].....	34
Abbildung 3-8: Optischer Distanzsensor [BIB19].....	34
Abbildung 3-9: Ausstattung eines Gabelstaplers für ein RFID- Ortungssystem [IND18].....	35
Abbildung 3-10: Nachgerüsteter Gabelstapler [7ID19].....	36
Abbildung 3-11: Kombination von BLE- und RFID- Technologie [INF18].....	37
Abbildung 4-1: Darstellung der internen Prozesse im PI-Hub mit eingehendem und ausgehendem Datentransfer.....	40
Abbildung 4-2: Kostenentwicklung von RFID-Tags [FLE, S.14]	43
Abbildung 4-3: 2D-Testaufbau [WSR18, S.8].....	46
Abbildung 4-4: dreidimensionale Transponderanordnung [WSR18, S. 9].....	47
Abbildung 4-5: Ausrichtung der Transponder zu den Feldlinien [WSR18, S. 13]	48
Abbildung 4-6: Integration von realer und virtueller Welt [RIC13, S.45].....	51
Abbildung 4-7: RFID-System an mobiler Fördertechnik [SGH10, S. 19].....	52
Abbildung 4-8: Identifikation von RFID Transpondern durch ein RFID-Portal [LOG18]	52
Abbildung 4-9: Kleinladungsträger (KLT) [SOE18]	53
Abbildung 4-10: Anordnung von 9 Behältern auf einer Palette	54
Abbildung 4-11: Anordnung von 4 Behältern auf einer Palette	55
Abbildung 4-12: Position der Messanlage im WE.....	55
Abbildung 4-13: Schematischer Aufbau der Volumenmessung im Grundriss ...	56
Abbildung 4-14: Blocklager mit RFID-Tags an den Kreuzungen	57
Abbildung 4-15: Regalgassen mit RFID- Tags an Kreuzungen und jedem Regalsegment.....	58
Abbildung 4-16: Positionierung von RFID-Readern an Stetigförderstrecken.....	59
Abbildung 4-17: Regalgassen mit BLE-Beacons an den Regalen	60
Abbildung 4-18: Regalgassen mit UWB-Anchors an den Regalen.....	61
Abbildung 4-19: Positionsbestimmung von Gabelstaplern mittels UWB [INF18]	62
Abbildung 6-1: Nutzen der Anwendungsszenarien im PI.....	70

7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Lagerfunktionen [GUD10, S.235]	10
Tabelle 3-1: Eigenschaften von Transpondern mit unterschiedlicher Energieversorgung [MEL06, S.10]	28
Tabelle 3-2: Eigenschaften von RFID-Systemen in Abhängigkeit von der Arbeitsfrequenz [GFX18, S.18].....	29
Tabelle 4-1: Definition der Kriterien mit Gewichtung	42
Tabelle 4-2: Beispielhafte Punktebewertung.....	43
Tabelle 4-3: Punktebewertung unter Berücksichtigung von RFID-Weiterentwicklungen.....	44
Tabelle 4-4: Definition der Kriterien mit Gewichtung	45
Tabelle 4-5: Bewertung von RFID-Transpondern	45
Tabelle 4-6: Bewertung von RFID-Transpondern bei notwendiger Sensorik	46
Tabelle 4-7: Vergleich von Daten aus Online-Portalen und interner Erfassung	49
Tabelle 4-8: Vergleich von 1D- und 3D-Systemen zur Volumenerfassung.....	49
Tabelle 4-9: Punktebewertung von Technologien zur Positionserfassung	50
Tabelle 5-1: Eigenschaften wichtiger Technologien zur Positionsbestimmung ..	66