



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

Intralogistik: Analyse von Warenströmen mittels automatischen Identifizieren und Lokalisieren von Objekten

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,
Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Lisa Maria Fröhlich, BSc BSc

0650990 (066 482)

Rohrbacherstraße 13/1/5

1130 Wien

Wien, im Jänner 2018

Lisa Maria Fröhlich



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Jänner 2018

Lisa Maria Fröhlich

Danksagung

Für meine Eltern.

Kurzfassung

Die vierte industrielle Revolution findet bereits statt und ist kein fernes Zukunftsszenario mehr. Unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ versteht man die totale Digitalisierung und Vernetzung von Produktions- und Logistikprozessen, die Verschmelzung von realer und virtueller Welt sowie den Übergang zu selbstlernenden, intelligenten Fabriken. In diesem dynamischen Umfeld ergibt sich die Notwendigkeit, den gesamten Wertschöpfungsprozess in Echtzeit zu steuern und zu optimieren. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in der Intralogistik wider. Warenströme sollen sowohl im Innen-, als auch im Außenbereich des Betriebsgeländes in Echtzeit identifiziert und lokalisiert werden, um eine zeitnahe Warenverfügbarkeit zu ermöglichen.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, einen Überblick über automatische Identifikationssysteme (Auto-ID-Systeme) und Echtzeitlokalisierungssysteme (RTLS) in der Intralogistik zu schaffen. Zu den wichtigsten Auto-ID-Systemen zählen RFID-Systeme, Barcodes und die optische Zeichenerkennung (OCR). Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Marktanalyse aktueller Echtzeitlokalisierungssysteme, die eine indirekte Warenortung über die direkte Ortung des warentransportierenden Gabelstaplers ermöglichen. Es werden aussagekräftige Kriterien für die Bewertung der Fähigkeiten der RTLS ausgearbeitet, wobei diese sich in technische Parameter und kundenrelevante Entscheidungskriterien unterteilen lassen. Anhand dieser Kriterien werden am Markt verfügbare RTLS miteinander verglichen und gegenübergestellt. Im Ergebnis liefert diese Arbeit einen Überblick darüber, welche Fähigkeiten die jeweiligen Systeme besitzen. Abhängig von den unternehmensspezifischen Anforderungen hinsichtlich der Lokalisierungsgenauigkeit, Flexibilität, Skalierbarkeit, Reichweite und dem Einsatzbereich lässt sich somit eine Empfehlung bei der Auswahl eines Lokalisierungssystems aussprechen.

Abstract

“Industry 4.0” or the Fourth Industrial Revolution has already begun and is no longer a remote future scenario. "Industry 4.0" stands for the total digitization and networking of production and logistics processes, the merging of the real and virtual world as well as the transition to self-learning intelligent factories. In this dynamic environment, there is a need to control and optimize the entire value-added process in real time. This development is also reflected in intralogistics. Flows of goods are to be identified and localized both in the indoor and outdoor area of the plant site in real time in order to enable the timely availability of goods.

The aim of this diploma thesis is to provide an overview of automatic identification systems (auto-ID systems) and real-time localization systems (RTLS) in intralogistics. The most important auto-ID systems include RFID systems, barcodes and optical character recognition (OCR). The focus of this thesis is on the market analysis of currently available real time localization systems, which enable an indirect tracking of goods via a direct tracking of the transporting forklift truck. Significant criteria for evaluating RTLS's abilities are developed and subdivided into technical parameters and customer-relevant decision criteria. On the basis of these criteria, localization systems which are available on today's intralogistics market, are compared. As a result, this thesis provides an overview of the abilities of the respective systems. Depending on the company-specific requirements regarding localization accuracy, flexibility, scalability, scope and area of application, a recommendation can be made when selecting a suitable localization system.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit	3
1.4	Begriffserklärungen	4
2	Intralogistik im Hinblick auf das Zukunftskonzept „Industrie 4.0“	8
2.1	Definition Intralogistik	8
2.2	Intelligente Intralogistik in der Industrie 4.0	9
2.2.1	Megatrends für die Zukunft der Intralogistik	9
2.2.2	Automatisierungssprung in der „Industrie 4.0“.....	10
2.2.3	Intralogistik im Informationsfluss	14
3	Automatisierte Identifikationstechnologien	16
3.1	Die Bedeutung von Auto-ID-Technologien für die moderne Intralogistik	16
3.2	Aufbau eines Auto-ID-Systems	17
3.3	Identifikationstechniken in der Intralogistik	17
3.3.1	Barcode.....	19
3.3.1.1	Codeaufbau	19
3.3.1.2	Mehrdimensionale Barcodes	21
3.3.2	OCR - Optische Zeichenerkennung	21
3.3.3	RFID.....	22
3.3.3.1	Funktionsweise der RFID- Transponder.....	22
3.3.3.2	Energieversorgung	23
3.3.3.3	Frequenzbereiche.....	24
3.3.3.4	Reichweite	25
3.3.3.5	Chipeigenschaften	26
3.4	Anforderungen an Auto-ID-Systeme	28
3.5	Vergleich der Systeme	29
4	Lokalisierungstechnologien	31
4.1	Satellitenbasierte Ortung.....	34
4.2	Terrestrische Ortung	35

4.2.1	Funkbasierte Ortung.....	35
4.2.1.1	Aufbau eines funkbasierten Ortungssystems	35
4.2.1.2	Lokalisierungsverfahren.....	38
4.2.1.3	Geeignete Signale zur Positionsbestimmung	42
4.2.2	Bildgebende Ortung – Optik und Akustik.....	45
4.2.2.1	Kamerabasierte Verfahren.....	45
4.2.2.2	Zeitbasierte Verfahren	48
4.3	Kurzüberblick Lokalisierungstechnologien	49
5	Anforderungsanalyse des aktuellen Marktes für Echtzeitortungssysteme.....	51
5.1	Indirekte Warenortung über den Gabelstapler	51
5.2	Definition der Bewertungskriterien.....	53
5.2.1	Technische Parameter	53
5.2.1.1	Ortungssignal.....	53
5.2.1.2	Lokalisierungsverfahren.....	54
5.2.1.3	Systemarchitektur	54
5.2.1.4	Frequenz	55
5.2.2	Kundenrelevante Kriterien.....	56
5.2.2.1	Integrationsaufwand	56
5.2.2.2	Flexibilität.....	58
5.2.2.3	Skalierbarkeit	59
5.2.2.4	Lokalisierungsfunktion.....	60
5.2.2.5	Lokalisierungsleistung.....	61
5.2.2.6	Störanfälligkeit abhängig vom Einsatzbereich.....	62
5.2.2.7	Weitere Kriterien	63
5.3	Fähigkeiten aktueller Staplerortungssysteme.....	64
5.3.1	Satellitensystem	65
5.3.2	RFID.....	67
5.3.3	WLAN.....	72
5.3.4	Bluetooth-Beacon Technologie	76
5.3.5	Ultraweitband.....	80
5.3.6	Kamerabasierte Systeme	91
5.3.7	Laserscan.....	95

5.3.8	Ultraschall.....	99
6	Ergebnisse der Anforderungsanalyse.....	100
6.1	Lokalisierungsverfahren und Frequenz	102
6.2	Lokalisierungsgenauigkeit, Reichweite, Einsatzbereich	104
6.3	Flexibilität, Skalierbarkeit und Systemarchitektur.....	108
6.4	Fazit der Anforderungsanalyse	111
7	Schlusswort.....	113
8	Expertengespräche	115
9	Literaturverzeichnis	117
10	Abbildungsverzeichnis.....	132
11	Tabellenverzeichnis.....	134
12	Abkürzungsverzeichnis.....	135

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Intralogistikbranche ist im Umbruch. Um die Umsetzung des Zukunftskonzepts „Industrie 4.0“ zu ermöglichen, sollen immer effizientere Lösungen und Technologien entwickelt werden. Laut der Intralogistik-Studie 2016, die von der Logistikberatung IWL mit 88 deutschen Unternehmensvertretern aus der Intralogistik-Branche durchgeführt wurde, dominiert das Thema „Industrie 4.0“ weiterhin den Markt. 24% der Befragten definierten das Konzept als zukunftsweisend; 44% sehen in der Konzeptumsetzung großes Potenzial. ¹



Abbildung 1: Bedeutung des Konzepts „Industrie 4.0“ laut Intralogistik-Studie 2016 ²

Rasante Entwicklungen und ein hohes Maß an Innovationen prägen die moderne Intralogistik und setzen diese unter enormen Druck. Bei jedem gewinnorientierten Unternehmen gilt es stets, die Kosten auf ein Minimum zu reduzieren. Erreicht soll dies über geringere Durchlaufzeiten, eine Optimierung der Warenströme, geringere Lagerbestände und fehlerfreie Prozesse werden. Ob Großunternehmen, die auf E-Commerce spezialisiert sind, KMUs oder Start-Ups; inzwischen muss jedes Unternehmen, ob produzierend oder Handel betreibend, der Logistik besondere Aufmerksamkeit schenken. So stellt auch die Intralogistik, die sich mit den Warenströmen innerhalb des Betriebsgeländes beschäftigt, eine Kernkompetenz gewinnorientierter Unternehmen dar. Dies spiegelt sich in einem drastischen Nachfrageanstieg nach logistischen Lösungen in den letzten Jahren wider. Da Unternehmen sich in vielerlei Aspekten voneinander unterscheiden, kann es keine universell gültige Systemlösung geben. Daher entwickeln Logistiklösungsanbieter meist eine Standardlösung, die sie anschließend an die individuellen Bedürfnisse ihrer Kunden anpassen können. So werden die Kosten im Rahmen gehalten. ³

Tatsächlich befindet sich die Lagerlogistik seit mehreren Jahrzehnten im Wandel und entwickelt sich zur High-Tech-Branche im Sinne des Konzepts „Industrie 4.0“. Eine Verschmelzung von virtueller und realer Welt mit Hilfe des „Internet der Dinge“/

¹ Vgl. URL: <https://www.iwl.de/intralogistikstudie> (18.05.2016), PDF 1, S.6

² Ebenda, S.6

³ Vgl. URL: <http://www.ssi-schaefer.de/blog/intralogistik-trends/intralogistik-entwicklung/> (18.05.2016), PDF 2, S.1-2

„Internet of Things“ (IoT) wird dabei angestrebt. Dinge werden mit einer eigenen Intelligenz ausgestattet, so dass sie nicht nur eindeutig identifiziert und lokalisiert werden, sondern auch eigenständig miteinander kommunizieren und die Material- und Warenströme selbst organisieren und steuern können. Man kann bereits einen kontinuierlichen Übergang vom manuellen zum vollautomatisierten Lager beobachten; geprägt von hochperformanten Lager- und Kommissioniermaschinen, Roboter-Applikationen und automatisierten Produktidentifikationssystemen. Aufgrund der hohen Komplexität der Lager muss die Prozesssteuerung optimal funktionieren. Dies geschieht über die Vernetzung von IT-Systemen untereinander sowie mit dem Internet. Diese Systeme werden als Cyber-Physical-Systems (CPS) bezeichnet und werden zur Steuerung von Produktions- und Logistikprozessen installiert.

Aufgrund der wachsenden Automatisierung und Verzahnung in der Industrie werden intelligente Monitoring- und Steuerungstechniken benötigt, um die gesamte Wertschöpfungskette in Echtzeit zu überwachen und zu optimieren. Die automatisierte Identifikation mittels Auto-ID-Systemen, die Lokalisierung von Objekten und Menschen sowie deren Zustandsüberwachung sind daher wichtiger Bestandteil eines modernen Lagers. Mit Hilfe von automatisierten Echtzeitlokalisierungssystemen, sogenannten Real Time Location Systems (RTLS), können Warenströme in Echtzeit erfasst und analysiert werden. Die zeitnahe Datenübertragung wird in Zukunft zur Implementierung vollkommen autonomer Entscheidungsprozesse in Produktion und Lager führen.⁴

Die Anzahl der RTLS-Anbieter ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Dies hat zu einer Verschärfung des Wettbewerbs geführt. Die angebotenen Systeme beruhen dabei auf unterschiedlichen Technologien. Die mangelnde Transparenz des RTLS-Marktes bezüglich der angebotenen Leistungen erschwert dem Kunden die Wahl des passenden Systems. Es gibt keine universell gültige Systemlösung, die für alle Unternehmen am besten geeignet ist. Vielmehr ist eine individuelle Abstimmung der unternehmensspezifischen Anforderungen mit den Eigenschaften des Lokalisierungssystems notwendig. Der Entscheidungsprozess für das geeignetste System sollte daher vereinfacht und beschleunigt werden.

1.2 Zielsetzung

Primäres Ziel dieser Diplomarbeit ist es, einen Überblick über die aktuell verfügbaren automatischen Identifikations- und Lokalisierungssysteme in der Intralogistik zu geben. Dabei sollen die vielfältigen Realisierungsansätze für die Gestaltung der Systeme und ihre spezifischen Fähigkeiten erläutert werden. In einem ersten Schritt werden die für die Identifikation von Warenströmen relevanten, automatischen Identifikationssysteme (Auto-ID-Systeme) vorgestellt. Nachdem ihre technischen Funktionsprinzipien erklärt wurden, werden die Systeme miteinander verglichen. Da das Konzept „Industrie 4.0“ ein Tracking & Tracing von Warenströmen in Echtzeit anstrebt, widmet sich diese

⁴ Vgl. URL : <http://intralogistik.tips/industrie-40/> (18.05.2016), PDF 3, S. 1-2

Arbeit anschließend aktuellen, am Markt verfügbaren Echtzeitlokalisierungssystemen. Es wird zwischen satellitenbasierten und terrestrischen Lokalisierungssystemen unterschieden. Nach Erläuterung der technischen Grundlagen dieser Systeme werden in einem weiteren Schritt die Logistikhösungen führender RTLS-Anbieter vorgestellt. Der Fokus liegt dabei auf Systemen, die die Ortung von Gabelstaplern im innerbetrieblichen Transportprozess und somit eine indirekte Warenortung ermöglichen. Anhand von aussagekräftigen Anforderungskriterien werden anschließend die technischen Eigenschaften und Fähigkeiten dieser RTLS gegenübergestellt. Dieser Vergleich soll Unternehmen bei der Auswahl des passenden Lokalisierungssystems unterstützen.

Forschungsfragen

Bezugnehmend auf die Herausforderungen, die sich im Bereich der automatisierten Identifikations- und Lokalisierungstechnologien in der Intralogistik stellen, werden im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit folgende Forschungsfragen erarbeitet:

- 1. Welche Anforderungen stellt das Konzept „Industrie 4.0“ an die Intralogistik der Zukunft? Wie gestaltet sich die Umsetzung des „Internets der Dinge“?*
- 2. Welche Technologien eignen sich für die automatische Identifikation von Warenströmen in der Intralogistik? Wie sind diese Auto-ID-Systeme aufgebaut? Anhand welcher Kriterien können sie miteinander verglichen werden?*
- 3. Wie unterscheiden sich satellitenbasierte und terrestrische Lokalisierungssysteme voneinander? Welche Lokalisierungsverfahren werden dabei jeweils zur Positionsbestimmung verwendet?*
- 4. Wie können Warenströme indirekt über den warentransportierenden Gabelstapler geortet werden? Welche RTLS gibt es für diesen Anwendungsfall derzeit auf dem Logistikmarkt? Wie können diese RTLS anhand von aussagekräftigen Anforderungskriterien miteinander verglichen werden?*

1.3 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 1 werden die Herausforderungen der Logistikbranche angeführt. Das Zukunftskonzept „Industrie 4.0“, die damit verbundene zunehmende Automatisierung sowie der Trend zum „Internet der Dinge“ prägen das Bild. Es ergibt sich die Notwendigkeit, Warenströme in Echtzeit automatisiert zu identifizieren und zu lokalisieren.

Der Begriff „Intralogistik“ wird im Kapitel 2 näher erklärt. Anschließend werden die Megatrends dieser Branche beschrieben. Es wird sich ein Bild darüber verschafft, wie intelligente Logistikräume mit Hilfe des „Internet der Dinge“ gestaltet werden können.

Das Konzept der „Smart Factory“ im Sinne der „Industrie 4.0“ und die damit verbundenen Potenziale werden thematisiert.

Kapitel 3 widmet sich den Auto-ID-Systemen, die die Basis eines jeden Echtzeitlokalisierungssystems darstellen. Nachdem das technische Funktionsprinzip eines Auto-ID-Systems erläutert worden ist, werden unterschiedliche Identifikationstechniken vorgestellt. Dabei wird der Fokus auf die für die Intralogistik besonders relevanten Identifikationstechniken gelegt (mechanische, optische und elektromagnetische ID-Techniken). Anschließend werden die Auto-ID-Systeme anhand von aussagekräftigen Bewertungskriterien miteinander verglichen.

Die wichtigsten Lokalisierungsverfahren werden in Kapitel 4 angeführt. Sie unterscheiden sich anhand der Informationen, die zwischen Sendern und Empfängern ausgetauscht werden. Für die Verfolgung von Warenströmen in Echtzeit kann zwischen funk- und bildbasierten Lokalisierungssystemen gewählt werden. Ihre technischen Funktionsprinzipien werden näher erläutert.

In Kapitel 5 werden die Anforderungskriterien für Echtzeitlokalisierungssysteme, die eine indirekte Waren- und Palettenortung über den Gabelstapler ermöglichen, definiert. Zu diesen Anforderungskriterien zählen technische Parameter und kundenrelevante Bewertungskriterien. Anschließend werden die Echtzeitlokalisierungssysteme ausgewählter Systemanbieter vorgestellt und ihre Fähigkeiten anhand der vorher definierten Anforderungskriterien beschrieben.

In Kapitel 6 werden die ausgewählten Lokalisierungssysteme schließlich miteinander verglichen und die Ergebnisse der Anforderungsanalyse graphisch dargestellt. Ziel ist es, die Fähigkeiten der Systeme im Hinblick auf die Lokalisierung von Gabelstaplern im unternehmensspezifischen Kontext aufzuzeigen und somit eine Hilfestellung bei der Entscheidung für das geeignetste RTLS zu leisten.

1.4 Begriffserklärungen

Auto-ID-Systeme: Auto-ID-Systeme verbinden die reale Welt mit IT-Systemen und ermöglichen das automatische Erkennen von bestimmten Merkmalen und somit eine automatische Identifizierung von Objekten. ⁵

Compliance: Unternehmensprozesse sollen vorschriftsgemäß und ethisch korrekt gestaltet werden. ⁶

Cyber-physische Systeme (CPS): Cyber-physische Systeme stellen die Schnittstelle zwischen der virtuellen und der physikalischen Welt dar. Sie bilden die technologische Basis für die Umsetzung des „Internet der Dinge“ und ermöglichen - dank der

⁵ Vgl. Strassner, 2015, S.54

⁶ Vgl. URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Compliance> (18.05.2016), PDF 9

eingebetteten Software und Elektronik - die eigenständige Kommunikation der Objekte untereinander. CPS spielen in Zukunft eine wichtige Rolle und werden in den verschiedensten Anwendungsfeldern zum Einsatz kommen.⁷

Echtzeitlokalisierungssysteme (Real Time Location Systems RTLS): Es handelt sich dabei um Lokalisierungssysteme, bei denen die Positionsbestimmung von Objekten oder Personen in Echtzeit erfolgt. Man unterscheidet zwischen funk- und bildbasierten Systemen. Um das jeweilige Objekt mittels Funktechnik zu lokalisieren, muss dieses mit einem Transponder ausgestattet werden. Dieser sendet seine Positionsdaten an einen ortsgebundenen Empfänger. Es werden dabei unterschiedliche Technologien (z.B. WLAN, UWB, RFID) und Verfahren (z.B. Triangulation, Trilateration) eingesetzt.⁸

Flurförderzeug: Ein Flurförderzeug ermöglicht den innerbetrieblichen horizontalen und vertikalen Transport von Gütern inner- oder außerhalb des Lagers. Sie gehören zu der Gruppe der Unstetigförderer und unterstützen die Mitarbeiter bei der Beförderung von großen schweren oder sperrigen Objekte. Durch das Beladen bzw. Entladen wird der Transport gestartet bzw. beendet. Flurförderzeuge sind im Vergleich zu Stetigförderern flexibler, wenn sie sich frei bewegen können und nicht flur- bzw. schienengebunden sind. Zu den Flurförderzeugen zählen beispielsweise Gabelstapler, Hubwagen oder Kommissionierfahrzeuge.⁹

Industrie 4.0: Sie stellt die vierte Stufe der industriellen Revolution dar. Die Basis bilden Cyber-Physische-Systeme. Dabei sollen aktuelle Trends aus der Welt der Informations- und Kommunikationstechnologie in industrielle Produktionssysteme integriert werden. Das Ziel ist eine Verschmelzung von realer und virtueller Welt.¹⁰

Internet of Things (IoT): IoT sieht vor, dass alle Dinge, die bisher auf eine Steuerung durch den Menschen angewiesen waren, nun dank der weltweiten Verbreitung des Internets ein Eigenleben entwickeln. Objekte besitzen demnach eine eigene Intelligenz (sog. Smarte Objekte).¹¹

Intralogistik: Umfasst „die logistischen Material- und Warenflüsse, die sich innerhalb eines Betriebsgeländes abspielen. Der Begriff wurde in Abgrenzung zum Warentransport definiert als die Organisation, Steuerung, Durchführung, Informationstransparenz und Optimierung des innerbetrieblichen Waren- und Materialflusses.“¹²

⁷ Vgl. URL: <http://www.ideen2020.de/de/de/1906/> (19.05.2016), PDF 11

⁸ Vgl. URL: <http://iwi.wifa.uni-leipzig.de/iwi/im/forschung/forschungsgruppe-fuba/rtls.html> (13.04.2016), PDF 5

⁹ Vgl. URL: <https://logistikknowhow.com/flurforderzeug/> (22.08.2016), PDF 72, S.1

¹⁰ Vgl. URL:

http://www.ipa.fraunhofer.de/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Pressinformationen/2016/Juni/WGP_Standpunkt_Industrie_4.0.pdf, (19.03.2017), PDF 43, S.3

¹¹ Vgl. URL: <http://neocosmo-next.piipe.de/digital-lifestyle/das-internet-der-dinge> (18.05.2016), PDF 6, S. 1

¹² URL: <http://www.etiscan.de/service-und-support/glossar/i-l/intralogistik.html>, (08.04.2016), PDF 4

Lokalisierung: Unter dem Begriff Lokalisierung versteht man die Ortsbestimmung bzw. Positionsbestimmung eines Objekts im Verhältnis zu einem definierten Fixpunkt. Bei der Ortsbestimmung handelt es sich i.d.R. um das Feststellen des eigenen Standorts. Falls die bloße Anwesenheit eines Objekts registriert werden soll, spricht man von Detektion. Die Echtzeitortung im freien Gelände wird von der ISO/IEC 19762:2016 normiert. Das satellitenbasierte Global Positioning System entspricht beispielsweise diesem Standard. Neueste Technologien ermöglichen außerdem die Lokalisierung von Objekten innerhalb von Gebäuden. ^{13 14}

Radiofrequenzidentifikation (RFID): Die RFID-Technik ermöglicht eine kontaktlose Kommunikation zwischen dem Datenträger (Transponder oder Tag) und einem Schreib-/Lesegerät mit Antenne. Die Datenübertragung erfolgt über elektromagnetische Wellen, sobald der Transponder in die Reichweite der Antenne gelangt. Informationen können daraufhin vom Speicher des Transponders gelesen oder auf ihm gespeichert werden. ¹⁵

Sensorik & Aktorik: Sensoren erfassen Informationen bezüglich physikalischer Größen. Im Gegensatz dazu verändern Aktoren aktiv diese Größen oder erzeugen Bewegungen. Sensoren werden zur Steuerung, Überwachung und Dokumentation benötigt. ¹⁶

Staplerleitsystem (SLS): Ein Staplerleitsystem ermöglicht die Organisation und Steuerung von Flurförderzeugen, insbesondere von Gabelstaplern. Die Abwicklung innerbetrieblicher Transportwege wird dank einer Informationsübertragung in Echtzeit optimiert. Leer- und Suchfahrten sollen vermieden werden. Das SLS besteht aus einer zentralen Steuereinheit, die meist per Funk Anweisungen an die mobilen Terminals der Flurförderzeuge sendet. Das SLS besitzt entweder eine eigenständige Software, die an eine Lagerverwaltungssoftware angeschlossen wird oder ist selbst Teil einer solchen Lagerverwaltungssoftware. ¹⁷

Tracking & Tracing: Ziel des Tracking und Tracing ist das Auffinden und Rückverfolgen von bewegten Waren. Die geforderte Ortungsgenauigkeit ist dabei von den Umgebungsbedingungen, der Größe der Objekte und den abzudeckenden Flächen abhängig. ¹⁸

¹³ Vgl. URL: <http://wörterbuchdeutsch.com/de/ortsbestimmung> (06.07.2016), PDF 63, S.1

¹⁴ Vgl. URL: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=50718 (11.08.2016), PDF 65, S.1

¹⁵ Vgl. URL: <http://www.tagnology.com/rfid/was-ist-rfid.html> (18.05.2016), PDF 10, S.1

¹⁶ Vgl. URL: <https://www.vde.com/de/fg/dgbmt/arbeitsgebiete/projekte/intelligente-implantate/sua/Seiten/sua-start.aspx> (06.06.2016), PDF 8

¹⁷ Vgl. URL: <http://www.logistik-xtra.de/interne-transportprozesse-mittels-staplerortung-und-staplerleitsystem-optimieren> (28.06.2016), PDF 56, S.1

¹⁸ Vgl. URL: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Tracking-tracking.html> (16.07.2016), PDF 64, S.1

Warehouse Management System (WMS): Ein WMS steuert, kontrolliert und optimiert komplexe Lager- und Distributionssysteme. Ziel ist es, die Prozesssicherheit, Effizienz, Flexibilität und Transparenz der innerbetrieblichen Lager zu steigern. Zu den Aufgaben des WMS zählen nicht nur Mengen- und Lagerplatzverwaltung, Fördermittelsteuerung und –disposition, sondern auch die Kontrolle von Systemzuständen sowie die Auswahl an Betriebs- und Optimierungstools. ¹⁹

Wireless Local Area Network (WLAN): Mehrere Endgeräte werden in einem räumlich abgegrenzten Gebiet per Funk miteinander verbunden, wobei ein Frequenzbereich zwischen 2.4 und 2.48 GHz verwendet wird. Die Datenübertragung erfolgt über den Funkstandard IEEE 802.11. Als Basis müssen sogenannte Access Points installiert werden. Der Nutzer wird automatisch mit dem Access Point verbunden, in dessen Reichweite er sich befindet. Je größer das Netzwerk und die Zahl der Anwender, desto mehr Access Points werden benötigt. ²⁰

¹⁹ Vgl. URL: <http://www.warehouse-logistics.com/de/definition-wms-lvs.html> (05.06.2016), PDF 7, S.1

²⁰ Vgl. URL: <http://www.searchnetworking.de/definition/Access-Point-AP> (15.04.2016), PDF 12, S.1-2

2 Intralogistik im Hinblick auf das Zukunftskonzept „Industrie 4.0“

2.1 Definition Intralogistik

Der Begriff „Intralogistik“ wurde vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA) als Unterbegriff der Logistik definiert. Er beinhaltet laut dem Forum *„die Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung des innerbetrieblichen Materialflusses der Informationsströme sowie des Warenumschlags in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen.“*²¹ Intralogistik legt somit den Fokus auf die Transportwege und den Güterverkehr innerhalb des Betriebsgeländes. Warenverkehr außerhalb des Betriebsgeländes ist nicht inbegriffen. Neben dem internen Materialfluss beschäftigt man sich außerdem mit der Prozessorganisation und Informationsverwaltung, wobei alle am Prozess beteiligten Instanzen berücksichtigt werden. Es werden Entscheidungen bezüglich der Förder- und Sensortechnik sowie der Identifikationstechnologien und Kommunikationsnetzwerke mit dem Ziel getroffen, die Lagerung, die Transportwege am Betriebsgelände sowie die Auftragsabwicklungen zu optimieren.²²

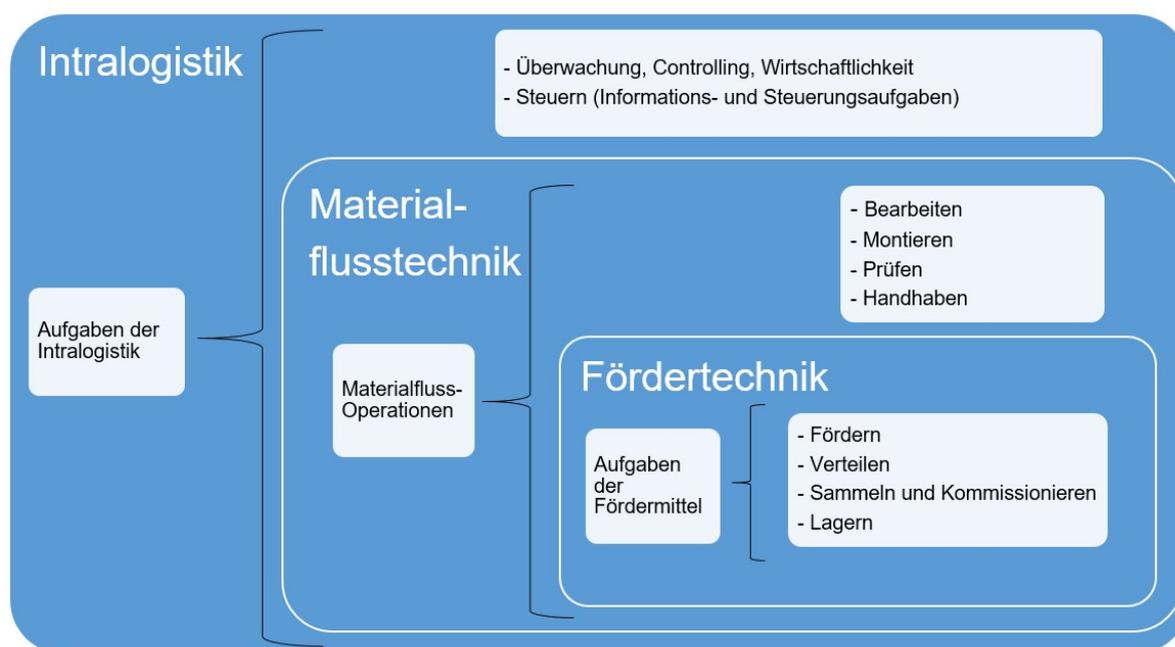


Abbildung 2: Aufgaben der Intralogistik²³

Die Intralogistik befindet sich demnach an der Schnittstelle zwischen Fördertechnik, Information, Kommunikation und Betriebswirtschaft. Um den Warenfluss auf dem

²¹ URL: <https://foerd.vdma.org/article/-/articleview/11195643> (08.11.2016), PDF 78

²² Vgl. URL: http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=I&title=Intralogistik (19.05.2016), PDF 13

²³ Vgl. URL: <http://www.intralogistik-bw.de/die-branche/das-ist-intralogistik/> (19.05.2016), PDF 14, S. 2

Betriebsgelände optimal gestalten und steuern zu können, ist eine Abstimmung zwischen folgenden Bereichen notwendig:

- Förder- und Lagertechnik,
- Sensorik und Aktorik,
- Identifikations-, Steuerungs- und Softwaresystemen,
- Planung, Dimensionierung und Prozessgestaltung.²⁴

2.2 Intelligente Intralogistik in der Industrie 4.0

2.2.1 Megatrends für die Zukunft der Intralogistik

Die Intralogistikbranche ist im Aufwärtstrend, doch stetig muss sie sich neuen Herausforderungen stellen, wie etwa der wachsenden Variantenvielfalt, der zunehmenden Produktindividualisierung, verkürzten Innovationszyklen, der Verringerung der Eigenfertigungstiefe und sich schnell verändernden Produktions- und Distributionsprozessen. Die Globalisierung erfordert Flexibilität und Effizienz von den Logistikanbietern. Auf kürzere Produktlebenszyklen und eine größere Vielfalt bei kleineren Losgrößen muss in der Intralogistik schnell reagiert werden. Anlagen sollen innovativ gestaltet und modular aufgebaut werden. Des Weiteren sollen Automatisierungslösungen eine zeitnahe Anpassung an die Marktentwicklungen ermöglichen. Der wachsende Automatisierungsgrad lässt sich vor allem durch dezentrale, serviceorientierte Organisations- und Steuerungsstrukturen erreichen.

Neben der notwendigen Flexibilität soll auch die Effizienz intralogistischer Prozesse gesteigert werden. Compliance, Sicherheit und Zuverlässigkeit der Unternehmensprozesse sind für den Unternehmenserfolg ausschlaggebend. Eine Prozessoptimierung kann durch die Vernetzung von Hard- und Software mittels WLAN oder GPRS (Datenübertragung in GSM-Netzen) erreicht werden. Durch neue Technologien werden die Prozesse beschleunigt. Die Wahl des richtigen Standardisierungsmaßes stellt für Logistiklösungsanbieter eine Herausforderung dar. Meist wird bei intralogistischen Lösungen mit Standardkomponenten gearbeitet, die anschließend individuell auf die unternehmensspezifischen Anforderungen zugeschnitten werden. Die Basis bilden modular aufgebaute Lagerlösungen, die die optimale Warenstromsteuerung ermöglichen sollen.²⁵

Das Thema Datensicherheit gewinnt aufgrund der Zunahme an gespeicherten und verarbeiteten Daten, die jederzeit und überall verfügbar sein sollen, zunehmend an Bedeutung. Eine Gefährdung durch unbefugten Datenzugriff ist allgegenwärtig und muss durch meist aufwändige und kostenintensive Sicherheitsvorkehrungen abgewehrt werden.

²⁴ Vgl. URL: <http://www.intralogistik-bw.de/die-branche/das-ist-intralogistik/> (19.05.2016), PDF 14, S. 3

²⁵ Vgl. URL: <http://telematik-markt.de/telematik/ausblick-auf-zuk%C3%BCnftige-anforderungen-sowie-trends-der-intralogistik#.VxC-qDCLShc> (19.05.2016), PDF 15, S.1-2

Ein weiterer Trend in der Intralogistik ist das Thema Ressourceneffizienz und Umweltschutz. Da Ressourcen immer knapper werden, steigen deren Preise. Gewinnorientierte Unternehmen, die ihre Kosten so niedrig wie möglich halten wollen, müssen in Zukunft ihren Ressourceneinsatz effizient planen und managen. Außerdem muss in Zeiten des Klimawandels umweltschonend gewirtschaftet werden. Unternehmen müssen sich an den neuen gesellschaftlichen Werten orientieren und sich mit dem Thema Umweltschutz auseinandersetzen. Energieeffiziente Technologien spielen eine entscheidende Rolle. Auch der modulare Aufbau von Intralogistiklösungen trägt zum Umweltschutz bei. Dank der Modularität lässt sich die Produktlebensdauer erhöhen, da nicht immer das gesamte Produkt, sondern nur einzelne Module ausgetauscht werden müssen. ²⁶

2.2.2 Automatisierungssprung in der „Industrie 4.0“

Das Zukunftskonzept „Industrie 4.0“ stellt die vierte Stufe der industriellen Revolution in der Fertigungsindustrie dar und ist unter Fachleuten und Experten in der Logistikbranche nicht mehr wegzudenken. Ziel ist es, die industriellen Abläufe in zahlreichen Branchen und Arbeitsgebieten, welche zunehmend arbeitsteiliger und dezentraler organisiert werden, noch intensiver zu automatisieren. Der Wertschöpfungsprozess wird dabei von Cyber-Physischen Systemen geregelt, wobei Produkte eigenständig die Unternehmensprozesse regeln und kontrollieren. Voraussetzung für die Konzeptumsetzung ist die automatische Identifikation (Auto-ID) von bewegten Objekten innerhalb der Produktionsprozesse und Lieferketten sowie deren Echtzeitortung. ²⁷

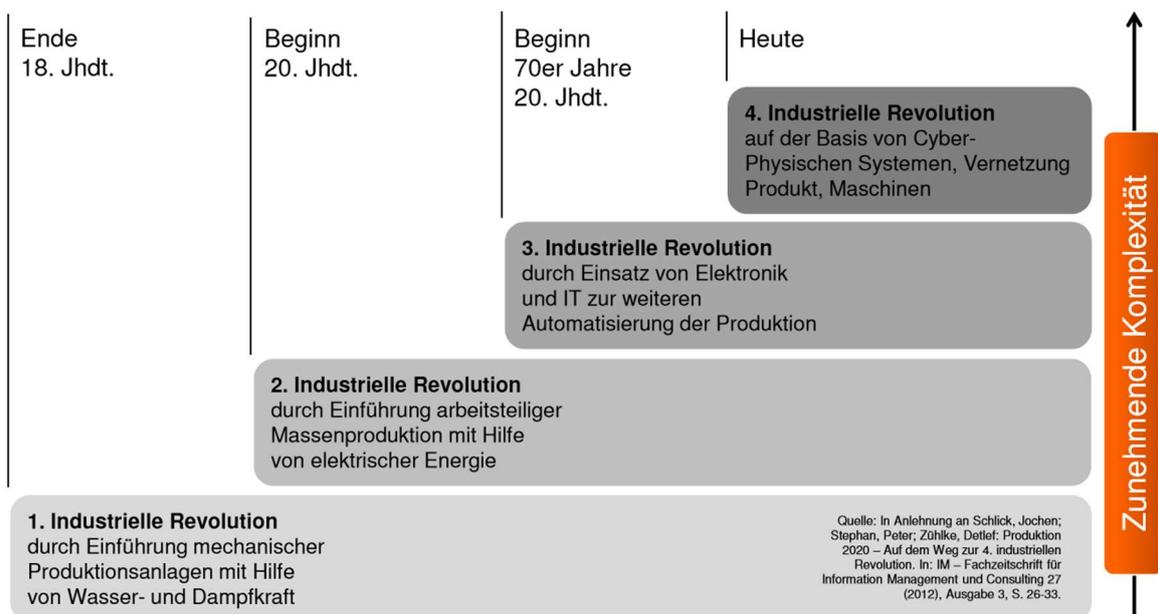


Abbildung 3: Die vier Stufen der industriellen Revolution ²⁸

²⁶ Vgl. URL: <http://www.still.de/15039.0.0.html> (19.05.2016), PDF 16, S.2-3

²⁷ Vgl. URL http://www.sps-magazin.de/?inc=artikel/article_show&nr=87354 (23.05.2016), PDF 17, S.1

²⁸ Dünkler, 2015, S.3

Die Vision des „Internets der Dinge (IoT)“ ist längst keine Illusion mehr, sondern Realität. IoT bedeutet, dass intelligente Objekte über das Internet miteinander kommunizieren und eigenständig Aufgaben erledigen können. Es handelt sich dabei nicht im klassischen Sinn um Computer, sondern um „Dinge“. Langfristig wird es das Ziel sein, Objekte vollautomatisch ohne Unterstützung durch den Menschen miteinander kommunizieren zu lassen.²⁹

Beim IoT werden verschiedene Basistechnologien zusammengeführt. Dazu zählen:

- Identifikationstechnologien,
- Kommunikationstechnologien,
- Sensorik,
- Informationsverarbeitungssysteme sowie
- Energieversorgungstechnologien.³⁰

Mit dem IoT haben sich unendlich viele Nutzungsmöglichkeiten in allen Branchen aufgetan, so auch in der Intralogistik. Dank der Vernetzung von Objekten eröffnen sich für Unternehmen bisher unbekannte Potenziale. Der verstärkte Austausch digitaler Informationen beschleunigt und verbessert den Entscheidungsfindungsprozess im Unternehmen. Daraus ergibt sich eine enorme Leistungssteigerung durch kürzere Arbeitszyklen und dynamischere Arbeitsabläufe. Das IoT unterstützt das Unternehmen bei der Lösungsfindung für komplexe operative und geschäftliche Fragen. Im Logistikbereich ergeben sich zwei wichtige Aufgaben: Das „Sensing“, bei dem die notwendigen Informationen mit den geeigneten Technologien und Mitteln gewonnen werden, und das „Sensemaking“, bei dem die gesammelten Informationen zusammengetragen und zur Lösungsfindung verwendet werden.³¹



Abbildung 4: Vernetzte Produktions- und Logistikfaktoren in der intelligenten Fabrik³²

²⁹ Vgl. URL: <http://www.digitalbusiness-cloud.de/fachartikel/internet-der-dinge-keine-vision-mehr-sondern-realitaet> (18.05.2016), PDF 18, S. 1

³⁰ Vgl. Zsifkovits, Altendorfer-Kaiser, 2015, S.21

³¹ Vgl. URL: <https://www.delivering-tomorrow.com/connecting-the-unconnected-the-internet-of-things-in-logistics/> (19.05.2016), PDF 19, S. 4

³² URL: <http://www.ifs-gmbh.com/#{9}/> (19.05.2016), PDF 20, S. 4

Heutzutage muss die Intralogistik intelligent gestaltet werden, um die Ortung, Identifikation und Zustandsüberwachung von Objekten zu ermöglichen. Dabei ergeben sich zwei unterschiedliche Herangehensweisen: Einerseits die Schaffung intelligenter Logistikinfrastrukturen durch lokale Ausstattung mit entsprechenden Technologien, andererseits die Schaffung intelligenter Logistikobjekte, indem die Waren oder Flurförderzeuge mit Sensorik ausgestattet werden.

Der intelligente Logistikraum stellt die Schnittstelle zwischen den physischen Logistikprozessen und der Informationslogistik dar. Dies führt zur Entstehung „intelligenter Logistikräume“, bei denen die objekt- und prozessbezogenen Informationen auch dezentral mittels übergeordneter Lagerverwaltungssoftware gesammelt und analysiert werden. Die Sicherheit der Warenkette wird dadurch erhöht, dass relevante Informationen entlang der gesamten Logistikkette gesammelt werden können. Ziel ist die vollkommene Transparenz entlang der logistischen Prozesse. Basis eines solchen intelligenten Logistikraums bilden die „intelligenten Objekte“, welche sich innerhalb der Produktion und Logistik selbst steuern und eigenständig miteinander kommunizieren. Neben einer erhöhten Sicherheit werden auch Zeit- und Kostenreduzierungen erreicht. Dies wird über die Integration komplexer Sensor- und Informationstechnik-Systeme (IT-Systeme) ermöglicht. Die Datengewinnung und ihre technisch-organisatorischen Möglichkeiten sollen dadurch verbessert werden. Die erfassten und ausgetauschten Daten steigern die Sicherheit der Prozesse und besitzen rechtliche Verbindlichkeit. Der Datenaustausch zwischen den Beteiligten der Prozesskette wird zusätzlich durch die Standardisierung der Daten bei intelligenten IT-Systemen vereinfacht.

Im Bereich der Datenhaltung kristallisiert sich der Trend zu „Cloud Logistics“ heraus, der einen Informationsaustausch zwischen allen Prozessbeteiligten ermöglicht. Die erfassten Daten werden auf zentralen Webservern gespeichert und können somit von unterschiedlichen Standorten abgerufen werden. Die ausgetauschte Datenmenge, sogenannte Big Data, ist dabei durch ihre enorme Größe, Komplexität und schnelle Veränderung gekennzeichnet. Eine zeitnahe Datenverfügbarkeit wird dadurch gewährleistet, dass der Warenfluss dank Auto-ID-Technologien direkt mit dem Informationsfluss gekoppelt wird. Die relevanten Informationen liegen somit direkt an der Ware vor.³³

In den letzten Jahren wurde die Idee einer „intelligenten Fabrik“ (Smart Factory) entwickelt, bei der die Vision der Industrie 4.0 bereits Realität werden soll. Die Kommunikation zwischen Menschen, Maschinen und Ressourcen soll mittels unterschiedlicher Übertragungstechniken, wie z.B. RFID, WLAN oder Bluetooth über Datenwolken im Internet oder im Intranet der Fabrik vollautomatisch und selbstorganisiert erfolgen. Robuste Netzwerke sind dafür Voraussetzung. Auf Grundlage der CPS und mit Hilfe des IoT können Objekte, beispielsweise von Maschine zu Maschine (M2M), ohne menschliches Eingreifen miteinander

³³ Vgl. Schenk, 2015, S. 247-252

kommunizieren. Die Produktionsanlagen und Logistiksysteme haben selbst Diagnose- und Reparaturfähigkeiten. Die eigenständige Optimierung aller Prozesse steht im Vordergrund dieser High-Tech-Strategie.³⁴

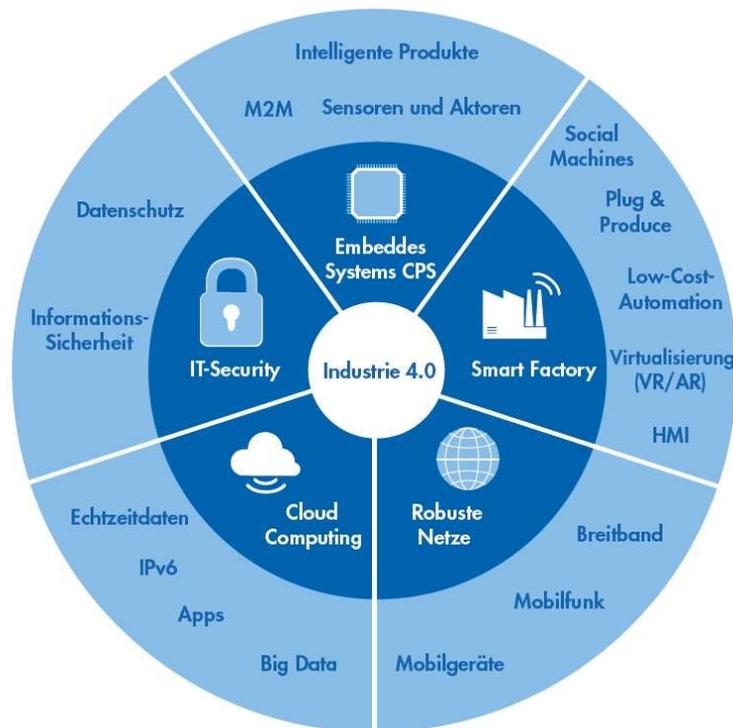


Abbildung 5: Technologiefelder der Industrie 4.0³⁵

Bei der Smart Factory geht der Trend hin zur Nutzung intelligenter Technologien. Der Wandel von relativ eindimensionalen Warenlagerungen und -versendungen hin zu teil- bzw. vollautomatisierten Transportsystemen ist deutlich zu spüren. Innovative Staplerleitsysteme (SLS), die die Transportwege von Flurförderzeugen optimieren und durch eine zentrale Steuereinheit die Ein- und Auslagerungsvorgänge selbstständig steuern, sind heute im Lagerbereich keine Seltenheit mehr.³⁶

Aufgrund der komplexen und unternehmensspezifischen Systemanforderungen ist zuweilen eine kombinierte Nutzung von funk- und bildbasierten Identifikations- und Lokalisierungstechnologien nötig. Die angepassten Logistiklösungen ermöglichen es, Synergieeffekte für Safety- und Security-Aufgaben zu erzielen und somit die Warenströme innerhalb des Betriebsgeländes zu optimieren.³⁷

³⁴ Vgl. URL: <http://www.wiwo.de/technologie/cebit-spezial/industrie-4-0-gebt-den-maschinen-das-kommando/9594706.html> (20.05.2016), PDF 21, S. 2

³⁵ URL: <http://www.hst.de/aktuell/aktuelles/artikel/wichtige-begriffe/> (18.04.2016), PDF 22, S.4

³⁶ Vgl. URL : <http://intra-logistik.tips/industrie-40/> (18.05.2016), PDF 3, S. 2

³⁷ Vgl. Schenk, 2015, S. 245

2.2.3 Intralogistik im Informationsfluss

Das Informationsmanagement zielt darauf ab, die richtige Information zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort zur Verfügung zu stellen. Eine Informationsüberflutung als Folge der zunehmenden Vernetzung von Systemen soll verhindert werden. Im Sinne des Konzepts „Industrie 4.0“ wird eine Just-in-Time-Informationslogistik angestrebt. Mit Hilfe von Informationstechnologien sollen Informationsbedarfe automatisiert erkannt werden und die benötigten Informationen den Mitarbeitern bereitgestellt werden. Um dies zu ermöglichen, ist eine Synchronisation von Material- und Informationsfluss notwendig. Nach der Identifikation des Objekts erfolgt die Aufnahme, Verarbeitung, Analyse und Speicherung der gewonnenen Informationen.³⁸

Ein Informationssystem besteht aus den folgenden Bestandteilen:

- **Netzwerk; Hardware**, d.h. alle greifbaren, physischen Systemkomponenten (z.B. Rechner, Computer)
- **Software**, d.h. alle nichtphysischen Systemkomponenten (z.B. Datenbanken, Programme, Betriebssystem).^{39 40}

Unter dem Begriff Informationsfluss versteht man die Planung, Steuerung und Überwachung aller Informationen über alle Stufen des Unternehmens hinweg.⁴¹ In Bezug auf die Intralogistik ergeben sich die folgenden hierarchischen Ebenen des Informationsflusses:

- **„Administrative/dispositive Ebene:** Leitreechner–HOST/PPS. Kundenverwaltung, Produktionsplanung, Materialwirtschaft, Vertriebs - und Auftragsabwicklung, summarische Bestandsführung
- **Bestandsmanagementebene (Logistik-Leitebene):** Lagerverwaltungssystem-Prozessrechner. Lagerplatzbezogene Bestandsführung, Lagerplatzzuordnung, Wareneingangsabwicklung, Einlagerung, Auslagerung, Nachschubsteuerung, Auftragsbearbeitung, Kommissionierung, Verpackung, Verladung
- **Transportmanagementebene (MF-Leit- und Steuerungsebene):** Transport-/Staplerleitsystem. Materialflussoptimierung, Transportauftragsverwaltung, Materialverfolgung, Statusinformationen
- **Operative Ebene (Prozessebene):** Geräte- und Antriebssteuerung. Zustandserfassen und Anzeige durch Sensoren von Informationen, Datenfunk, Terminals, Scanner.“⁴²

³⁸ Vgl. URL: <http://www.pentadoc-consulting.com/2013/05/16/warum-ist-fur-unternehmen-informationslogistik-wichtig/> (06.07.2016), PDF 58, S.1

³⁹ Vgl. Jacob, 2012, S.2

⁴⁰ Vgl. Heinrich, 2014, S.504

⁴¹ Vgl. URL: <http://www.enzyklo.de/Begriff/Informationsfluss> (06.07.2016), PDF 59

⁴² Heinrich, 2014, S.504

Im Folgenden wird ein Beispiel für die Gestaltung des Informationsflusses im Hinblick auf die automatische Identifikation und Lokalisierung von Objekten in der Intralogistik dargestellt. Die Lokalisierung der Warenströme erfolgt indirekt über die Lokalisierung des warentransportierenden Gabelstaplers. Zusätzlich zu den Positionsdaten des Flurförderzeugs, welche mittels RTLS generiert werden, können für das Staplerleitsystem noch weitere Informationen gesammelt werden. Die Daten werden an das übergeordnete Lagerverwaltungssystem (LVS) und schließlich an das ERP-Betriebssystem zur Verarbeitung weitergeleitet. Die Graphik bietet einen Überblick über die verschiedenen hierarchischen Ebenen und Komponenten des Informationssystems.

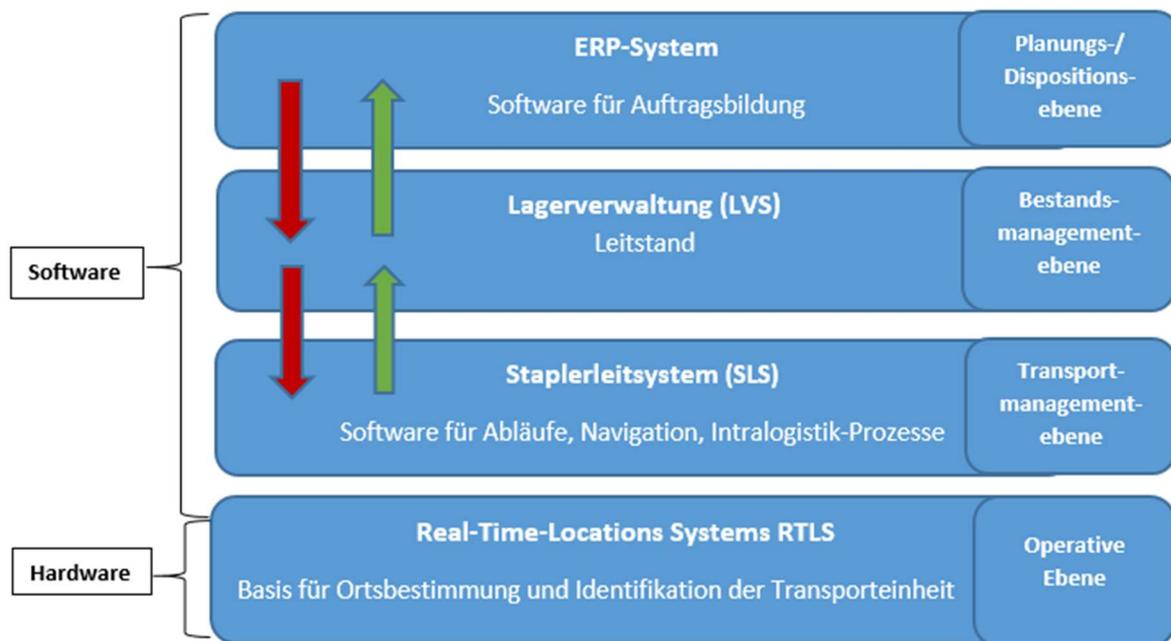


Abbildung 6: Intralogistik im Informationsfluss ^{43 44}

⁴³ Vgl. URL: <http://docplayer.org/15395977-Lokale-aufgabenverteilung-optimierung-aus-globalem-datenpool-agen-ohren-stimme-fuehlen-baustein-4-0-in-unserem-leben.html> (06.07.2016), PDF 60, S.30

⁴⁴ Vgl. Heinrich, 2014, S.504

3 Automatisierte Identifikationstechnologien

3.1 Die Bedeutung von Auto-ID-Technologien für die moderne Intralogistik

In Zeiten der zunehmenden internationalen Vernetzung in der Logistik und der unternehmensübergreifenden Prozessketten gewinnt die Verwendung automatischer Identifikationstechnologien (Auto-ID-Technologien) zunehmend an Bedeutung. Die Genauigkeitsanforderungen an die Ortungstechnologien wachsen mit der zunehmenden Anzahl an vernetzten Objekten. Eine möglichst zeitnahe Identifizierung und Lokalisierung ist Grundvoraussetzung für das Erreichen der Ziele der „Industrie 4.0“. Die somit gewonnene Transparenz kommt der Effizienz der Logistik- und Intralogistikprozesse zu Gute. Anhand der Anforderungskriterien muss die passende Technologie aus dem Angebot an Auto-ID-Technologien gewählt werden. Der Einsatz solcher Technologien ermöglicht die Umsetzung des „Internets der Dinge“ und eine Verfolgung in Echtzeit/Real Time. Dieser Umstand hat zur Entstehung des Begriffs Real Time Location System (RTLS) geführt.⁴⁵

Mittels Auto-ID-Technologien können immer kleinere Objekte identifiziert und rückverfolgt werden, so dass die Sicherheit der Bestände und die Revisionssicherheit garantiert werden können. Neben einer erhöhten Planungssicherheit in allen Prozessschritten werden somit geringere Lagerbestände und ein flexibles Reagieren auf Bestandsveränderungen erreicht. Auto-ID-Technologien bieten den Vorteil der besseren Warenflusssteuerung sowie der Qualitätssicherung der Logistikprozesse. Um die Ortung und Identifikation zu verbessern, besteht aus diesem Grund Forschungsbedarf im Bereich der Erfassungstechnologien sowohl in der zentralen als auch in der dezentralen Datenhaltung. Bei den Erfassungstechnologien geht der Trend hin zur Nutzung von RFID-Technologien, wobei ein Transponder auf dem Objekt angebracht und per Funk ausgelesen wird. Pulk-Leser ermöglichen die gleichzeitige Erfassung mehrerer Objekte, so dass die Anzahl der erfassten Waren pro Zeiteinheit stark zunimmt. Mit RFID können Informationen über das Objekt in Echtzeit für alle Prozessbeteiligten bereitgestellt werden. Die Effizienz dieser Technologie ist jedoch abhängig von mehreren äußeren Faktoren, wie etwa Feuchtigkeit oder Metall.

Neben den RFID-Verfahren werden in der Intralogistik auch Identifikationsverfahren verwendet, die Objekte mit optischen Markern versehen. Hierbei haben sich vor allem Barcodes, QR- und Datamatrix-Codes als alternative Technologie etabliert. In Zukunft werden auch diese traditionellen Verfahren ihre Gültigkeit nicht verlieren. Allerdings werden vermehrt intelligente Technologiekombinationen gefragt sein, da jede einzelne dieser Technologien ihre Vorteile, aber auch Grenzen hat.⁴⁶

⁴⁵ Vgl. URL: http://www.sps-magazin.de/?inc=artikel/article_show&nr=87354 (23.05.2016), PDF 17, S.1-2

⁴⁶ Vgl. Schenk, 2015, S. 251-252

3.2 Aufbau eines Auto-ID-Systems

Auto-ID-Systeme nutzen Identifikationsstandards, um im Logistikbetrieb Informationen über Warenströme sammeln und analysieren zu können. Dafür müssen die Objekte eindeutig markiert werden. Es soll ein schnelles Beschreiben, Lesen und Verarbeiten ermöglicht werden. Während im Front-End-Bereich die RFID-Technik oder Codes eine rasche Datenerhebung ermöglichen, wird im Back-End-Bereich bei Auto-ID-Systemen die Weiterleitung der gewonnenen Daten an die IT-Systeme sichergestellt. Voraussetzung ist, dass alle Artikel, Verpackungen oder Versandeinheiten mit physischen Informationsträgern versehen werden, so dass alle erforderlichen objektbezogenen Informationen maschinell lesbar sind. Die Kopplung und Synchronisation der Informations- und Warenflüsse ist dank dieser Technologien möglich.

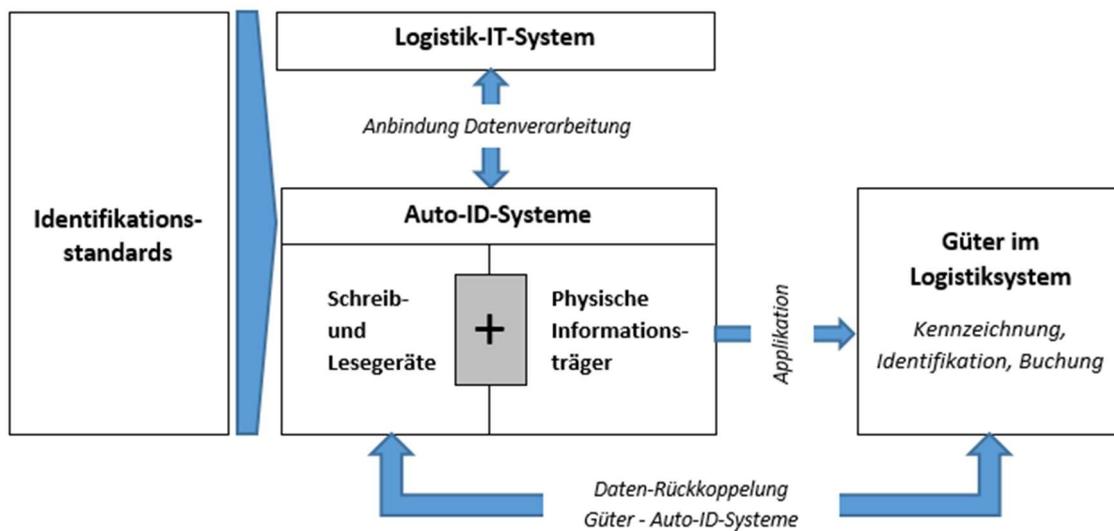


Abbildung 7: Logik von Auto-ID-Systemen ⁴⁷

3.3 Identifikationstechniken in der Intralogistik

Eine effiziente und eindeutige Identifikation von Stückgütern (z.B. Paletten, Produkte, Behälter) ist bei Produktions-, Kommissionier- und Logistiksystemen essentiell, um den Materialfluss optimal steuern und kontrollieren zu können. Aufgrund dessen werden heute in der Intralogistik neben mechanischen Kennzeichnungen auch optische Verfahren (z.B. OCR, Barcode) und vor allem RFID-Verfahren verwendet. Letztere sind in der Logistik am weitesten verbreitet. Über berührungslose elektromagnetische Wellen werden Daten auf elektronische Speicher übertragen. Es gibt festcodierte Datenträger, die nicht überschreibbar, dafür aber beliebig oft lesbar sind, und frei programmierbare Datenträger, die ihrerseits wiederum beliebig oft überschreibbar sind.

⁴⁷ Vgl. Bräkling et al., 2014, S.188

Optische Verfahren sind zur Identifikation von Warenströmen sehr gut geeignet. Es werden dabei optisch/elektronische Codierungselemente verwendet. Zu diesen Verfahren zählen beispielsweise die kamerabasierte Erfassung der Form oder Farbe eines Objekts, die Erfassung eines Codierungselements (z.B. Barcode) oder die Erkennung einer Beschriftung in Klarschrift (OCR).

Mechanische Identifikationsverfahren ermöglichen das Erkennen von Objekten durch Form, Gewicht, Klangstreifen, Stahlstich usw. Das am weitesten verbreitete mechanische Verfahren in der Logistik stellt die Objektidentifikation über das Gewicht dar, wobei heute im industriellen Umfeld der Trend vermehrt zur Massenmessung hingeht. Dabei wird mit Hilfe von elektromechanischen/elektronischen Geräten über Spannung oder Strom die Objektmasse gemessen. ⁴⁸

Magnetische, biometrische und chemische Identifikationstechniken sind für die Erfassung von Warenströmen weniger geeignet. Sie werden allerdings in anderen Bereichen gerne eingesetzt. Die Magnetspeicherung von Daten ist besonders kostengünstig. Dabei werden magnetische Felder oder Schichten zur Informationsspeicherung verwendet. Die Informationen werden berührungslos über Magnetköpfe oder Reed-Kontakte gelesen, wobei Abtastentfernung und Führungstoleranz gering sind. Die Lesefähigkeit ist sehr gut. Typische Informationsträger sind Magnetstreifen oder Magnetkarten. Diese Technologie ist zuverlässig, unempfindlich gegen Verschmutzung und weist eine hohe Speicherkapazität auf. Chipkarten unterscheiden sich von Magnetkarten im Wesentlichen dadurch, dass sie einen eigenen kleinen Mikroprozessor und Arbeitsspeicher besitzen. Sie werden vor allem im medizinischen und finanziellen Bereich verwendet (z.B. Bankkarten, Krankenkassenkarten). ⁴⁹ Die biometrische Identifikation dient der Identifikation von Personen und nutzt die individuellen Merkmale des menschlichen Körpers (z.B. Fingerabdruck, Iris- oder Netzhauterkennung, Stimmerkennung). Mit Hilfe von chemischen Verfahren können Objekte über Geruch oder Isotope identifiziert werden. ⁵⁰

⁴⁸ Vgl. URL: http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=I (23.05.2016), PDF 23, S.2-3

⁴⁹ Vgl. Heinrich, 2014, S.505

⁵⁰ Vgl. URL: http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=I (23.05.2016), PDF 23, S.4

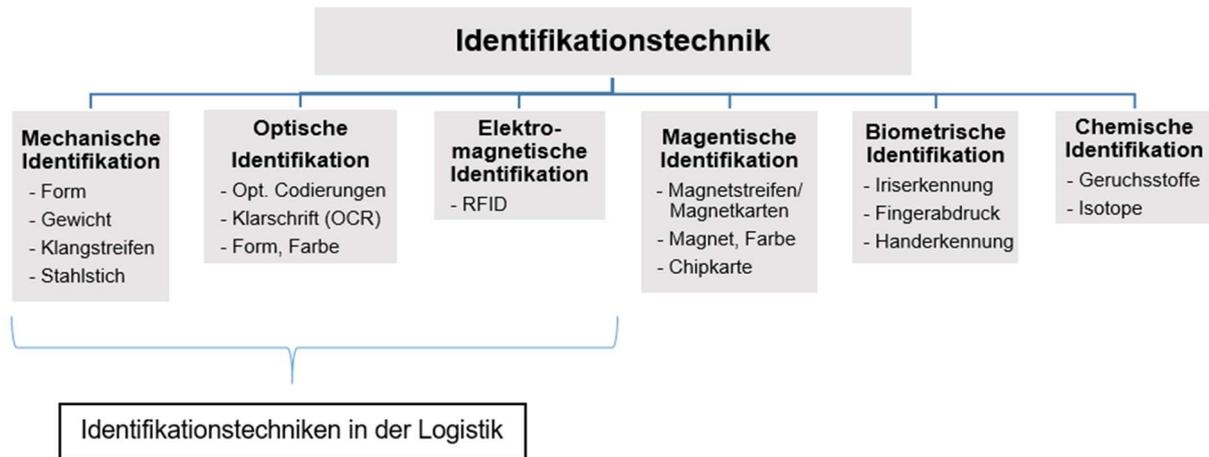


Abbildung 8: Grundstrukturen der Identifikationstechnik ⁵¹

3.3.1 Barcode

Der Barcode ist eine optoelektronische, lesbare Schrift, die mittels binärer Symbole Daten abbildet. Sowohl Ziffern als auch Buchstaben können durch die Verwendung von verschiedenen breiten, vertikalen, parallel angeordneten Strichen mit unterschiedlich großen Zwischenräumen (= Lücken) codiert werden. Die optische Datenerfassung erfolgt dadurch, dass ein Laserstrahl über den Barcode geführt wird, oder eine Kamera das Bild erfasst. Bei der Lasertechnologie können die lichtempfindlichen Sensoren dabei die Breite der hellen und dunklen Striche erkennen. Eine Recheneinheit wertet das reflektierte Lichtmuster aus und verarbeitet die Informationen. Es wird zwischen einfacher und komplexer Codierung unterschieden. Während bei der einfachen Codierung nur die unterschiedliche Breite der Striche analysiert wird, wird bei der komplexen Codierung auch die Breite der Zwischenräume erfasst.

3.3.1.1 Codeaufbau

Der Aufbau eines eindimensionalen Barcodes ist international standardisiert und stellt die einfachste Form des Barcodes dar. Er besteht neben dem Strichcode und seiner Bezeichnung in Klarschrift noch aus zwei Ruhezeiten, dem Start- und dem Stoppsymbol.

Der Strichcode wird auf seinen Seiten durch zwei Ruhezeiten beschränkt. Falls sich auf einem Objekt zwei oder mehrere Barcodes befinden, können diese leichter auseinandergehalten werden. Fehler im Einlesen werden somit vermieden. Um eine manuelle Datenerfassung zu ermöglichen, steht in Klarschrift unterhalb des Strichcodes die numerische oder alphanumerische Bezeichnung des Barcodes. Der Strichcode enthält die eigentlichen Nutzinformationen. Am Anfang des Strichcodes befindet sich das Startsymbol, ebenfalls eine Strich-Lücken-Kombination. Es signalisiert, dass tatsächlich der Code und nicht ein versehentlich empfangenes

⁵¹ Vgl. URL: http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=I (23.05.2016), PDF 23, S.2

Fremdlich beginnt. Das Stoppzeichen am Ende des Codes zeigt an, dass der gesamte Code empfangen wurde. Die Daten können daraufhin verarbeitet werden. Der asymmetrische Aufbau von Start- und Stoppzeichen ermöglicht ein Lesen des Barcodes in beide Richtungen.⁵²

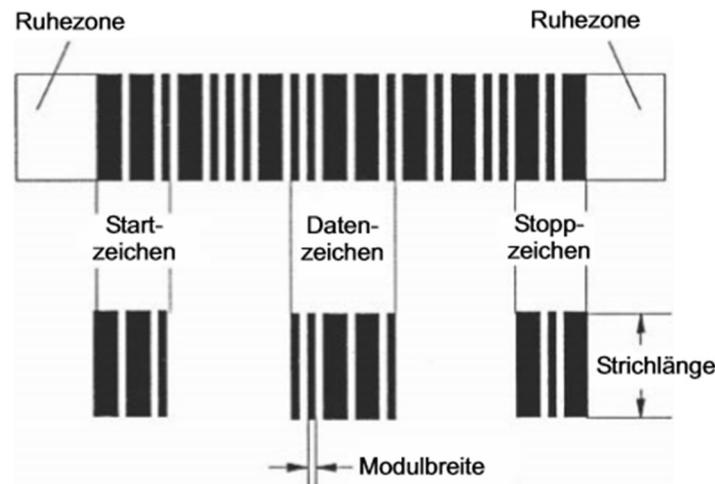


Abbildung 9: Aufbau eines Barcodes⁵³

Bei Barcodes gibt es unterschiedliche Verschlüsselungstypen, deren Wahl von der gewünschten Speicherkapazität und dem Platzangebot auf dem gekennzeichneten Objekt abhängig ist. Man unterscheidet zwischen rein numerischen Barcodes (UPC = Universal Product Code, EAN = International Article Numbering, Interleaved 2/5) und alphanumerischen Barcodes (Code 128, Code 39). Außerdem gibt es Barcodes, bei denen die Anzahl der darzustellenden Zeichen begrenzt ist (z.B. der 8-stellige EAN-8 Code).⁵⁴

Code	Darstellbare Zeichen	Länge	Prüfziffer	Norm
EAN-Code	Ziffern 0-9	8 (EAN-8) 13 (EAN-13)	Vorgeschrieben	ISO/IEC 15420
Code UPC	Ziffern 0-9	12 (Version A) 8 (Version E)	Vorgeschrieben	ISO/IEC 15420
Code 128, EAN 128	Alphanumerisch	Variabel	Vorgeschrieben	ISO/IEC 15417
Code 39	Ziffern 0-9 26 Buchstaben Leerzeichen 7 Sonderzeichen	Variabel	optional	ISO/IEC 16388
Code 2/5 Interleaved	Ziffern 0-9	Variabel	optional	ISO/IEC 16390

Tabelle 1: Eigenschaften ausgewählter Barcodes⁵⁵

⁵² Vgl. Grote, Feldhusen, 2014, S. 105-106

⁵³ Heinrich, 2014, S. 506

⁵⁴ Vgl. Schulte, 2016, S. 129

⁵⁵ Vgl. Grote, Feldhusen, 2014, S.105-106

3.3.1.2 Mehrdimensionale Barcodes

Im Gegensatz zu 1-D Barcodes können mehrdimensionale Barcodes sowohl vertikal, als auch horizontal codiert werden. Dadurch ist eine größere Datenverarbeitung möglich. 2-D Barcodes bestehen entweder aus gestapelten 1-D Barcodes oder einer Matrix. Sie können sowohl von links nach rechts, als auch von oben nach unten gelesen werden. Bei 3-D Barcodes entspricht das Grundgerüst dem des 2-D Barcodes. Zusätzliche Speicherkapazität wird durch die Verwendung von Farbtönen erreicht. Die Einführung des Faktors Zeit bei der Codierung ermöglicht es den 4-D Barcodes, sich mit der Zeit zu verändern und somit noch größere Datenmengen zu speichern.⁵⁶

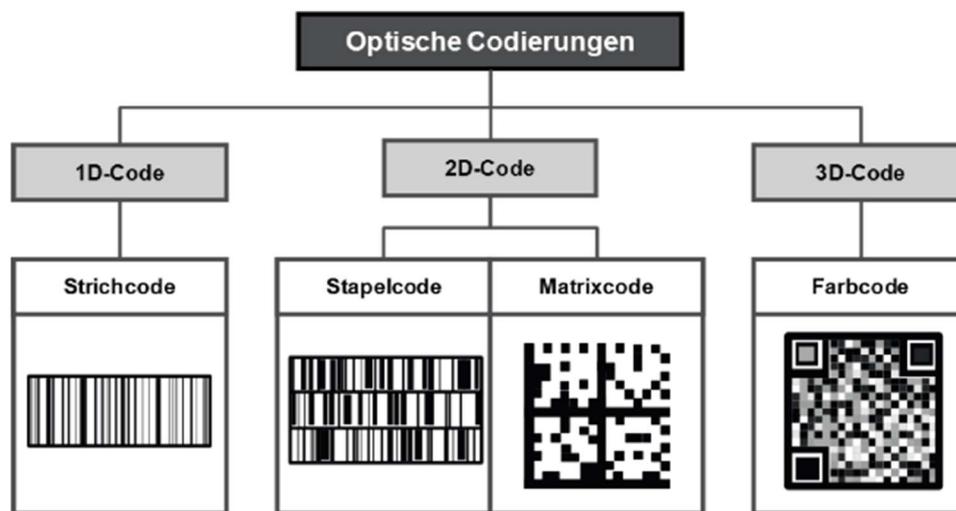


Abbildung 10: Optische Eigenschaften von Barcodes⁵⁷

3.3.2 OCR - Optische Zeichenerkennung

Die optische Zeichenerkennung OCR (= Optical Character Recognition) erfasst, wie auch der Barcode, eine Zeichencodierung automatisch mittels optischer Abtastung. Informationen werden in standardisierten Schriftzeichen in Klarschrift verfasst, welche auch von Menschen ohne Hilfsmittel lesbar sind. Form, Größe und Abstand sind genormt und sollen das automatische Einlesen durch Lesegeräte ermöglichen.

Das Prinzip der optischen Zeichenerkennung beruht auf der Mustererkennung. Einzelne Buchstaben, Ziffern und Satzzeichen werden mit einem elektrooptischen Abtaster erfasst. Anschließend werden die eingelesenen Zeichen mit einem im System hinterlegten Muster verglichen, um sie in Buchstaben, Ziffern oder Satzzeichen umzuwandeln und zu verarbeiten. Die am häufigsten verwendeten Schrifttypen sind OCR-A und OCR-B, wobei die OCR-A-Schrift aus Großbuchstaben (Alphabet), Ziffern (0 bis 9) und einigen Sonderzeichen besteht. Die OCR-B-Schrift kommt der

⁵⁶ Vgl. Bräkling et al., 2014, S.189

⁵⁷ Spur, 2013, S. 850

Normalschrift noch näher und stellt zusätzlich Kleinbuchstaben zur Verfügung. Das Ablesen der Schriften erfolgt mittels stationärem Schlitzleser, Belegleser oder OCR-Scanner (Lese pistolen).⁵⁸

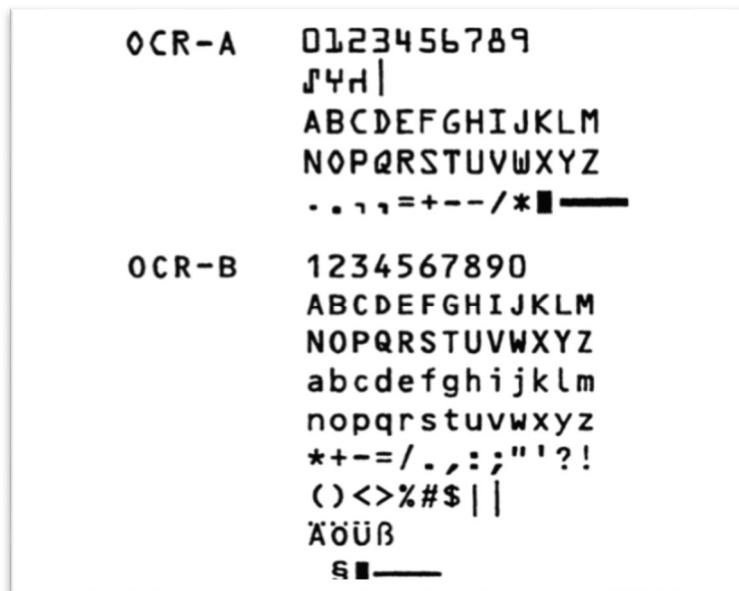


Abbildung 11: OCR-Schriften⁵⁹

3.3.3 RFID

Um eine permanente Erfassung des Aufenthaltsortes von Objekten innerhalb des Betriebes zu ermöglichen, reichen herkömmliche Betriebserfassungssysteme nicht aus. Diese beschränken eine Lokalisierung von Objekten auf festgelegte Orte auf dem Betriebsgelände. Heute erfordert allerdings eine effiziente, schlanke Betriebsplanung im Sinne des Konzepts „Industrie 4.0“ eine kontinuierliche Lokalisierung mobiler Fabrikobjekte. Die RFID (engl. radio-frequency identification) Technologie kann dies ermöglichen.

3.3.3.1 Funktionsweise der RFID- Transponder

RFID-Etiketten (sog. RFID-Tags) sind Transponder, welche an Objekten angebracht werden, um Material und Gütern eine eindeutige Identifikationsnummer zuzuordnen. Die Bezeichnung Transponder impliziert bereits die zwei Hauptfunktionen: Senden (= Transmit) und Antworten (= Respond).⁶⁰

⁵⁸ Vgl. Grote, Feldhusen, 2014, S.108

⁵⁹ Schulte, 2016, S. 132

⁶⁰ Vgl. Bienert et al., 2012, S. 7

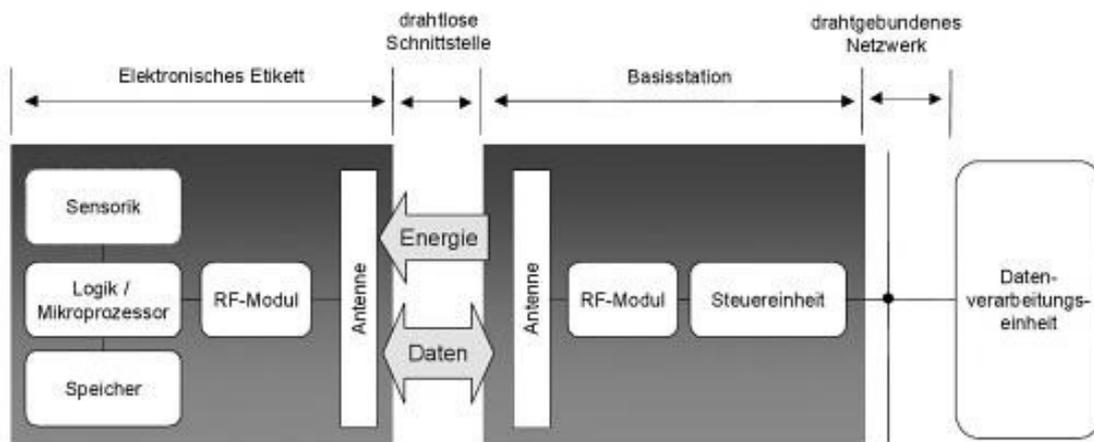


Abbildung 12: Bestandteile eines RFID-Systems ⁶¹

Von einer Basisstation (= Lesegerät), welche über eine Antenne und ein RF-Modul verfügt, werden die Transponder mit Energie versorgt, sobald sie sich in ihrer Reichweite befinden. Die Kommunikation zwischen den elektronischen Etiketten und dem drahtgebundenem Netzwerk bzw. der Datenverarbeitungseinheit wird von einer Steuereinheit organisiert, welche Informationen mit Hilfe eines speziellen Kommunikationsprotokolls codiert und an das RF-Modul weitersendet. Dort werden die Informationen ummoduliert und an die Antenne weitergeleitet. Die Antenne erzeugt mit ihrer Spule ein magnetisches Feld. Die Feldlinien erreichen die Antenne des Transponders und können von der angeschlossenen Elektronik (Mikrochip) verarbeitet werden, sobald das RF-Modul des Transponders die empfangenen Informationen decodiert und in digitale Signale umgewandelt hat. Der Mikrochip beinhaltet die interne Logik des Transponders; er kann Schreib- und Lesebefehle erkennen und an den digitalen Speicherplatz weiterleiten. ⁶²

3.3.3.2 Energieversorgung

RFID-Transpondertypen unterscheiden sich dadurch, wie sie mit Energie versorgt werden. Abhängig von den Anforderungen bezüglich Lesereichweite, Lebensdauer und Etikettengröße wird zwischen einem aktiven oder passiven RFID-Transpondertyp gewählt.

Passive Transponder bestehen aus einer Antenne und einem Mikrochip. Sie werden durch die Basisstation mit Energie versorgt, sobald sie sich in ihrer Reichweite befinden. Diese ist relativ kurz, kann aber durch die Ausrichtung der Antenne variiert werden. Von der Basisstation werden Daten und Takt an den Transponder übermittelt. Das Lesegerät kann die empfangenen Antwortdaten vom Transponder an sein Informationssystem weiterleiten. Vorteile von passiven Transpondern sind die geringe Größe des Transponders aufgrund der externen Energiequelle sowie eine lange Lebensdauer. Nachteilig ist allerdings, dass sie nur Signale empfangen können. ⁶³ Bei

⁶¹ Klaus et al., 2012, S.484

⁶² Vgl. Klaus et al., 2012, S.484-485

⁶³ Vgl. Örün, 2012, S. 10

passiven Transpondern kann zusätzlich noch unterschieden werden, ob die Seriennummer schon während der Herstellung im Mikrochip gespeichert und fixiert wird, ob sie nach der Herstellung einmalig auf den Chip geschrieben werden kann oder ob der Chip wiederbeschreibbar ist, und somit das Lesegerät benutzerdefinierte Informationen auf den Chip übertragen kann.⁶⁴

Im Gegensatz zu passiven Transpondern beinhalten aktive Transponder eigene Batterien, die sie mit Energie versorgen. Es können somit stärkere Funksignale als bei passiven Transpondern gesendet werden, was zu einer höheren Lesereichweite führt. Die Lebensdauer eines aktiven Transponders ist neben der Größe der Batterie auch von der Umgebungstemperatur und der Anzahl der Lesezugriffe abhängig. Die eigene Energieversorgung ermöglicht es aktiven Transpondern, sowohl Signale zu empfangen als auch zu senden.⁶⁵

Zusätzlich gibt es semi-aktive RFID-Transponder (auch semi-passive genannt), die mit einer Stützbatterie ausgestattet sind. Sie können längere Distanzen als passive Transponder überwinden, werden aber nicht zur aktiven Ausstrahlung von Daten genutzt.⁶⁶

Merkmale	Passive Transponder	Semi-aktive Transponder	Aktive Transponder
Energieversorgung	Ohne	Batterie (Versorgung des Mikrochips)	Batterie (Versorgung des Mikrochips, Sender und ggf. der Sensorik)
Lesereichweite	bis zu 12 m	bis 30 m	über 100 m
Lesegeschwindigkeit	mittel (500 Tags/Sek.)	hoch	sehr hoch
Datenspeicher	gering	mittel	hoch
Nutzungsdauer	unbegrenzt	begrenzt	begrenzt
Kosten	gering	hoch	hoch

Tabelle 2: Vergleich unterschiedlicher Transpondertypen⁶⁷

3.3.3.3 Frequenzbereiche

RFID-Systeme werden zusätzlich nach dem Frequenzbereich unterschieden, in dem sie betrieben werden. Um die Datensicherheit und eine harmonisierte RFID-Nutzung zu ermöglichen, gibt es inzwischen gesetzliche Bestimmungen, die beispielsweise die Luftschnittstellenparameter für die Kommunikation zwischen den Transpondern und den Lesegeräten regeln (ISO 18000). Die Festlegung von weltweit einheitlichen RFID-Frequenzbereichen soll eine Überschneidung mit anderen Kommunikationsmitteln wie etwa Mobiltelefonen, WLAN und Bluetooth-Geräten vermeiden und somit einen störungsfreien Betrieb der Systeme garantieren.

⁶⁴ Vgl. Tamm, Trobowski, 2010, S.15

⁶⁵ Vgl. Örün, 2012, S. 10

⁶⁶ Vgl. Ehrnböck, 2014, S.21

⁶⁷ Vgl. URL: <http://www.hli-consulting.de/laboratory/rfid-technologie.html> (24.05.2016), PDF 25, S.2

Die folgende Tabelle zeigt die Frequenzbereiche, Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten der unterschiedlichen RFID- Systeme:

	Frequenzbereiche	Eigenschaften	Anwendungsbeispiele
Niedrigfrequenz NF	125-134 kHz	Lesereichweite bis zu 1.5 m Einsetzbar auch in rauen Industrienumgebungen	Smart Cards, Tieridentifikation, Wegfahrsperrern, Lagerverwaltung
Hochfrequenz HF	13.56 MHz	Lesereichweite bis zu 1.5 m Funktionsfähigkeit der Systeme mit Abschirmung auch auf metallischen Oberflächen	Smart Cards, Identifikation von Büchern und anderen Produkten, Zugangskontrolle, Ticketing
Ultrahochfrequenz UHF	433 MHz sowie 868 MHz (Europa) bzw. 915 MHz (USA)	Lesereichweite von 4 m und mehr Hohe Lesegeschwindigkeit Erfassung von Objekten im Pulk möglich	Markierung von Paletten, Behältern, Produkten
Mikrowelle MW	2.45 bzw. 5.8 GHz	Große Lesereichweite	Lokalisierung und dreidimensionale Container- Erkennung mit aktiven RFID- Etiketten

Tabelle 3: RFID- Frequenzbänder und ihre Eigenschaften ⁶⁸

3.3.3.4 Reichweite

Die Reichweite der RFID-Transponder resultiert aus der Wahl der Energieversorgung und des verwendeten Frequenzbereichs. Je nachdem wie Sender und Empfänger miteinander gekoppelt werden, kann eine mehr oder weniger große Reichweite erreicht werden. Während beim Close-Coupling nur eine äußerst geringe Reichweite erzielt werden kann, kann beim Remote-Coupling dank einer induktiven Koppelung bereits eine Reichweite von bis zu 1 m erzielt werden. Ein Betrieb im Mikrowellenbereich kann bei Long-Range-Systemen die Reichweite auf bis zu 10 m erhöhen. Jedoch kann die Reichweite der Transponder durch negative Umgebungseinflüsse, wie z.B. metallische Oberflächen, Reflektionen oder Absorptionen durch Flüssigkeiten vermindert werden. ⁶⁹

⁶⁸ Vgl. URL: <http://www.eurosecglobal.de> (24.05.2016), PDF 52, S.2

⁶⁹ Vgl. URL:

http://www.opal-holding.com/newsletter/newsletter_sap_2_07/pdf/RFID_Einsatzmoeglichkeiten.pdf., (26.08.2016), PDF 75, S.5-6

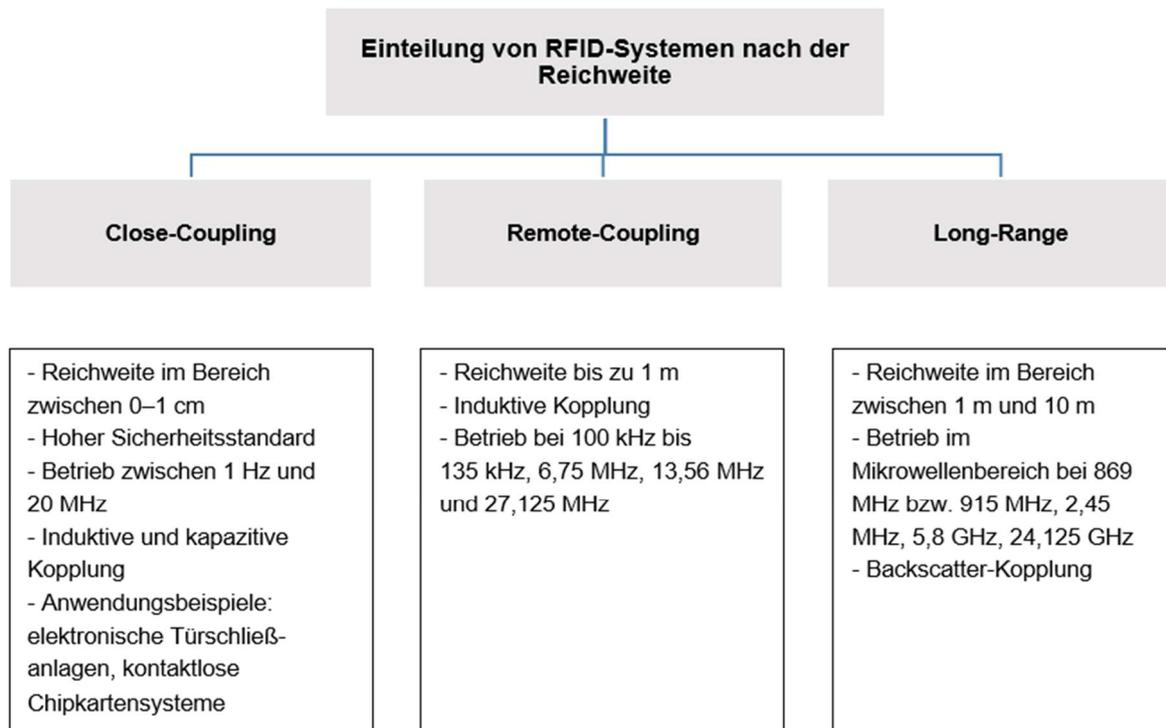


Abbildung 13: Einteilung von RFID-Systemen nach der Reichweite ⁷⁰

3.3.3.5 Chipeigenschaften

Man unterscheidet RFID-Transponder des Weiteren anhand ihrer Chipeigenschaften. Sie können entweder nur die Identifikationsnummer (ID-on-Tag/Data-on-Network) oder aber auch weitere spezifische produktbezogene Daten speichern (Data-on-Network).

Beim ID-on-Tag Verfahren besteht die Möglichkeit, dass die Identifikationsnummer, die auf dem Transponder gespeichert ist, mehrfach gelesen werden kann. Es wird eine eindeutige Produktidentifikation ermöglicht. Für dieses Verfahren werden ausschließlich nicht wiederbeschreibbare, festcodierte Read-Only-Datenträger benötigt. ⁷¹ Aufgrund der geringen Speicherkapazität von 16 Bit und 64 Bit dienen diese Chips lediglich der Identifikation von Objekten. Es werden ausschließlich Binärdaten verwaltet. Zusätzliche Informationen werden auf der zentralen Datenbank eines Leitrechners gespeichert. ⁷² Vorteilhaft an diesem System ist, dass außer der ID-Nummer keine weiteren Informationen gelesen werden müssen. Die Fördergeschwindigkeit zum Lesezeitpunkt ist dementsprechend hoch. Nachteilig ist, dass die dynamischen Daten in einem übergeordneten Datenverwaltungssystem (z.B. Data Warehouse Management System) hinterlegt werden müssen. Dies gewährleistet, dass im Falle eines Systemausfalls die aktuellen Zustandsdaten (z.B. Auftragsstatus) weiterhin zur Verfügung stehen.

⁷⁰ Vgl. URL:

http://www.opal-holding.com/newsletter/newsletter_sap_2_07/pdf/RFID_Einsatzmoeglichkeiten.pdf, (26.08.2016), PDF 75, S.5-6

⁷¹ Vgl. Geiger, 2016, S.27

⁷² Vgl. Werner, 2013, S.289

Beim Data-on-Tag System werden neben der ID-Nummer auch weitere Nutzdaten auf dem Transponder gespeichert. So können Auftrags-, Routing-, Lagerplatz- oder objektbezogene Informationen auf dem Tag hinterlegt werden. Im Vergleich zum ID-on-Tag System handelt es sich nicht um ein zentrales, sondern um ein dezentrales System. Für ein solches System werden wiederbeschreibbare Tags mit entsprechendem Speicherplatz benötigt um kontinuierlich Daten aufnehmen zu können.⁷³ Dazu zählen Tags mit einem ROM- oder RAM-Speicher. EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory) Transponder werden z.B. mit einer Speicherkapazität von 16 Byte bis 8 kByte angeboten und weisen meistens ein induktives Funktionsprinzip auf. Der Nachteil dieser induktiv gekoppelten RFID-Systeme liegt in einer höheren Leistungsaufnahme während des Schreibvorgangs. Eine weitere Einschränkung besteht darin, dass die Chips maximal 100 000 Mal wiederbeschrieben werden können.

Wie auch bei den EEPROM-Transpondern werden bei den FRAM-Transpondern (ferromagnetic random access memory) die Daten ohne Stromversorgung erhalten. FRAM-Systeme zeichnen sich durch eine etwa 100-Mal geringere Leistungsaufnahme zum Beschreiben und eine 1000-Mal geringere Schreibzeit als die EEPROM-Systeme aus. Die Herstellung der FRAM-Systeme stellt sich jedoch als problematisch heraus und erschwert so deren Verbreitung. SRAM-Transponder (Static Random Access Memory Transponder) werden durch eine Stützbatterie mit Energie versorgt und vorwiegend für Mikrowellen-Systeme verwendet. Die ununterbrochene Spannungsversorgung ist für den Erhalt der Daten nötig. Ihre Schreibzyklen sind sehr schnell. Ihre Speicherkapazität deckt eine Reichweite von 256 Byte bis 64 kByte ab.⁷⁴

Das Data-on-Tag System bietet den Vorteil, dass die Informationen direkt am Tag zur Verfügung stehen und ermöglicht somit eine zeitnahe materialflussrelevante Datenspeicherung. Da bei diesem System jedoch größere Datenmengen übertragen werden als beim ID-on-Tag System, ist die Auslese- und Schreibdauer höher.⁷⁵

⁷³ Vgl. Günthner, ten Hompel, 2010, S.116-117

⁷⁴ Vgl. Finkenzeller, 2015, S.14

⁷⁵ Vgl. Günthner, ten Hompel, 2010, S.117

3.4 Anforderungen an Auto-ID-Systeme

Die Wahl eines Auto-ID-Systems kann von unterschiedlichen Anforderungskriterien abhängen. In der Intralogistik spielen vor allem Zeit und Kosten eine wesentliche Rolle. Folgende Kriterien können zusätzlich die Wahl des Auto-ID-Systems bestimmen:

- **Notwendigkeit eines zusätzlichen Identifikators:** (z.B. Etiketten)
- **Datenkapazität:** Neben der Identifikation können beispielsweise Informationen bezüglich des Herstellungsorts, des Herstelldatums oder des Lieferorts gesammelt werden.
- **Lesbarkeit durch Personen:** Damit eine Identifikation auch bei Versagen der Technologie möglich ist, können Objekte in Klarschrift gekennzeichnet werden, so dass sie von Personen identifiziert werden können.
- **Möglichkeit der Pulkerfassung:** Durch das zeitgleiche Erfassen von Objekten kann eine große Anzahl an Objekten in kurzer Zeit identifiziert werden.
- **Positionierung des Objekts zur Erfassung:** In manchen Fällen muss das Objekt in eine bestimmte Position gebracht werden, um es auslesen zu können.
- **Umgebungseinflüsse:** Die Störanfälligkeit der Technologien auf Umgebungsgegebenheiten (z.B. Hitze, Staub, Feuchtigkeit) muss berücksichtigt werden.
- **Sicherheit:** Die Datensicherheit ist bei den einzelnen Auto-ID-Systemen unterschiedlich. Die objektbezogenen Informationen sollten gegen unerlaubtes Kopieren und Fälschen möglichst abgesichert werden.
- **Standardisierung:** Auto-ID-Systeme sollten möglichst standardisiert werden.
- **Kosten des Datenträgers:** Die Kosten für das Auto-ID-System sind abhängig von der Wahl der automatischen Lesegeräte und der Identifikatoren.⁷⁶

⁷⁶ Vgl. Strassner, 2015, S.54-55

3.5 Vergleich der Systeme

Im Folgendem werden die, für die Intralogistik, relevanten Auto-ID-Systeme anhand von aussagekräftigen Anforderungskriterien miteinander verglichen.

Parameter	OCR	Barcode	RFID
Betreffende Identifikationsprozesse			
Datendichte	Gering	Gering ^a bis mittel ^b	Mittel bis sehr hoch
Maschinenlesbarkeit	Gut	Gut	Gut
Personenlesbarkeit	Einfach	Bedingt	unmöglich
Einfluss von Schmutz/Nässe	Sehr stark	Sehr stark	Kaum bis kein Einfluss ^c
Einfluss von metallischer Umgebung	Kein Einfluss	Kein Einfluss	Kaum bis starker Einfluss ^c
Einfluss von optischer Abdeckung	Totaler Ausfall	Totaler Ausfall	Kein Einfluss
Einfluss von Richtung und Lage	Gering	Gering	Kaum bis kein Einfluss ^c
Unbefugtes Kopieren/Ändern	Leicht	Leicht	Extrem aufwendig bis unmöglich
Fortschreiben, ergänzen von Daten	Nicht möglich	Nicht möglich	Möglich, abhängig von Transponderart
Lesegeschwindigkeit (inkl. Handhabung des Datenträgers)	Gering (ca. 3 s)	Gering (ca. 4 s)	Sehr schnell (ca. 0,5 s)
Entfernung zwischen Datenträger und Lesegerät	< 1 cm (Scanner)	0 bis 50 cm	0 bis mehrere Meter ^c
Mehrfacherkennung (Pulklesung)	Nicht möglich	Nicht möglich	Möglich
Betreffende Kosten			
Anschaffungskosten Lesegerät	Gering bis mittel	Gering	Mittel
Anschaffungskosten Datenträger	Nicht zutreffend	Gering	Mittel bis hoch ^d

^a einfache Barcodes

^b mehrdimensionale Barcodes

^c abhängig von Arbeitsfrequenz in der das RFID-System betrieben wird

^d abhängig u.a. von der Transponderbauform, Art der Energieversorgung

Tabelle 4: Qualitativer Vergleich von Auto-ID-Systemen ⁷⁷

Für das automatische Identifizieren einer großen Masse an Objekten eignen sich am besten Barcodes und RFID-Transponder. In der komplexen modernen Intralogistik ist die Anwendung von OCR-Verfahren für die flächendeckende Massenidentifikation aufgrund der geringeren Datenkapazität und Reichweite der Lesegeräte nicht zielführend.

Im anspruchsvollen industriellen Umfeld stellt die geringere Störanfälligkeit der RFID-Technologie in Hinsicht auf Verschmutzung und Verdeckung durch Hindernisse im Vergleich zum Barcode einen wichtigen Vorteil dar. Beim Transponderauslesen besteht zudem keine Notwendigkeit, Sichtkontakt mit dem Lesegerät herstellen zu müssen. Des Weiteren können Barcodes leicht durch mechanische Einflüsse beschädigt und somit unbrauchbar gemacht werden. Im Gegensatz zu Barcodes sind

⁷⁷ Vgl. Löhle, 2013, S. 45

Transponder wiederbeschreibbar. Auch eine Pulkerfassung ohne spezielle Ausrichtung des Transponders ist möglich.

Jedoch stellt sich der Kostenfaktor von RFID-Transpondern und Lesegeräten als wesentlicher Nachteil heraus. Auch werden die Signale bei RFID-Systemen durch metallische Einflüsse gestört, so dass in solchen Umgebungen spezielle, für metallene Oberflächen entwickelte Transponder installiert werden müssen.⁷⁸ Für RFID-Transponder werden häufig umweltschädliche Batterien verwendet. Barcodes stellen im Vergleich dazu eine weitaus umweltfreundlichere Lösung dar. Ein weiterer Nachteil der RFID-Technologie liegt darin, dass es noch keine international standardisierten Frequenzbereiche für den UHF und Mikrowellen-Bereich gibt. Vor allem in Hinblick auf die Umsetzung des Zukunftskonzepts „Industrie 4.0“ wird die RFID-Technologie die Einführung intelligenter Objekte erleichtern und fördern. Dank ihr wird die Notwendigkeit menschlicher Interventionen stark zurückgehen und das Verschmelzen von virtueller und realer Welt voranschreiten.

Beide Technologien haben jedoch sowohl Vor- als auch Nachteile, die je nach Anwendungsbereich unterschiedlich zu gewichten sind. Es ist nicht anzunehmen, dass die RFID-Technologie in Zukunft die Barcode-Technologie ersetzen wird. Viel mehr ist damit zu rechnen, dass in beiden Bereichen an der Weiterentwicklung der Technologien geforscht wird, und beide breite Anwendung finden werden.⁷⁹

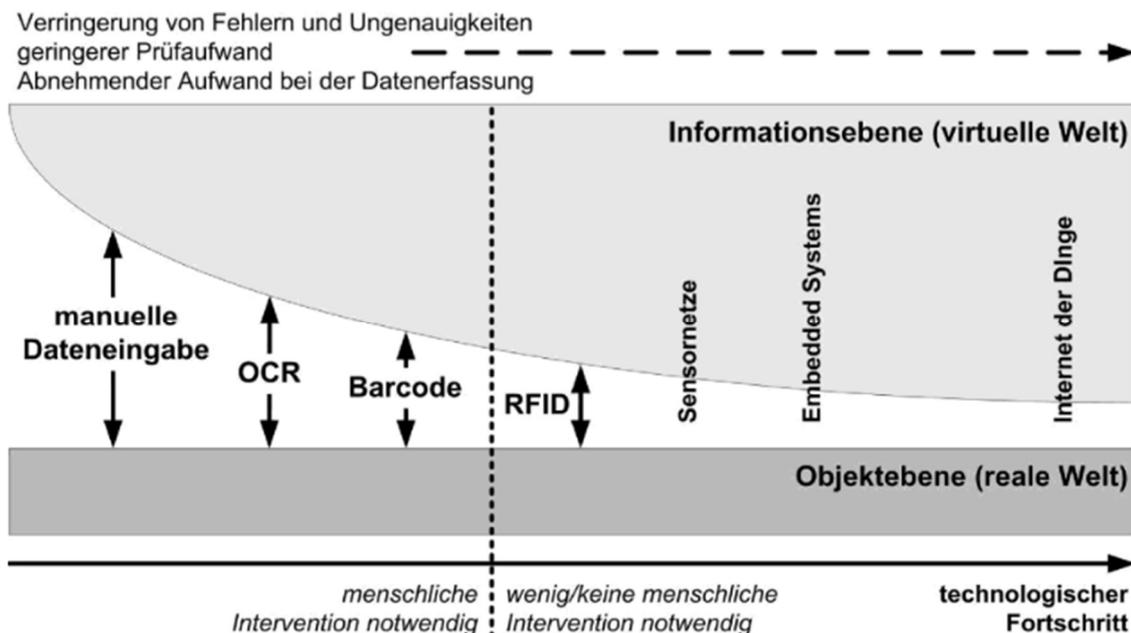


Abbildung 14: RFID zwischen Informations- und Objektebene⁸⁰

⁷⁸ Vgl. Löhle, 2013, S. 45-46

⁷⁹ Vgl. Jedamzik, 2014, S.79

⁸⁰ Löhle, 2013, S. 45-46

4 Lokalisierungstechnologien

Eine flächendeckende und benutzerorientierte Anwendung sowie die Integration von Auto-ID-Systemen in das Hintergrundsystem spielen in der Intralogistik in Zukunft eine zentrale Rolle. Die Einführung von Identifikationsstandards in der Unternehmenspraxis mittels Auto-ID-Systemen gewährleistet die genaue und zeitnahe Verarbeitung von Informationen innerhalb des Betriebs. Daten können schnell und fehlerfrei zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort des Warenflusses gesammelt werden.⁸¹

Mit Hilfe von modernen und automatisierten Ortungs- und Telematiksystemen soll eine aktuelle Statusabfrage zu jedem Zeitpunkt ermöglicht werden. Die Statusüberwachung erfolgt dank Modulen, die entweder an der Ware selbst angebracht oder in den Transportträger integriert sind. Bei direkter Kennzeichnung der Ware kann die Ortung unabhängig vom Transportträger erfolgen. Falls die Lokalisierung jedoch über den Transportträger erfolgt, können zusätzlich Informationen über den Intralogistik-Prozess gesammelt werden. Diese gekennzeichneten Transportträger werden auch als „Intelligente Ladungsträger“ bezeichnet und leisten ihren Beitrag zur besseren Prozesstransparenz.

Grundsätzlich wird zwischen satellitenbasierter und terrestrischer Ortung unterschieden. Da Satellitensignale im Indoor-Bereich nur sehr schwer zu empfangen sind, wird innerhalb von Gebäuden auf die terrestrische Ortung zurückgegriffen. Bei terrestrischen Lokalisierungssystemen unterscheidet man zusätzlich zwischen funkbasierten und bildbasierten/visuellen Ortungstechnologien. Bei den funkbasierten Systemen erfolgt die Ortung beispielsweise via Radiosignalen, WLAN, Bluetooth, ZigBee oder Ultraweitband. ZigBee ermöglicht, wie auch WLAN und Bluetooth, eine drahtlose Datenübertragung über eine Frequenz von 2.4 GHz. Bei den bildbasierten Systemen können optische (sichtbares Licht und/oder Infrarotlicht) und akustische Verfahren (Ultraschall) verwendet werden.⁸²

Bei RTLS werden Objekte ohne zeitliche Verzögerung in Echtzeit geortet. Je nachdem, wo die Positionsinformation vorliegt, wird zwischen Selbst- und Fremdontung unterschieden. Diese Einteilung hat vor allem Einfluss auf die Privatsphäre bzw. Datensicherheit des Systems.

- **Selbst- bzw. Eigenortung (engl. self-positioning):** Es wird die Position von nur einem Lokalisierungsobjekt bestimmt. Die Anordnung der Location Engine erfolgt dezentral auf dem Lokalisierungsobjekt. Auf diesem Prinzip beruht z.B. die GPS-Ortung. Der GPS-Empfänger auf dem Objekt bestimmt über die empfangenen GPS-Signale seine Position. Da die Positionsberechnung nur auf dem jeweiligen Gerät erfolgt, ist das Datensicherheitsniveau verhältnismäßig hoch. Aufgrund der autonomen Berechnung kann auf komplizierte Verfahren

⁸¹ Vgl. Bräkling et al., 2014, S.188

⁸² Vgl. Schenk, 2015, S. 263-264

bei der Zutrittskontrolle und Sicherung persönlicher Daten verzichtet werden. Die zusammengetragenen Positionsinformationen müssen anschließend mittels Kommunikationstechnik weitergeleitet werden.⁸³

- **Fremdortung (engl. remote-positioning):** Bei der Fremdortung kann eine Vielzahl an Objekten lokalisiert werden. Das Objekt muss in einem ersten Schritt identifiziert werden, ehe es von einem äußeren System geortet werden kann. Die Anordnung der Location Engine erfolgt zentral. Eine drahtlose Kommunikation mit dem Location Sensor ermöglicht die Auswertung der Messdaten.^{84 85} Vorteilhaft an diesem System ist, dass der Akku des zu lokalisierenden Objekts kleiner ausfällt und eine geringere Laufzeit aufweisen kann, da das Objekt keine besondere Rechenleistung erbringen muss. Die Ausstattung des Objekts ist dadurch kostengünstiger. Jedoch ist die Fremdortung mit einem bedeutend höheren Kommunikationsaufwand verbunden, da die Berechnungen durch eine zentrale Instanz erfolgen. Die Rechenleistung der zentralen Instanz ist dementsprechend hoch.⁸⁶

Die Wahl der Technologie ist vom Anwendungsbereich sowie den Genauigkeitsanforderungen bei der Positionsbestimmung abhängig. Je genauer die Ortung erfolgen soll, desto höher muss die Dichte der Sensorknoten sein. Vor allem in der Intralogistik sind die Genauigkeitsanforderungen sehr hoch und können sich bis auf eine halbe Palettenbreite (ca. 40 cm) beziehen. Im Bereich der Produktion werden Betriebsmittel zum Teil zellbasiert und mittels Baken geortet, um ihren Standort in einer gekennzeichneten Zone zu ermitteln. Eine höhere Genauigkeit geht allerdings auch mit höheren Kosten einher. Beide Kriterien müssen im Entscheidungsprozess berücksichtigt werden.

Um neben den Positionsdaten noch weitere zusätzliche objektbezogene Informationen zu erhalten, werden Telematiksysteme benutzt. Diese verknüpfen die Bereiche Telekommunikation und Informatik miteinander.⁸⁷

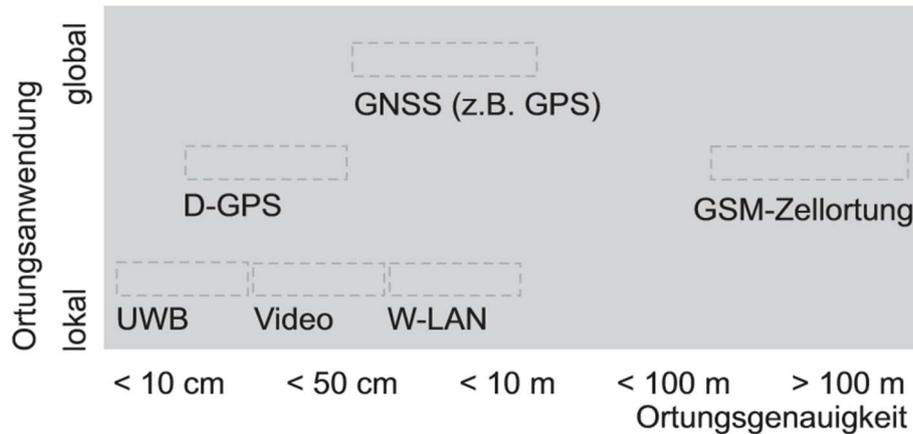
⁸³ Vgl. Teker, 2005, S.14-15

⁸⁴ Vgl. Röhrig et al., 2015, S.1

⁸⁵ Vgl. Hohenstein, Günthner, 2012, S.8

⁸⁶ Vgl. Teker, 2005, S.14-15

⁸⁷ Vgl. Schenk, 2015, S. 263-264



GNSS...Global Navigation Satellite System
 GPS....Global Positioning System
 GSM...Global System for Mobile Communication

Abbildung 15: Anwendungsgebiete und Ortungsgenauigkeiten einzelner Ortungstechnologien ⁸⁸

Bei der Wahl eines geeigneten Lokalisierungssystems muss des Weiteren eine Entscheidung bezüglich der zeitlichen Dichte der Positionsdaten getroffen werden. Je nachdem, ob eine durchgängige Ortung oder eine Lokalisierung einzig an vordefinierten Stellen (z.B. Wareneingang) erfolgen soll, unterscheidet man zwischen kontinuierlicher und diskreter Ortung. Bei der diskreten Ortung erfolgt die Warenidentifizierung beispielsweise über Barcodes oder RFID. ⁸⁹ Die kontinuierliche Ortung ermöglicht nicht nur eine Positionsbestimmung, sondern auch eine Verfolgung in Echtzeit sämtlicher Flurförderzeuge und Warenbewegungen über den gesamten Fahrweg hinweg. Das kontinuierliche Tracking erhöht nicht nur die Prozesssicherheit durch die Überprüfung von Warenaufnahmen und Warenabgaben, sondern auch die Flexibilität. Dies äußert sich durch eine dynamische Gestaltung des täglichen Lagerbetriebs. Außerdem kann die Betriebssicherheit durch Kollisionswarnungen erhöht werden. Die Vorteile einer Echtzeitlokalisierung von Flurförderzeugen sind somit vielfältig. Abhängig von den Unternehmensbegebenheiten wird ihnen ein unterschiedlicher Wichtigkeitsgrad zugewiesen. ⁹⁰

- **Kontinuierliche Ortung**, permanente Verfolgung des Objekts
 - GPS
 - WLAN
 - UWB
 - Ultraschall
 - Bluetooth
 - Laserortung ohne Referenzpunkte

⁸⁸ Schenk, 2015, S. 264

⁸⁹ Vgl. Sucky et al., 2011, S. 140

⁹⁰ Vgl. URL: <http://www.logistik-xtra.de/interne-transportprozesse-mittels-staplerortung-und-staplerleitsystem-optimieren> (28.06.2016), PDF 56, S.1

- **Diskrete Ortung**, Positionsbestimmung nur in bestimmten Bereichen
 - RFID (z.B. Bodentransponder, Gates)
 - optische Systeme (2D-Codes an Hallendecke, Bodenmarkierungen)

4.1 Satellitenbasierte Ortung

Satellitennavigationssysteme (GNSS, Global Navigation Satellite System) nutzen künstliche Erdtrabanten zur Positionsbestimmung. Derzeit gibt es mehrere GNSS, die zur satellitenbasierten Ortung von Objekten verwendet werden. Zu diesen zählen die Satellitennavigationssysteme GPS (Global Positioning Satellite) und GLONASS (Globales Navigationssatellitensystem), die ursprünglich für militärische Zwecke entwickelt wurden. Das europäische System GALILEO und das chinesische System BeiDou wurden hingegen für rein zivile Nutzungen entwickelt.⁹¹ Bei der satellitenbasierten Ortung liegt der Vorteil in der großen Flächenabdeckung, in manchen Fällen sogar der gesamten Erdoberfläche und der hohen Ortungsgenauigkeit. Voraussetzung für dieses Verfahren ist die Möglichkeit, national oder international implementierte Satelliten im Weltall nutzen zu können. Da die Menge der zu übertragenden Daten äußerst gering ist, bleiben die Kosten für die Nutzung des Satellitennetzwerks niedrig. Nachteilig an diesem Lokalisierungsverfahren ist neben dem relativ großen Energieverbrauch der Empfänger auch die eventuelle Zeitverzögerung beim Empfangen der Signale.

Die Positionsbestimmung des mobilen Empfängers erfolgt mittels Trilateration über die Messung der Signallaufzeit zwischen dem Satelliten und dem Endgerät. Die Funksignale beinhalten die Informationen bezüglich der Bahndaten des Satelliten, der Zeitsynchronisation der Uhrzeiten sowie der Position der anderen Satelliten. Die GPS-Signale von mindestens vier Satelliten werden für eine präzise Ortung benötigt. Um die Ortungsgenauigkeit weiter zu verbessern, kann ergänzend das Differential-GPS-System (DGPS) verwendet werden. Dieses liegt dann bei wenigen Zentimetern genau. Basis dieses Systems bildet eine stationäre Referenzstation/Basisstation, deren Koordinaten exakt bekannt sind. Die Station ist mit einer Empfängerstation ausgestattet, die kontinuierlich ihre Position aktualisiert.⁹² Für die Berechnung werden die Differenzen zwischen den gemessenen Entfernungen zu den GPS-Satelliten und den tatsächlichen Sollwerten ermittelt. Fehler bei der Lokalisierung sollen so minimiert werden. Die Referenzstation liefert den mobilen Endgeräten eine neue Referenzposition. Die Differenzwerte werden an die GPS-Empfänger gesendet, damit diese die notwendigen Korrekturen bei der Positionsbestimmung vornehmen können.⁹³ Statt Referenzstationen können auch lokale Korrekturstationen (RTK) zur Verbesserung der Ortungsgenauigkeit und

⁹¹ Vgl. Schenk, 2015, S.266

⁹² Vgl. Decker, 2011, S. 55-57

⁹³ Vgl. URL: <http://www.abf.at/de/technologien/fahrzeugortung-und-verfolgung-differential-gps> (24.06.2016), PDF 54, S.1

Zuverlässigkeit installiert werden. ⁹⁴ GPS-Systeme sind eher für ein Grobtracking geeignet, da die Messgenauigkeit meist bei über 1 m liegt. ⁹⁵

In der Intralogistik spielt die Echtzeitverfolgung von Warenströmen nicht nur innerhalb der Fabrik- und Lagerhallen eine bedeutende Rolle, sondern auch außerhalb der Betriebsgebäude, wie z.B. auf Freilagerflächen. Im Outdoor-Bereich ist die satellitenbasierte Ortung besonders gut geeignet, da der Kontakt zum freien Himmel gegeben ist. ⁹⁶ Innerhalb von Gebäuden jedoch werden die Satellitensignale von den Mauern so stark gedämpft, dass keine ausreichende Ortungsgenauigkeit erreicht werden kann. Aus diesem Grund ist das GPS-Verfahren für die Indoor-Ortung nicht geeignet. Um im Indoor-Bereich eine höhere Ortungsgenauigkeit zu erreichen, wurden daher spezielle terrestrische Lokalisierungsverfahren entwickelt. ⁹⁷

4.2 Terrestrische Ortung

4.2.1 Funkbasierte Ortung

4.2.1.1 Aufbau eines funkbasierten Ortungssystems

Im Indoor-Bereich werden meist höhere Genauigkeitsanforderungen an die Ortungstechnologien gestellt, so dass in den letzten Jahren vermehrt im Bereich der funkbasierten Technik geforscht wurde. Lokal werden nun vermehrt Infrastrukturen mit Funktechnik ausgestattet. Logistik-Standorte, in denen reger Staplerverkehr herrscht, werden mit Empfangsstationen versehen, um die Warenlokalisierung zu ermöglichen. Die Empfangsstationen können dank der an den Objekten angebrachten Funkmodule die genaue Position der Waren bestimmen. Dieses Ortungsprinzip funktioniert auch umgekehrt. Die Sender können an definierten Stellen der Infrastruktur angebracht werden, während die mobilen Objekte mit den entsprechenden Empfangsstationen ausgestattet werden.

Bei geringeren Genauigkeitsanforderungen werden in der Intralogistik vorzugsweise RFID-Lokalisierungssysteme verwendet. Die Objekte, die identifiziert und lokalisiert werden sollen, werden beispielsweise mit passiven Transpondern versehen. Stationäre RFID-Lesesysteme, die an definierten Infrastrukturstellen installiert werden, erfassen den Transponder an der Funkbake automatisch. Die Daten werden gesammelt und verarbeitet. Alternativ können die Umgebung mit stationären Transpondern und die mobilen Objekte mit den RFID-Lesesystemen ausgestattet werden. Dieses System wird beispielsweise im Lagerwesen bei der Lokalisierung von Gabelstaplern angewendet. ⁹⁸

⁹⁴ Vgl. URL: <http://www.rfid-ready.de/201001281214/outdoor-und-indoor-ortungssystem-ermoeglicht-die-lueckenlose-ortung-und-verfolgung-von-warenstroemen.html> (24.06.2016), PDF 55, S. 1

⁹⁵ Vgl. Wölfe, 2014, S. 66

⁹⁶ Vgl. URL <http://innovations.de/beitraege/was-wo-und-wie/> (23.06.2016), PDF 53, S. 2-3

⁹⁷ Vgl. Decker, 2011, S. 52

⁹⁸ Vgl. Schenk, 2015, S.266-267

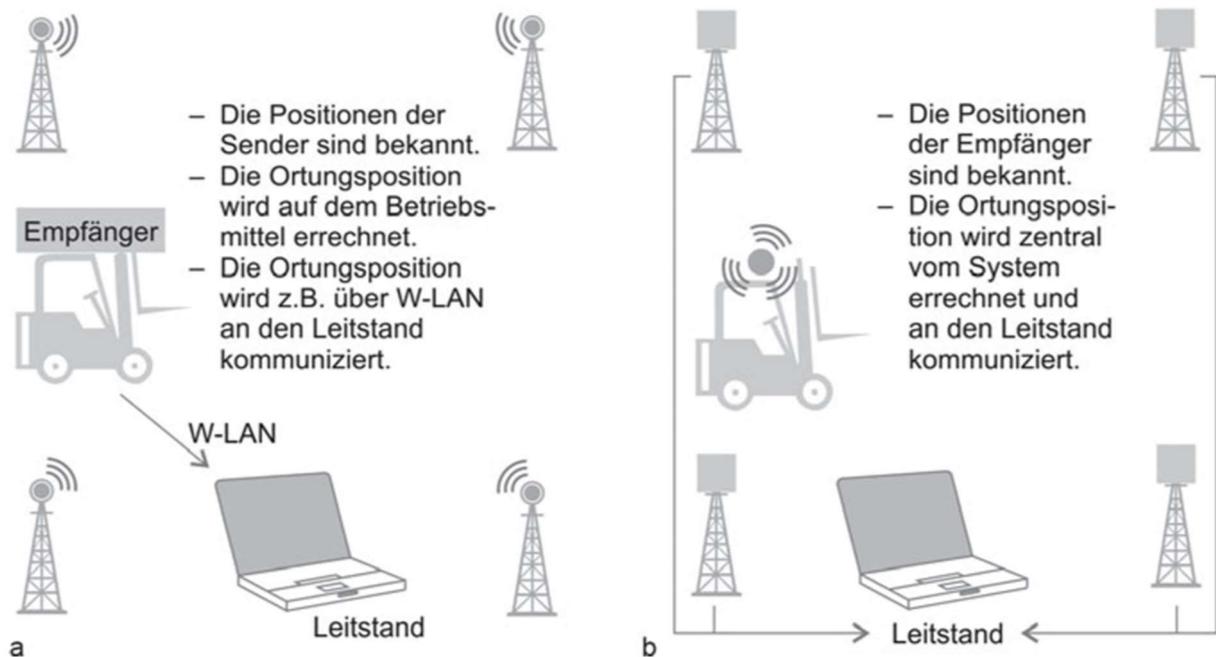


Abbildung 16: Funktionsweise lokaler funkbasierter Ortung, Empfänger an mobilen Objekten (a) und Sender an mobilen Objekten (b) ⁹⁹

Ein funkbasiertes Echtzeitlokalisierungssystem (RTLS) besteht aus den folgenden 4 Modulen:

- **Location Tag:** Der Tag ermöglicht das Kennzeichnen des Objekts, indem es ihm eine eindeutige Identifikationsnummer zuordnet (z.B. RFID-Transponder am Gabelstapler), oder er dient dazu, einen ortsfesten Referenzpunkt festzulegen (z.B. RFID-Transponder im Boden).
- **Location Sensor:** Mit Hilfe des Sensors kann die für die Positionsbestimmung notwendige Messgröße gemessen werden. Die Wahl des Sensors ist abhängig vom Messprinzip. Man unterscheidet zwischen bi-direktionalen Signalen und uni-direktionalen Signalen. Im ersten Fall kommt es zum Austausch zwischen Tag und Sensor. Uni-direktionale Signale werden hingegen nur in eine Richtung, nämlich vom Tag an den Sensor gesendet. Die Messgröße alleine reicht für die Positionsbestimmung jedoch noch nicht aus.
- **Location Engine:** Die gesammelten Messdaten werden von der Location Engine vorverarbeitet, um anschließend mit Hilfe eines geeigneten Lokalisierungsverfahrens eine Aussage bezüglich der Objektposition treffen zu können. Die Messdaten werden durch den Rechner mittels Algorithmen (Triangulation, Trilateration, Szenenanalyse, Nachbarschaftsanalyse usw.) in Positionsinformationen umgewandelt.

⁹⁹ Schenk, 2015, S.267

- **Location Application:** Die Location Application verarbeitet die Positionsdaten und stellt diese dem Nutzer zur Verfügung. Sie leitet die Daten an übergeordnete Systeme weiter (z.B. Warehouse Management System oder Staplerleitsystem).¹⁰⁰

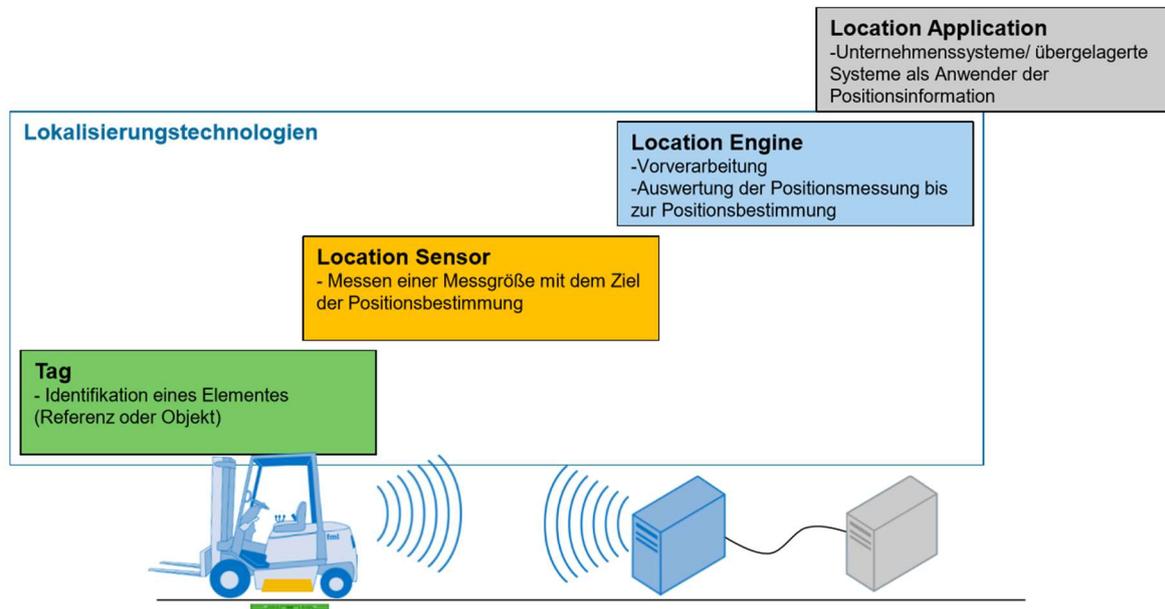


Abbildung 17: Komponenten eines RTLS und ihre Aufgaben¹⁰¹

Im Bereich der Funktechnologie liegt der Forschungsfokus zunehmend auf der Anwendungsebene, da die Grundvoraussetzungen für eine effiziente drahtlose Datenübertragung in den letzten Jahren bereits geschaffen wurden. Vor allem im Bereich der Bandbreite der Signale und der Schaffung von Standards wurden Entwicklungsfortschritte verzeichnet. Gleichzeitig wurde eine Erhöhung der Verfügbarkeit und somit eine Senkung der Hardwarekosten ermöglicht. Aus diesem Grund kann man sich heute darauf konzentrieren, die drahtlosen Übertragungstechniken zu vereinfachen und flexibler zu gestalten. Positionsbestimmungsverfahren, die die Ortung von mobilen Objekten ermöglichen, stehen daher im Vordergrund. Für die funkbasierte Ortung müssen grundsätzlich zwei Hardwarekomponenten zur Verfügung stehen: das zu ortende mobile Objekt und die ortsgebundenen Sende- bzw. Empfangsstationen.¹⁰²

¹⁰⁰ Vgl. Hohenstein, Günthner, 2012, S. 7

¹⁰¹ Hohenstein, 2011, S.11

¹⁰² Vgl. URL: http://www.fh-dortmund.de/de/fb/4/einrichtungen/laboratorien/imsi/Projekte/einf_lok..php (29.05.2016), PDF 26, S.1-2

4.2.1.2 Lokalisierungsverfahren

Klassifizierung

Lokalisierungsverfahren unterscheidet man anhand der Informationen, die zwischen den Sendern und Empfängern ausgetauscht werden. Zu diesen zählen:

- Verbindungsinformationen (CoO),
- Empfangswinkel der Signale (AoA),
- Empfangszeitpunkte der Signale (ToA),
- Bidirektionale Umlaufzeit des Signals (RToF),
- Zeitdifferenzen der eingehenden Signale (TDoA),
- Signalstärken der eingehenden Signale (RSSI).

Bei der Nachbaranalyse werden Objekte in der Nähe einer eindeutig definierten Stelle (z.B. Cell of Origin) erfasst. Falls man bei der Lokalisierung die aktuelle Position des Objekts mit den Merkmalen einer Karte vergleicht, handelt es sich um eine Szenenanalyse (z.B. Fingerprinting, Radio Map). Dabei entspricht jedem Ort ein charakteristisches Signalmuster, das mit der gemessenen Signalstärke verglichen wird. Bei der geometrischen Analyse hingegen werden Winkel oder Abstandsinformationen zu Landmarken mit bekannten Positionen genutzt (z.B. ToA, TDoA, AoA). Die Koppelnavigation (Dead Reckoning) berechnet die Position, indem sie Bewegungen relativ zu einem bekannten Startpunkt erfasst (z.B. Odometrie, Pedestrian Dead Reckoning).¹⁰³

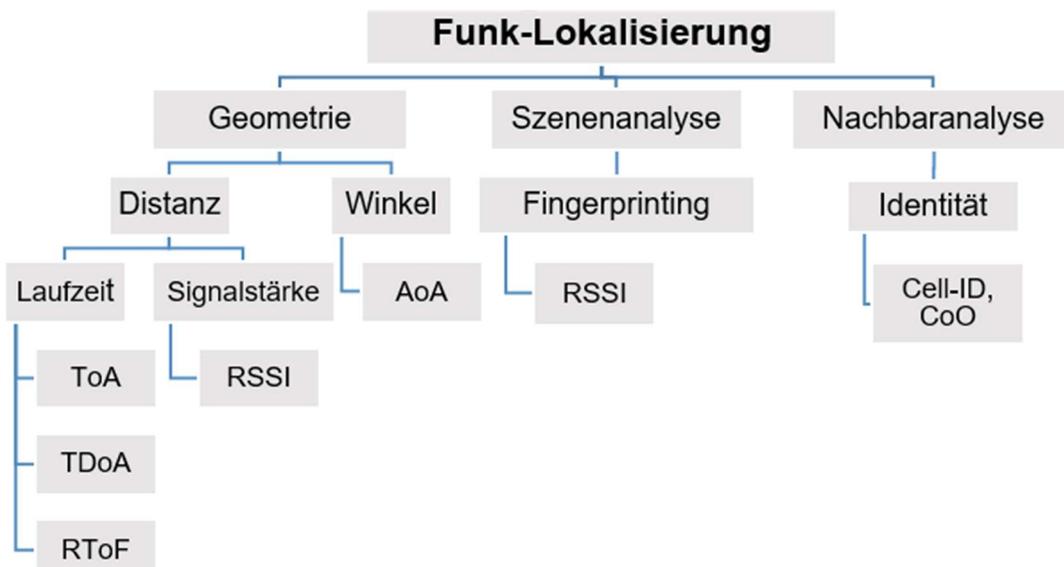


Abbildung 18: Lokalisierungsverfahren¹⁰⁴

¹⁰³ Vgl. Röhrig, 2009, S. 2

¹⁰⁴ Vgl. Röhrig et al., 2015, S.2-3

Bei der Wahl eines Lokalisierungssystems müssen die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Lokalisierungsverfahren berücksichtigt werden. Die folgende Tabelle bietet einen Überblick diesbezüglich.

Verfahren	Vorteile	Nachteile
TOA	- Hohe Ortungsgenauigkeit - geringere Beeinflussung durch Umgebungsänderungen	- Zeitsynchronisation zwischen Sender und Empfänger nötig - Sichtkontakt vorausgesetzt, da Störung durch Multipath-Ausbreitung - Zeitmessung nicht in jeder Hardware möglich
TDOA	- Hohe Ortungsgenauigkeit - Zeitsynchronisation bei den Sendern - geringere Beeinflussung durch Umgebungsänderungen	- Sichtkontakt vorausgesetzt, da Störung durch Multipath-Ausbreitung - Zeitmessung nicht in jeder Hardware möglich
RSSI	- Jegliche Hardware, die die Signalstärke erfasst, ist geeignet - keine Zeitsynchronisation notwendig	- Niedrige bis mittlere Ortungsgenauigkeit - anfällig gegenüber Störungen der Signalausbreitung z.B. durch Umgebungsveränderungen
AoA	- Nur zwei Empfänger nötig - keine Zeitsynchronisation notwendig	- Gruppenantennen benötigt - komplexes System - Sichtkontakt vorausgesetzt
CoO	- Einfach und mit jeder Hardware realisierbar	- Niedrige Ortungsgenauigkeit

Tabelle 5: Vor- und Nachteile relevanter Lokalisierungsverfahren ^{105 106}

Wichtigste Verfahren

„Cell-of-Origin“- Verfahren

Das „Cell of Origin“-Verfahren ermöglicht die Ortung von Objekten anhand der Position mobiler Knoten gegenüber ortsfesten Knoten (z.B. ein Access Point im WLAN-Netz). Die Ortungsgenauigkeit ist abhängig von der Größe der Funkzellen. Je kleiner die Funkzelle des mobilen Objekts ist, desto genauer kann das Objekt lokalisiert werden. Jeder Knoten bzw. jede Funkzelle wird mit einer eindeutigen Cell-ID identifiziert. ¹⁰⁷

In der Intralogistik wird dieses Verfahren beispielsweise bei RFID-Gates angewendet, wobei die am Gate angebrachten ortsfesten Sender die mobilen Transponder auf den Waren erfassen. Dank dieses Verfahrens kann dem Objekt mittels Zeitstempel und Positionsdaten (z.B. Anlieferungstor) ein Geschäftsvorfall (z.B. Wareneingang) zugewiesen werden. Das System funktioniert auch umgekehrt mit ortsfesten Transpondern/Empfängern (z.B. an der Hallendecke) und mobilen Sendern (z.B. auf Flurförderzeugen). ¹⁰⁸

¹⁰⁵ Vgl. Bai et al., 2012, S.7

¹⁰⁶ Vgl. Menz, 2005, S.9

¹⁰⁷ Vgl. Bai et al., 2012, S.7

¹⁰⁸ Vgl. Zsifkovits, Altendorfer-Kaiser, 2015, S.5

Winkelberechnungsverfahren

Das Winkelberechnungsverfahren oder auch Angle of Arrival-Verfahren (AoA) verwendet den Einfallswinkel des empfangenen Signals, um das Objekt zu lokalisieren. Voraussetzung zur Umsetzung dieses Verfahrens ist die Installation von mindestens zwei ortsgebundenen Sendestationen, welche mit mehreren Richtungsantennen ausgestattet sind. Alternativ kann auch auf dem mobilen Objekt eine rotierende Richtungsantenne angebracht werden. Die Position der Sendestationen muss in beiden Fällen bekannt sein. Die Entfernung zwischen Objekt und Station wird mit den Winkelbeziehungen innerhalb eines Dreiecks mit dem Kosinus- bzw. Sinussatz berechnet (Triangulationsverfahren).¹⁰⁹

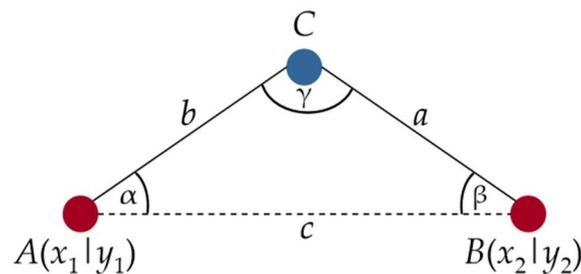


Abbildung 19: Triangulation¹¹⁰

Signallaufzeitverfahren

Die Techniken „Time of Arrival“ (ToA), „Time Difference of Arrival“ (TDoA) und „Round-trip Time of Flight“ (RTof) bestimmen die Position anhand der Signallaufzeit, die zwischen dem mobilen Objekt und der ortsfesten Station gemessen wird. Ist die genaue Position der Station bekannt, kann unter Annahme der Signalausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit die Entfernung des Objekts berechnet werden. Nachdem die Distanzen zu mindestens drei Stationen berechnet worden sind, kann mittels Trilateration im zweidimensionalen Raum die Positionsbestimmung des mobilen Objekts erfolgen. Verglichen mit dem Triangulationsverfahren ist die Trilateration einfacher zu handhaben, da lediglich die drei Distanzen und nicht auch die Einfallswinkel bekannt sein müssen.¹¹¹

¹⁰⁹ Vgl. URL: http://www.fh-dortmund.de/de/fb/4/einrichtungen/laboratorien/imsl/Projekte/einf_lok..php (29.05.2016), PDF 26, S.3

¹¹⁰ Röhrig, 2009, S. 3

¹¹¹ Vgl. URL: http://www.fh-dortmund.de/de/fb/4/einrichtungen/laboratorien/imsl/Projekte/einf_lok..php (29.05.2016), PDF 26, S.4-5

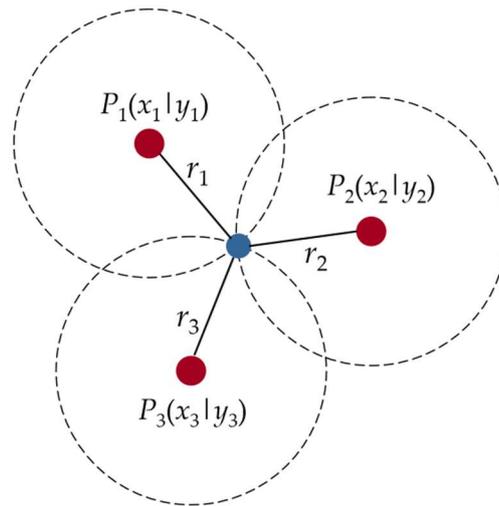


Abbildung 20: Trilateration ¹¹²

Auch beim RToF-Verfahren wird mit der Signallaufzeit gerechnet, wobei auf das Auseinanderlaufen (clock drift) der Uhren auf dem Hin- und Rückweg des Signals geachtet wird. Da bei diesem Verfahren die Umlaufzeit der Signale die Basis der Positionsberechnungen darstellt, kann auf eine Synchronisation der Uhren zwischen dem mobilen Objekt und den ortsgebundenen Stationen, wie es beim ToA-Verfahren notwendig ist, verzichtet werden. ¹¹³

Das TDoA-Verfahren arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie das ToA-Verfahren, indem es die Distanz zwischen Objekt und Station misst. Der Unterschied zwischen den beiden Systemen besteht jedoch darin, dass beim TDoA-Verfahren das Objekt gleichzeitig an mehrere Empfängerstationen ein Signal senden kann. Die Empfänger vergleichen ihre Signale miteinander. Mit der gemessenen Zeitdifferenz kann anschließend eine Hyperbel im zweidimensionalen Raum berechnet und das Problem der Taktsynchronisation beseitigt werden. ¹¹⁴ Dies stellt auch einen wesentlichen Vorteil des TDoA-Verfahrens gegenüber dem ToA-Verfahren dar. Das ToA-Verfahren ist jedoch mit einem großen zusätzlichen Verdrahtungsaufwand zwischen den Sensoren (wie z.B. bei Ubisense) verbunden. ¹¹⁵

Signalstärkeverfahren

Das RSSI-Verfahren (Received Signal Strength Indicator) verwendet die empfangene Signalstärke für die Lokalisierung des mobilen Objekts. Das Prinzip beruht auf der Tatsache, dass die Signalstärke mit der Distanz zum Sender quadratisch abnimmt. Auch hier wird die Ortung mittels Trilateration, basierend auf dem logarithmischen Distanzverlustmodell, im zweidimensionalen Raum durchgeführt.

¹¹² Röhrig, 2009, S. 5

¹¹³ Vgl. URL: http://www.fh-dortmund.de/de/fb/4/einrichtungen/laboratorien/imsl/Projekte/einf_lok..php (29.05.2016), PDF 26, S.5

¹¹⁴ Vgl. Novrianto, 2012, S. 9

¹¹⁵ Vgl. Zsifkovits, Altendorfer-Kaiser, 2015, S.6

Allerdings können beim RSSI-Verfahren Probleme bei der Indoor-Ortung auftreten. Abhilfe schafft das Fingerprinting-Verfahren, das eine Signalstärke mit einer Position im Betriebsgelände verknüpft. Diese Daten werden auf einer Radio Map abgespeichert. Auch bei diesem Verfahren ist es notwendig, die genaue Position vordefinierter Stellen zu kennen. Die Positionsbestimmung des Objekts erfolgt, indem die gemessenen Signalstärken mit denen aus der Radio Map verglichen werden. Nachteilig an diesem Verfahren ist der Aufwand, der bei der Kalibrierung der Radio Map anfällt. ¹¹⁶

Das RSSI-Verfahren ist aufgrund von Absorption und Reflexion, zu denen es vor allem in metallischen Umgebungen kommt, relativ stör anfällig. Damit das Verfahren trotzdem in industriellen Umgebungen angewendet werden kann, muss das System mit Filtern ausgestattet werden. Signalstärkeverfahren werden für passive und aktive RFID-, Bluetooth- und WLAN-Systeme verwendet. ¹¹⁷

4.2.1.3 Geeignete Signale zur Positionsbestimmung

Bei den funkbasierten Lokalisierungsverfahren werden verschiedene Signale zur Messung verwendet. Die Vor- und Nachteile der Lokalisierungssysteme, die sich durch die verwendeten Signale ergeben, werden im Folgenden näher erläutert. Bei der funkbasierten Indoor-Ortung werden neben Radiofrequenzsignalen (RFID) auch WLAN-, Bluetooth-, ZigBee- oder Ultraweitbandsignale eingesetzt. Um eine möglichst hohe Ortungsgenauigkeit zu erhalten, werden in Abhängigkeit vom Signal unterschiedliche Lokalisierungsverfahren zur Positionsberechnung gewählt.

RFID

Radiosignale weisen die größten elektrischen Wellenlängen und kleinsten Frequenzen auf. Der Frequenzbereich liegt dabei zwischen 75 kHz und 10 GHz. Über die Trägerwellen erfolgt die drahtlose Datenübertragung, welche die Positionsbestimmung der Objekte ermöglicht. Der Informationsaustausch kann dabei beispielsweise über Rundfunk, Mobilfunk, WLAN oder Bluetooth über Amplituden- oder Frequenzmodulation erfolgen. Einen großen Vorteil gegenüber Infrarot oder sichtbarem Licht stellt die Möglichkeit der Wanddurchdringung dar, so dass zur Datenübertragung kein Sichtkontakt zwischen Sender und Empfänger bestehen muss. ¹¹⁸ Die RFID-Ortung wird des Öfteren für eine diskrete Ortung verwendet, d.h. für die Identifizierung von Objekten an bestimmten Orten, wie z.B. an Umschlagpunkten. Vor allem passive RFID-Systeme sind für solche Anwendungen geeignet. Des Weiteren werden RFID-Netzwerke verwendet, um mobile Objekte in einem räumlich abgetrennten Bereich über fest installierte Sensorknoten mittels

¹¹⁶ Vgl. URL: http://www.fh-dortmund.de/de/fb/4/einrichtungen/laboratorien/imsl/Projekte/einf_lok..php (29.05.2016), PDF 26, S.5

¹¹⁷ Vgl. Zsifkovits, Altendorfer-Kaiser, 2015, S.6

¹¹⁸ Vgl. Karimi, 2015, S.39

Triangulation zu orten. Hierbei werden aktive RFID-Systeme verwendet. Sie sind für größere Flächen konzipiert, haben aber eine geringere Ortungsgenauigkeit.¹¹⁹

Da RFID-Systeme nach ihren Arbeitsfrequenzen unterteilt werden (LF, HF, UHF, Mikrowelle), sind auch die physikalischen Eigenschaften der Systeme unterschiedlich. Während niederfrequente RFID-Systeme unempfindlicher gegen Nässe sind, zeichnen sich hochfrequente Systeme durch eine größere Reichweite, höhere Datenübertragungsrate sowie geringere Störanfälligkeit gegenüber elektromagnetischen Wellen aus.¹²⁰

WLAN / Bluetooth

WLAN- und Bluetooth-Signale werden ebenfalls für die Objektortung verwendet. TOA- und TDoA-Methoden sind für die Positionsberechnung nicht geeignet. Geeigneter sind die Nachbarschaftsanalyse oder das Fingerprinting-Verfahren.¹²¹ Über WLAN und Bluetooth werden mehrere Geräte im ISM-Frequenzband von 2.4 GHz drahtlos miteinander verbunden. Im Vergleich zu RFID-Tags, die sich in unmittelbarer Nähe zum Erfassungsgerät befinden müssen (z.B. beim RFID-Gate), können bei der WLAN-Ortung größere Distanzen zwischen den Geräten überbrückt werden.¹²² Während WLAN eine höhere Reichweite und Übertragungsgeschwindigkeit als Bluetooth aufweist, punktet Bluetooth wiederum mit einem wesentlich geringeren Energieverbrauch, kleinerer Baugröße der Tags und niedrigeren Kosten. Die Kostenvorteile ergeben sich größtenteils durch die Massenproduktion und „Ein-Chip-Lösungen“. Vor allem bei Mobiltelefonen und der Verbindung von Kleingeräten hat sich die Bluetooth-Technik bewährt. Bluetooth bietet außerdem 128-Bit-Schlüssel zur Authentisierung und Verschlüsselung an.¹²³

Die Ortungsgenauigkeit von WLAN- und Bluetooth-Systemen ist abhängig von der Dichte und der Anzahl der Basisstationen. Meist wird die Entfernung des Objekts gegenüber dem Access Point über das Signalstärkeverfahren (RSSI) und die genaue Position schließlich per Trilateration berechnet. Die Position kann bis auf 1 m genau erfasst werden.¹²⁴ Die WLAN-Ortung bietet den Vorteil, dass eine bereits vorhandene WLAN-Infrastruktur genutzt werden kann. Es muss jedoch meistens eine neue Kalibrierung durchgeführt werden, indem Access Points hinzugefügt, verschoben oder entfernt werden.¹²⁵ Nachteilig sowohl an der Bluetooth- als auch an der WLAN-Ortung ist die Gefahr von Interferenzen mit anderen Funkquellen, die im ISM-Band von 2.4 GHz operieren. Zu Interferenzen zwischen WLAN und BLE kommt es jedoch nur, wenn die WLAN-Frequenzen nicht sauber konfiguriert werden. Sie können daher vermieden

¹¹⁹ Vgl. Sucky et al., 2011, S. 140

¹²⁰ Vgl. Lee, 2008, S.11

¹²¹ Vgl. Karimi, 2015, S.39

¹²² Vgl. URL: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Tracking-tracking.html> (17.07.2016), PDF 64, S.3

¹²³ Vgl. Gessler, Krause, 2015, S. 271

¹²⁴ Vgl. Schill, Springer, 2012, S. 353

¹²⁵ Vgl. Lee, 2008, S.9

werden. In manchen Industrien, wie z.B. im Automotivbereich, dürfen BLE-Funksender jedoch weiterhin nicht installiert werden. Die Firma infsoft zum Beispiel, ist derzeit mit BMW wegen einer Installation von BLE-Beacons im Gespräch, doch der heutige Stand der Gesetzgebung erlaubt die Anbringung von BLE-Beacons in der Produktionshalle noch nicht. Die Automobilhersteller versuchen bereits diese Verordnung zu lockern, doch aktuell besteht in dieser Branche weiterhin das BLE-Verbot.¹²⁶

BLE-Beacons weisen eine geringe Reichweite auf. Die drahtlose Kommunikationstechnologie wird von Smartphones unterstützt. Durch Verwendung von Standardchipsätzen und Massenproduktion können BLE-Beacons kostengünstig hergestellt werden.¹²⁷ Ein Beacon, der für eine Gabelstaplerortung geeignet ist, kostet etwa 7 bis 20 € im Einzelverkauf.¹²⁸ Die Kostentreiber bei einem BLE-Ortungssystem sind daher die Endgeräte, die mit einer speziellen Antennentechnologie ausgerüstet werden müssen, um die Signale empfangen zu können.¹²⁹

Ultraweitband (UWB)

Die Ortung über Ultraweitband erfolgt über das Aussenden von Impulsen über ein breites Frequenzspektrum (3.1-10.6 GHz).¹³⁰ Somit können bereits bestehende Frequenzbänder verwendet werden, bzw. bleiben andere Funkssysteme ungestört. Durch die Impulsübertragung sind die Arbeitszyklen der UWB-Systeme kürzer, so dass der Energieverbrauch wesentlich geringer ist als bei der Modulation eines Trägersignals auf einer bestimmten Frequenz. Auch die übertragbare Datenmenge ist für kurze Entfernungen hoch. Es handelt sich um ein sehr robustes Übertragungsverfahren, das für den anspruchsvollen Indoor-Bereich sehr gut geeignet ist.¹³¹ Meist werden die Lokalisierungsverfahren ToA, TDoA und AoA verwendet. Die Ortungsgenauigkeit kann im dreidimensionalen Raum auf bis zu 15 cm genau erfolgen.¹³²

ZigBee

ZigBee ermöglicht die drahtlose Datenübertragung über eine erweiterte Netzwerk- und Anwendungsschicht des WLAN-Standards IEEE 802.15.4. Es arbeitet im 2.4 GHz-Band bzw. bei Bedarf auch im 868 MHz-Band. Es handelt sich dabei um ein drahtloses Sensornetzwerk, auch Wireless Sensor Network (WSN) genannt. Kennzeichnend für das System sind im Vergleich zu WLAN und Bluetooth niedrige Datenübertragungsraten zwischen 20 und 250 kbps sowie ein geringerer Energieverbrauch.¹³³ Das System verwendet ein eigenes Protokoll. Während der

¹²⁶ Vgl. Experteninterview Winkler, infsoft, 2017

¹²⁷ Vgl. Schelewsky et al., 2014, S.51

¹²⁸ Vgl. Experteninterview Winkler, infsoft, 2017

¹²⁹ Vgl. Schelewsky et al., 2014, S.51

¹³⁰ Vgl. Zsifkovits, Altendorfer-Kaiser, 2015, S.8

¹³¹ Vgl. Schmidt, 2010, S. 7

¹³² Vgl. Borrmann et al., 2015, S.400

¹³³ Vgl. Hristov, 2010, S.15

Standard IEEE 802.15.4 die physischen (PHY) und MAC-Schichten definiert, erweitert ZigBee den Protokollstapel um die Netzwerk (NWK)- und Applikationsschichten (APL).¹³⁴ Um eine Datenübertragung im Netzwerk zu ermöglichen, müssen ZigBee Knoten daher von einem Access Point in TCP/IP übersetzt werden. Das System kann eine große Anzahl an Objekten orten und weist eine höhere Lesereichweite als Bluetooth bzw. eine kürzere Lesereichweite als Radiosignale auf.¹³⁵ Kennzeichnend für ZigBee ist ebenfalls eine überdurchschnittliche Wanddurchdringung und Reichweite bei Sichtkontakt.¹³⁶

4.2.2 Bildgebende Ortung – Optik und Akustik

Neben der funktechnischen Ortung können auch optische und akustische Verfahren zur Ortung von Objekten verwendet werden. Dabei unterscheidet man zwischen kamerabasierten und zeitbasierten Verfahren. Bei Letzteren können sowohl optische als auch akustische Laufzeitmessungen durchgeführt werden.

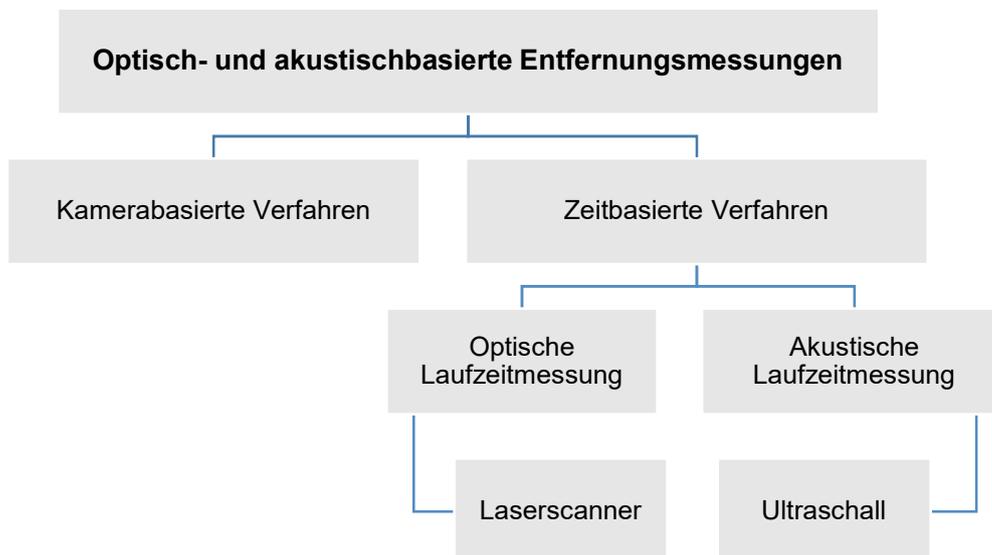


Abbildung 21: Optische und akustische Ortungsverfahren¹³⁷

4.2.2.1 Kamerabasierte Verfahren

Innerhalb des Betriebsgeländes kann die Identifikation und Ortung von Objekten mittels bildverarbeitender Systeme erfolgen. Da eine eindeutige Identifikation anhand der Konturenerfassung des Objekts nicht möglich ist, wird die bildverarbeitende

¹³⁴ Vgl. URL :

<http://www.science.smith.edu/~jcardell/Courses/EGR328/Readings/Zigbee%20GettingStarted.pdf> (21.03.2017), PDF 41, S.5

¹³⁵ Vgl. Bai et al., 2012, S.6

¹³⁶ Vgl. URL: http://www.an-solutions.de/applications/industrial_automation-ger.html (19.07.2016), PDF

¹³⁷ Vgl. Köppe, 2014, S. 10

Technik in der Intralogistik auf das Lesen von optischen Markern, wie z.B. Barcodes ausgeweitet.¹³⁸

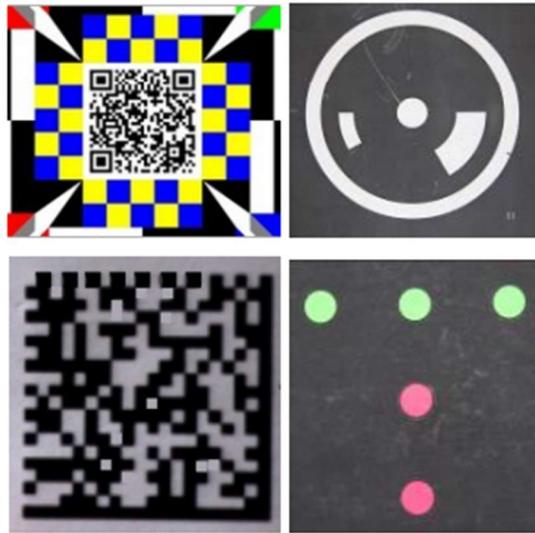


Abbildung 22: Beispiele für optische Marker¹³⁹

Im Bereich der bildbasierten Identifikation wird die Unterstützung durch Technologien, wie etwa der Gyrosensorik (Inertial Sensors) benötigt. Dabei handelt es sich um Sensoren, die kleinste Beschleunigungen, Drehbewegungen oder Lageänderungen erfassen können.¹⁴⁰ Es wird zwischen zwei technischen Ansätzen unterschieden.

Einerseits kann die Videosensorik auf dem mobilen Objekt angebracht werden, so dass das Objekt seinen Standort selbst bestimmt. Dies geschieht über optische Marker, die an Lagerstellen und Hallendächern angebracht und von der Kamera erfasst werden. Die gesammelten Informationen können per Funk (z.B. WLAN) an die übergeordnete Leitzentrale weitergegeben werden. Die Kombination aus Kamera- und Rechensystem ist sehr kostenintensiv und wird daher vor allem für große Flächen mit verhältnismäßig wenigen mobilen Objekten verwendet.

Andererseits werden bei beengtem Raum und einer großen Anzahl an mobilen Objekten die Kameras fest an den Lagerstellen und Hallendächern montiert. Die optischen Marker, welche sich auf den mobilen Objekten befinden, werden von den Kameras erfasst. Anschließend werden die gewonnenen Standortinformationen an die zentral angebrachte Rechenzentrale weitergeleitet und verarbeitet.

Die Videokamera kann aber nicht nur zur Identifikation und Ortung verwendet werden; sie liefert auch andere zusätzliche Informationen. Mit Hilfe von unterschiedlichen Kamerasichten kann eine „Virtuelle Draufsicht“ über den Überwachungsbereich erstellt werden. Diese bietet die Möglichkeit einer Statusüberwachung der betrachteten

¹³⁸ Vgl. Schenk, 2015, S.267-269

¹³⁹ Mautz, Tilch, 2011, S.4

¹⁴⁰ Vgl. URL: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Gyrosensor-gyro-sensor.html> (13.08.2016), PDF 66, S.1

Flächen. So kann beispielsweise der Auslastungsgrad bei Flächenlagern, die Fahrtstrecke von Staplern, die örtliche Gefährdung durch mobile Objekte und vieles mehr analysiert werden.¹⁴¹

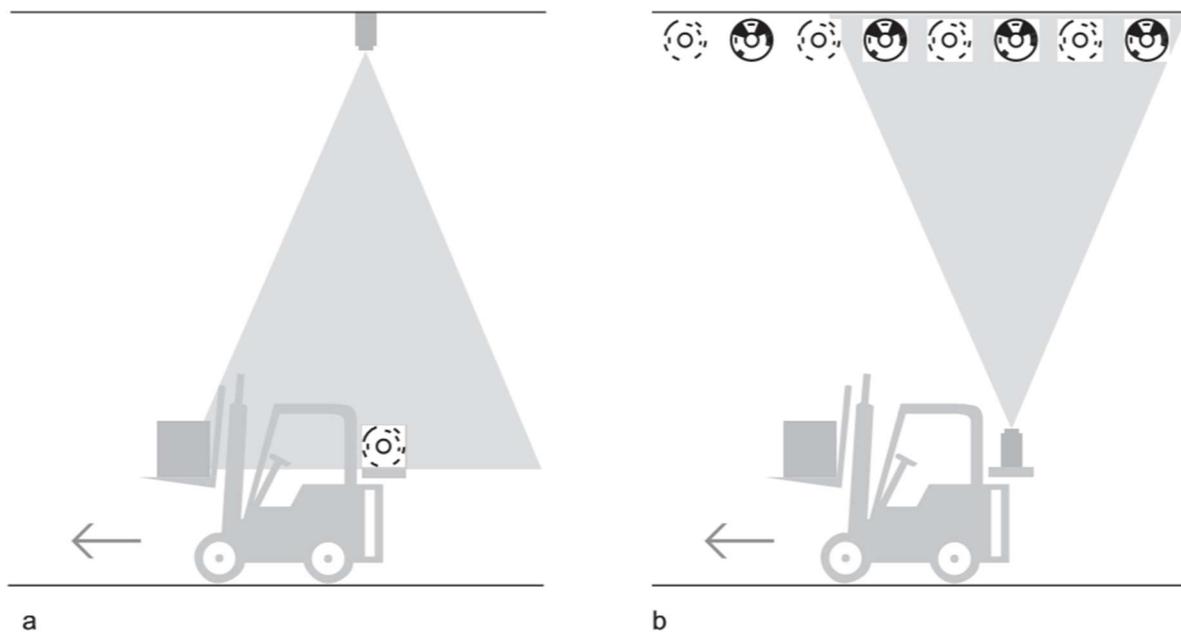


Abbildung 23: Technische Ansätze zur bildbasierten Ortung von Betriebsmitteln, Analyse des bewegten Objekts (a) und Analyse der Umgebung (b)¹⁴²

Bei der bildbasierten Lokalisierung wird sichtbares Licht zur Erfassung verwendet. Es handelt sich dabei um elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 380 und 780 nm. Dies entspricht Frequenzen von etwa 789 THz bis 384 THz.¹⁴³ Einen großen Vorteil stellt das natürliche Vorkommen von Licht tagsüber dar, so dass es nicht künstlich hergestellt werden muss. Mittels CCD-Sensoren (Charge-Coupled-Device) kann das Objekt lokalisiert werden. Dabei wird die Reflektion des Lichts bei Berührung von Oberflächen genutzt.¹⁴⁴ Um die Störanfälligkeit gegenüber Lichtverschmutzung zu reduzieren, bieten manche Kamerasysteme die Möglichkeit, zusätzlich aktives Infrarotlicht (IR-Licht) zur genaueren Erfassung der Markierungen auszusenden.¹⁴⁵

Bei einem optischen Echtzeitlokalisierungssystem mittels IR werden die Lokalisierungsobjekte mit einem optischen Transponder ausgestattet. Für eine hohe Ortungsgenauigkeit ist direkter Sichtkontakt zwischen dem Transponder und der IR-Kamera, sowie stark gebündelte Infrarotstrahlung nötig. Die Distanz zwischen Objekt und Kamera kann bis zu 12 m betragen. Die Signale können zwar durch Lichtverschmutzung gestört werden, dafür sind sie aber unempfindlich gegenüber

¹⁴¹ Vgl. Schenk, 2015, S.267-269

¹⁴² Ebenda, S. 268

¹⁴³ Vgl. Beetz, 2014, S. 217

¹⁴⁴ Vgl. Retscher, Kistenich, 2006, S. 26

¹⁴⁵ Vgl. Mautz, 2012, S.37

elektromagnetischen Störungen, die durch Maschinen oder andere Funksender entstehen können. Besonders gut geeignet sind optische Systeme auch für metallische und feuchte Umgebungen. Mit der Video-Kamera wird die Umgebung nach Markierungstafeln abgetastet. Diese können je nach Systemarchitektur an der Decke, an Wänden oder auf dem Objekt angebracht sein. Die Markierungstafeln werden mit einem Barcode, einem 2D-Code oder Klarschrift versehen.¹⁴⁶

4.2.2.2 Zeitbasierte Verfahren

Laserscanner

Der Laserscanner ortet Objekte mittels optischer Laufzeitmessung. Er tastet dabei die fest angebrachten Reflektoren ab. Die Entfernung vom Objekt zu den Reflektoren wird über die Laufzeit der optischen, elektromagnetischen Wellen an der reflektierten Oberfläche gemessen. Dabei wird die Zeit gemessen, die der Lichtstrahl vom Sensor zur reflektierenden Oberfläche und wieder zurück benötigt.¹⁴⁷ Der Laserscanner arbeitet mit IR-Signalen, wobei es sich um unsichtbare elektromagnetische Strahlung (Wärmestrahlung) handelt. Je nach Wellenlänge unterscheidet man zwischen nahem (0.78-3 μm), mittlerem (3-50 μm) und fernem IR (50-1000 μm).¹⁴⁸ Diesen Wellenlängen entsprechen Frequenzen zwischen 300 GHz bis 385 THz.¹⁴⁹ Ein Vorteil von IR-Licht liegt darin, dass es unsichtbar ist. Die Positionsbestimmung erfolgt dank der Reflektion der Infrarotstrahlung an den Oberflächen, wobei sich die Strahlen bei einer Reichweite von wenigen Metern mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.¹⁵⁰ IR-Sender sind außerdem relativ leicht erhältlich und kostengünstig. Nachteilig an diesen Signalen ist, dass sie Mauern nicht durchdringen können. Tote Winkel erschweren ebenfalls die Lokalisierung. Zudem ist die Reichweite der IR-Sender relativ gering.¹⁵¹

Ultraschall

Im Vergleich zu IR- und Funksignalen breiten sich Ultraschallsignale etwa um 300 m/s langsamer aus. Dies erleichtert die Messung der Signale, so dass mit gleichem technischem Aufwand eine höhere Ortungsgenauigkeit erreicht werden kann. Misst man nun die Zeit, die zwischen dem Eintreffen eines Funk- und eines Ultraschallsignals beim Empfänger verstreicht, kann die Entfernung des Senders berechnet werden. Mehrere Sender oder Empfänger ermöglichen die genaue Positionsbestimmung. Problematisch bei der Lokalisierung mittels Ultraschall ist die Verfälschung der Resultate durch reflektierte Signale, die von direkten Signalen nicht unterschieden werden können. Aus diesem Grund ist, wie auch bei den IR-Signalen,

¹⁴⁶ Vgl. URL: http://www.aim.de/index.php?option=com_content&view=article&id=835&Itemid=78 (11.07.2016), PDF 62

¹⁴⁷ Vgl. Köppe, 2014, S. 11

¹⁴⁸ Vgl. Retscher, Kistenich, 2006, S. 25

¹⁴⁹ Vgl. Skoog, Leary, 2013, S. 274

¹⁵⁰ Vgl. Retscher, Kistenich, 2006, S. 25

¹⁵¹ Vgl. Schmidt, 2010, S. 5

die Reichweite relativ gering. Weiterer Nachteil dieser Signale ist ihre Empfindlichkeit bezüglich Temperaturschwankungen, wobei ein Temperaturanstieg von 30° Celsius die Schallgeschwindigkeit um 3% erhöht. Im Lager kommt es allerdings selten zu solch großen Temperaturschwankungen.¹⁵² Hinzu kommen die Störanfälligkeit von Ultraschallsystemen gegenüber akustischen Störungen sowie die Signalundurchdringlichkeit von Gebäudewänden.¹⁵³ Multipath-Effekte müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Diese entstehen dadurch, dass das Signal auf mehreren Wegen beim Empfänger eintrifft und somit zu Interferenzen führt.¹⁵⁴

4.3 Kurzüberblick Lokalisierungstechnologien

Im Folgenden wird ein Überblick über die unterschiedlichen Lokalisierungstechnologien und ihre Eigenschaften geschaffen. Dabei werden sowohl die Messprinzipien als auch die Vor- und Nachteile der Technologien angeführt.

¹⁵² Vgl. Ehrlich, 2006, S. 4

¹⁵³ Vgl. Gädeke, 2014, Unterpunkt 3.2.4

¹⁵⁴ Vgl. Lee, 2008, S.7

Technologie	Lokalisierungsprinzip	Vor- und Nachteile
GPS	<ul style="list-style-type: none"> - Signallaufzeit zwischen Satellit und Endgerät - Trilateration 	<ul style="list-style-type: none"> - Niedrige Kosten - Relativ großer Energieverbrauch - Eventuelle Zeitverzögerung der Signale - Nur für den Outdoor-Bereich geeignet
Passives RFID-System	<ul style="list-style-type: none"> - Lesegerät sendet elektromagnetische Signale an Transponder - Energie für Datenübertragung aus dem Sendesignal gewonnen - RSSI, Fingerprinting, CoO, ToA 	<ul style="list-style-type: none"> - Kleine billige RFID-Tags - Gute Genauigkeit ($\pm < 10$ cm Indoor, durch geringe Reichweite) - Geringe Reichweite (max. 8-10 m) - Infrastruktur meist mit beweglichen Antennen bzw. Antennenarrays
Aktives RFID-System	<ul style="list-style-type: none"> - Lesegerät sendet elektromagnetische Signale an Transponder - Kleine aktive UHF RFID-Tags - RSSI, Fingerprinting, CoO, ToA 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Genauigkeit (± 1 m Outdoor, ± 2 m Indoor) - Geringe Reichweite - Infrastruktur aus UHF-Reader - Geringe Kosten - Störanfälligkeit bei hohen Frequenzen gegenüber Metallen (Reflexion)
WLAN	<ul style="list-style-type: none"> - Lokalisierung über ISM-Band von 2.4 GHz - Positionsschätzung über T/R des drahtlosen Signals, IEEE802.11 Standard - RSSI, Fingerprinting, CoO - Trilateration 	<ul style="list-style-type: none"> - Reichweite 1-20m - Hoher Energieverbrauch, Wanddurchdringung - Gefahr der Interferenz mit anderen Funkquellen - Bereits vorhandene Infrastruktur nutzbar
Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> - Lokalisierung über ISM-Frequenzband von 2.4 GHz - RSSI, Fingerprinting, CoO - Trilateration 	<ul style="list-style-type: none"> - Kein Sichtkontakt erforderlich - Kleine Baugröße der Beacons - Geringe Reichweite dafür aber geringer Energieverbrauch - Für kleinere Flächen geeignet - Gefahr der Interferenz mit anderen Funkquellen ansonsten geringe Störanfälligkeit
UWB	<ul style="list-style-type: none"> - Impulsübertragung über breites Frequenzspektrum (3.1-10.6 GHz) - ToA, TDoA, AoA - Trilateration 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Durchlässigkeit - Niedriger Energieverbrauch - Hohe Datenraten auf kurze Distanz - Hohe Genauigkeit (> 30 cm) - Geringes Gewicht der aktiven Tags - Niedrige Komplexität - Hohe Mehrwegunterdrückung
ZigBee	<ul style="list-style-type: none"> - Lokalisierung über WLAN-Standard im 2.4 GHz-Band bzw. 868 MHz-Band - RSSI 	<ul style="list-style-type: none"> - Niedrige Kosten - Niedriger Energieverbrauch - Niedrige Komplexität - Hohe Skalierbarkeit - Überdurchschnittliche Wanddurchdringung
Kamera	<ul style="list-style-type: none"> - Einlesen optischer Marker mittels CCD-Kamera (sichtbares Licht) - Zusätzliches IR-Licht möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Sichtkontakt notwendig - Reichweite bis 12 m - Störanfälligkeit gegenüber Lichtverschmutzung - Unempfindlich gegenüber elektromagnetische Störungen und metallische Reflexionen
Infrarot	<ul style="list-style-type: none"> - Entfernungsmessung über die Laufzeit des reflektierten IR-Signals 	<ul style="list-style-type: none"> - Sichtkontakt erforderlich - Geringe Reichweite - Störanfälligkeit gegenüber Lichtverschmutzung - Ortungsgenauigkeit durch kleinen Abstrahlwinkel beeinträchtigt - Hohe Kosten
Ultraschall	<ul style="list-style-type: none"> - Entfernungsmessung über Laufzeit des reflektierten Ultraschallsignals 	<ul style="list-style-type: none"> - Sehr hohe Ortungsgenauigkeit - Störanfällig gegenüber anderen Mehrwegsignalen (Reflexionen), Abschattung, Dämpfung (Menschen, Maschinen, Materialien usw.)

Tabelle 6: Vergleich der Eigenschaften der Lokalisierungstechnologien ^{155 156 157 158 159}

¹⁵⁵ Vgl. Xiong et al., 2013, S.5

¹⁵⁶ Vgl. Schmidt, 2010, S.5-11

¹⁵⁷ Vgl. Bolle et al., 2013, S. 18-37

¹⁵⁸ Vgl. Luoh, 2014, S.445

¹⁵⁹ Vgl. Köppe, 2014, S.113-114

5 Anforderungsanalyse des aktuellen Marktes für Echtzeitortungssysteme

5.1 Indirekte Warenortung über den Gabelstapler

Das Tracking & Tracing der innerbetrieblichen Transportprozesse in Echtzeit gewinnt zunehmend an Bedeutung. Gabelstapler erfreuen sich großer Beliebtheit in der Lagerlogistik, da sie ein hohes Maß an Flexibilität aufweisen. Gleichzeitig steigt das Fehlerpotenzial aufgrund des hohen manuellen Tätigkeitsanteils bei der Steuerung des Fahrzeugs. Eine Lokalisierung in Echtzeit soll die Steuerungsprozesse optimieren und eine permanente Überwachung ermöglichen.¹⁶⁰ Die Staplerortung unterstützt bei der Identifikation von Waren und Lagerplätzen und bietet vor allem bei Blocklagern, großflächigen Außenlagern und Mehrpaletten-Transporten große Vorteile.¹⁶¹

Die Reduzierung von Leerfahrten, die Wegoptimierung sowie die Vermeidung von Verschwendungen werden im Rahmen des Lean-Managements angestrebt. Das Muda-Prinzip zielt auf eine Reduzierung der Fehler ab, die durch die manuellen Handhabungen des Fahrzeugs entstehen. Des Weiteren sollen die Systeme mit einer eigenen Intelligenz ausgestattet werden, um die Prozesse autonom steuern und organisieren zu können. Die Lokalisierung von Waren kann indirekt über die Lokalisierung der Gabelstapler erfolgen. Dank der Registrierung, Ein-, Um- und Auslagerung kann die Positionsbestimmung der Ware über die Position des Transportmittels berechnet werden. Die Gabelstaplerlokalisierung ermöglicht somit eine Warenbereitstellung zur richtigen Zeit am richtigen Ort.¹⁶²

¹⁶⁰ Vgl. Hohenstein, Günthner, 2012, S.1-2

¹⁶¹ Vgl. URL: <http://www.logistik-xtra.de/interne-transportprozesse-mittels-staplerortung-und-staplerleitsystem-optimieren> (28.06.2016), PDF 56, S.1

¹⁶² Vgl. Hohenstein, Günthner, 2012, S.1-2

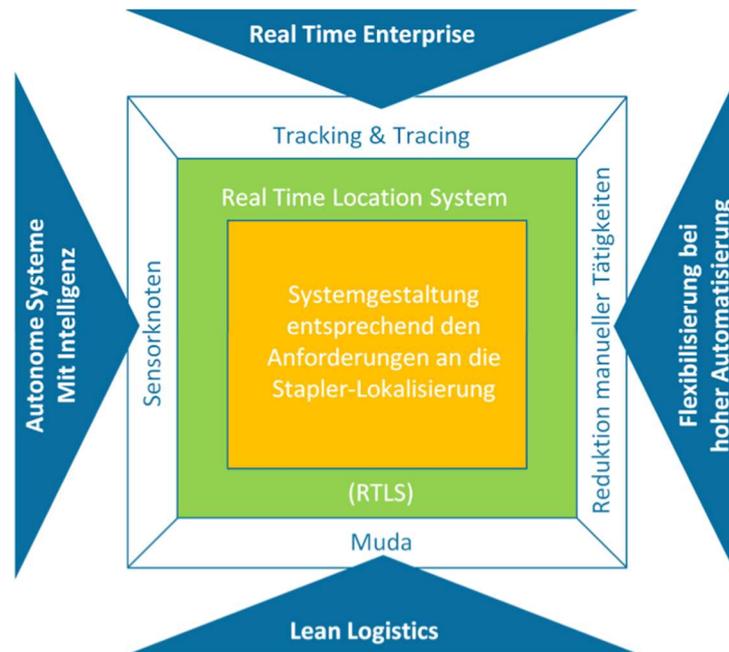


Abbildung 24: Aktuelle Trends aus der Logistik mit Einfluss auf die Stapler-Lokalisierung ¹⁶³

Um den genauen Lagerplatz eines Objekts bzw. einer Ware zu identifizieren, muss der Gabelstapler mit entsprechenden Sensoren ausgestattet werden. Diese ermöglichen die Gewinnung der benötigten Informationen zur Lagerplatzbestimmung. Dazu zählen der Höhen-, der Warenidentifikations- und der Beladungssensor am Gabelhub sowie der Positions- und Lagesensor am Fahrzeug. Die verarbeiteten Positionsinformationen werden dem Staplerfahrer auf dem Terminal angezeigt. ¹⁶⁴

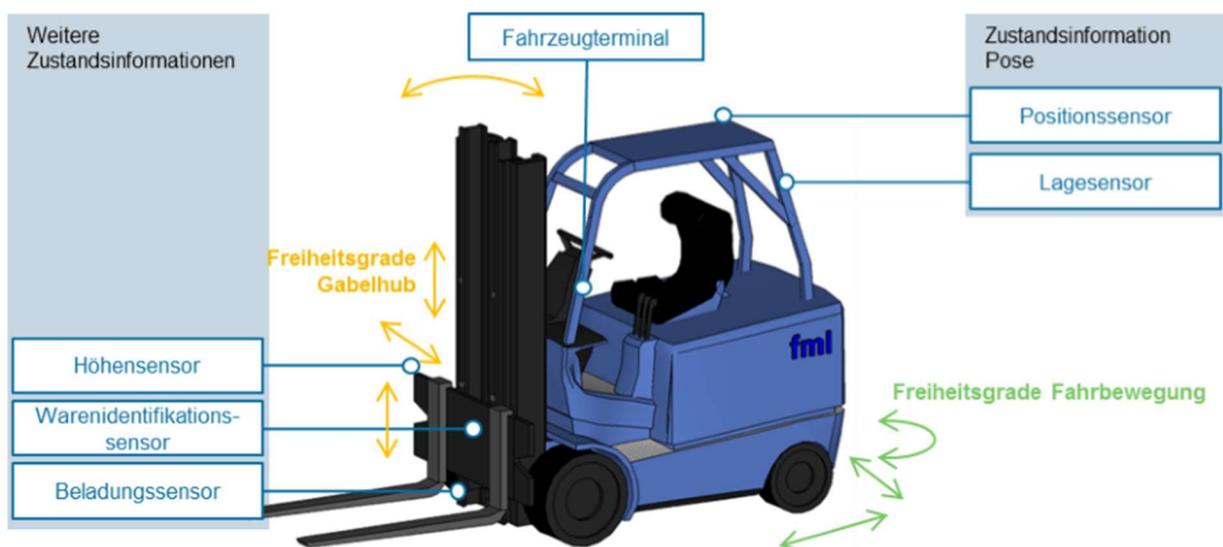


Abbildung 25: Schematische Darstellung für die Integration zahlreicher Sensoren zur automatischen Lagerplatzidentifikation ¹⁶⁵

¹⁶³ Hohenstein, Günthner, 2012, S.2

¹⁶⁴ Vgl. Hohenstein, 2014, S. 25

¹⁶⁵ Ebenda, S. 25

Der aktuelle Markt für Staplerortungssysteme gestaltet sich vielseitig. Die Transparenz bezüglich der Fähigkeiten der angebotenen Systeme geht auf Seiten des Kunden jedoch verloren. Um den Kunden bei der Wahl des geeigneten Lokalisierungssystems zu unterstützen, wird im Folgenden eine Analyse der aktuellen Marktsituation vorgenommen, wobei aussagekräftige Bewertungskriterien herangezogen werden. Die Einteilung der angebotenen Staplerortungssysteme erfolgt anhand der zu Grunde liegenden Lokisierungstechnologie. Falls ein Ortungssystem aus einer Kombination unterschiedlicher Sensorentechnologien besteht, erfolgt die Systemeinteilung nach der Technologie, die die erste Grobortung des Gabelstaplers ermöglicht.

5.2 Definition der Bewertungskriterien

Der Logistikmarkt ist vielfältig und bietet eine große Anzahl an RTLS, die sich durch ihre Realisierungsansätze unterscheiden. Eine allgemein gültige Logistikhösung, die für alle Unternehmen geeignet ist, existiert nicht. Vielmehr muss individuell auf die unternehmensspezifischen Begebenheiten eingegangen werden, um das optimale Lokalisierungssystem zu finden. Die Wahl eines geeigneten Lokalisierungssystems stellt sich daher als ein sehr komplexer und multidimensionaler Prozess dar. Abhängig von den unternehmensspezifischen Umgebungsbedingungen werden den einzelnen Anforderungskriterien unterschiedliche Gewichtungen zugewiesen. Der Integrationsaufwand, die Flexibilität, die Skalierbarkeit, die Lokalisierungsfunktion und Lokisierungsleistung sowie die Störanfälligkeit spielen eine ausschlaggebende Rolle im Entscheidungsprozess. Die technischen Parameter der Systeme, wie etwa das Ortungssignal, das verwendete Lokisierungsverfahren zur Positionsberechnung, die Systemarchitektur oder die Frequenz stellen für den Kunden zwar keine primären Entscheidungskriterien dar, sind aber entscheidend für die kundenrelevanten Systemeigenschaften. Im Folgenden werden die technischen Systemparameter sowie die kundenrelevanten Anforderungskriterien näher erläutert. Anschließend werden die ausgewählten RTLS anhand dieser Kriterien miteinander verglichen. Dabei soll weniger eine Bewertung der verfügbaren Lokisierungs-systeme erfolgen, als eine Strukturierung der Systeme und Orientierung bezüglich ihrer Fähigkeiten im Hinblick auf eine Echtzeitverfolgung von Gabelstaplern in der Intralogistik.

5.2.1 Technische Parameter

5.2.1.1 Ortungssignal

Die Systeme zur Staplerortung werden nach dem verwendeten Ortungssignal eingeteilt, wobei zwischen satellitenbasierter Ortung (GPS) und terrestrischer Ortung (RFID, UWB, WLAN, Bluetooth, ZigBee, sichtbares Licht, Infrarotlicht, Ultraschall) unterschieden wird.

Bewertungskriterium Ortungssignal

- Satellitensignal
- RFID
- UWB
- WLAN
- Bluetooth
- Sichtbares Licht
- IR-Licht
- Ultraschall

5.2.1.2 Lokalisierungsverfahren

Die Positionsbestimmung des Gabelstaplers erfolgt durch Verarbeitung der Messgrößen in eine Positionsinformation. Die Berechnung erfolgt durch die Location Engine. Um die benötigten Messgrößen zu erhalten, werden unterschiedliche Lokalisierungsverfahren angewendet. Bei den funkbasierten Systemen werden das Cell-of-Origin-Verfahren, das Winkelberechnungsverfahren AoA (Methode: Triangulation), die Signallaufzeitverfahren TDoA, ToA und RToF sowie das Signalstärkeverfahren RSSI (Methode: Trilateration) angewendet. Beim Laserscansystem erfolgt die Positionsbestimmung mittels optischer, beim Ultraschallsystem mittels akustischer Laufzeitmessung. Kamerabasierte Systeme nutzen ein bildverarbeitendes Programm zur Lokalisierung der Gabelstapler.

Bewertungskriterium Lokalisierungsverfahren

- Cell-of-Origin-Verfahren (CoO)
- Winkelberechnungsverfahren (AoA)
- Signallaufzeitverfahren (z.B. ToA, TDoA, RToF)
- Signalstärkeverfahren (z.B. RSSI)
- optische Laufzeitmessung
- akustische Laufzeitmessung
- Bildverarbeitung

5.2.1.3 Systemarchitektur

Die Unterscheidung zwischen Eigen- und Fremddortung erfolgt anhand dessen, ob die Location Engine zentral oder dezentral angeordnet ist. Bei der Eigenortung befindet sich die Location Engine auf dem Lokalisierungsobjekt, d.h. dem Gabelstapler. Sie ist somit nur für die Positionsbestimmung des einen Objekts zuständig. Die Vorteile einer solchen dezentralen Anordnung liegen in der unbegrenzten Skalierbarkeit des Systems und einer sehr hohen Datensicherheit. Im Gegensatz dazu erfolgt bei einem zentralen System der Fremddortung die Positionsbestimmung aller Objekte über einen zentralen Server. Einfachheit, Datenkonsistenz, Standardisierung und geringere Kosten bei einem Systemausbau gehen mit einer solchen Anordnung einher. Bei der Fremddortung und indirekten Eigenortung wird der Location Sensor an einem Referenzpunkt in der Infrastruktur und der Location Tag am Lokalisierungsobjekt

angebracht. Bei der indirekten Fremdortung und Eigenortung erfolgt die Anbringung umgekehrt.^{166 167}

Systemarchitektur	Location Engine	Location Sensor	Location Tag
Fremdortung	Zentral	Referenzpunkt	Lokalisierungsobjekt
Indirekte Fremdortung	Zentral	Lokalisierungsobjekt	Referenzpunkt
Eigenortung	Dezentral	Lokalisierungsobjekt	Referenzpunkt
Indirekte Eigenortung	Dezentral	Referenzpunkt	Lokalisierungsobjekt

Tabelle 7: Varianten der Systemarchitektur eines Lokalisierungssystems¹⁶⁸

Ortungssysteme, die gleichzeitig zwei unterschiedliche Technologien zur Ortung des Gabelstaplers verwenden (z.B. WLAN mit RFID oder WLAN mit IR), werden als hybride Ortungssysteme kategorisiert.

Bewertungskriterium Systemarchitektur

- Eigenortung (EO)
- indirekte Eigenortung (indirekte EO)
- Fremdortung (FO)
- indirekte Fremdortung (indirekte FO)
- Hybridortung (HO)

5.2.1.4 Frequenz

Jedes Lokalisierungssystem wird in einer bestimmten Frequenz bzw. Bandbreite betrieben, um mögliche Interferenzen mit anderen Signalen in seiner Umgebung zu vermeiden. Die Effizienz eines Lokalisierungssystems kann durch Signalstörungen, wie z.B. Signaldämpfungen, -absorptionen und -reflexionen, vermindert werden. Das System sollte daher eine Frequenz verwenden, bei der die Störungen möglichst gering bleiben. In der Regel bedeutet eine höhere Frequenz meistens auch eine höhere Datenrate.

Bewertungskriterium Frequenz

- Frequenz in Hz
- Bandbreite in Hz

¹⁶⁶ Vgl. Hohenstein, 2012, S.8

¹⁶⁷ Vgl. Mautz, 2012, S.27

¹⁶⁸ Vgl. Hohenstein, 2012, S.8

5.2.2 Kundenrelevante Kriterien

5.2.2.1 Integrationsaufwand

Der Integrationsaufwand ist ein wesentliches Kriterium für die Auswahl des geeigneten Lokalisierungssystems, denn jedes Unternehmen ist darauf bedacht, möglichst kosteneffizient zu wirtschaften. Ziel ist es somit, den Integrationsaufwand, d.h. die Kosten für die Systeminstallation, möglichst gering zu halten. Der Integrationsaufwand beschränkt sich auf den notwendigen Aufwand am Lokalisierungsobjekt bzw. am Gabelstapler sowie den Integrationsaufwand in der Infrastruktur. Eine Begriffsabgrenzung ist in der ISO/IEC 19762-2016 zu finden. Bei einem RTLS wird der Integrationsaufwand für den Bereich von der Luftschnittstelle am Location Tag bis zur Location Engine gemessen.¹⁶⁹

Beim Entscheidungsprozess zur Auswahl eines geeigneten RTLS sollten die unternehmensspezifischen Umgebungsbedingungen, die den Integrationsaufwand beeinflussen, berücksichtigt werden. Des Öfteren kann eine bereits vorhandene Standard-Infrastruktur mitverwendet werden, um den Integrationsaufwand zu senken. Dies ist z.B. bei der WLAN- oder GPS-Ortung der Fall. Folgende Posten müssen bei der Berechnung des Integrationsaufwands berücksichtigt werden:

- **„Montage**, abhängig von:
 - Anzahl der Systemmodule und ggf. Nähe der jeweiligen Anbringungspunkte zueinander.
 - Physikalische Abstimmung des Systemmoduls mit dem Anbringungsuntergrund und der Anbringungsumgebung, z. B. hinsichtlich der Vermeidung elektromagnetischer Kopplungen.
- **Spannungs- und Kommunikationsanbindung**, sofern sie kabelgebunden erfolgt und/oder die Anforderung zur Synchronisierung der Systemmodule besteht.
- **Einmessung und Kalibrierung** in Abhängigkeit des jeweiligen Lagerzustandes (z. B. Lagerfüllgrad).
- **Transformationskosten** aufgrund von Umbauten und Prozessänderungen in bestehenden Einsatzumgebungen.
- **Protokollbasierte Integration** der Lokalisierung in Unternehmens- und weitere IT-Systeme.
- **Training** der Mitarbeiter hinsichtlich Pflege, Wartung und Nutzung der Lokalisierung.
- **Systemtests** zur Funktionsabsicherung bei Inbetriebnahme.“¹⁷⁰

¹⁶⁹ Vgl. Hohenstein, 2014, S.74

¹⁷⁰ Hohenstein, 2014, S.74

Bei Bedarf kann eine Unterteilung des Integrationsaufwandes auch nach den Zeit-, Ort-, und herstellerbezogenen Anforderungen erfolgen. Die Systemkosten können dabei auf die folgenden Kategorien heruntergebrochen werden:

- **Zeitkosten:** Unter Zeitkosten versteht man anfallende Kosten für die Zeit, die für die Systeminstallation und die Administration aufgebracht werden müssen.
- **Kapitalkosten:** Darunter versteht man die Kosten für die einzelnen Transponder, die Systeminfrastruktur sowie die Gehälter des Support-Personals.
- **Wartungskosten:** Eine regelmäßige Wartung soll den dauerhaften einwandfreien Betrieb des Systems ermöglichen.
- **Raumkosten:** Zu den Raumkosten zählen der Installationsaufwand und die Größe der Hardware.¹⁷¹

Da der Integrationsaufwand stark von den unternehmensspezifischen Umgebungsbedingungen abhängt, ist es nicht möglich, den Aufwand allgemeingültig zu beziffern. Eine Angabe in Kosten pro m² der erschlossenen Lokalisierungsfläche wäre nur sinnvoll, wenn die Kosten für jeden Fall separat berechnet werden würden. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Arbeit das Bewertungskriterium „Integrationsaufwand“ durch die Kriterien „Reichweite“ und „Vernetzungsform“ ersetzt.

Reichweite

Als Reichweite wird die Distanz verstanden, die das Lokalisierungssignal überbrücken kann. Sie ist von der Konfiguration, der Leistungseinstellung und der Umgebung abhängig.¹⁷² Ein Signal kann weltweit, auf Betriebsgeländen oder innerhalb von Räumen empfangen werden, abhängig von der vorhandenen Infrastruktur und der verwendeten Technik. Weiters ist die Reichweite bei manchen Systemen von der Anzahl der zu lokalisierenden Objekte abhängig. Während mit der satellitenbasierten Technik unendlich viele Objekte gleichzeitig geortet werden können, nimmt bei der funkbasierten Technik die Reichweite mit steigender Objektenanzahl ab. Um die Reichweite flächenmäßig zu erhöhen oder eine größere Anzahl an Objekten gleichzeitig orten zu können, muss die Infrastruktur ausgebaut werden.¹⁷³

Die Reichweite wirkt sich direkt auf die Dichte aus, in der die Systemmodule angebracht werden müssen. Somit gibt die maximale Reichweite Aufschluss darüber, wie viele Systemmodule an der Infrastruktur und am Objekt montiert werden müssen. Jedoch handelt es sich bei der Reichweite nur um ein Indiz für den Integrationsaufwand des Lokalisierungssystems. Da jeder Hersteller die Reichweite mittels unterschiedlicher Tests berechnet und die Ergebnisse durch äußere Umgebungsstörungen verfälscht werden, können die Ergebnisse nicht direkt

¹⁷¹ Vgl. Mautz, 2012, S.20

¹⁷² Vgl. URL : <http://lighthouse.io/indoor-location-technologies-compared/> (17.05.2016), PDF 50, S.3-4

¹⁷³ Vgl. Teker, 2005, S.16

miteinander verglichen werden. Vielmehr handelt es sich bei der Reichweite um eine Tendenzaussage.¹⁷⁴

Bewertungskriterium Reichweite

Reichweite in m

Vernetzungsform

Bei RTLS müssen die Systemmodule mit Energie versorgt werden, um miteinander kommunizieren zu können. Zwischen den Modulen kann entweder eine funk- oder drahtgebundene Vernetzung hergestellt werden. Bei der Definition des Kriteriums spielt die Art des Lokalisierungssignals keine Rolle, es wird lediglich zwischen drahtloser und drahtgebundener Vernetzung unterschieden.

Eine drahtgebundene Vernetzung der Systemmodule in der Infrastruktur ermöglicht zwar eine zeitnahe Kommunikation, sie geht jedoch auch mit einem hohen Verdrahtungsaufwand in der Infrastruktur und am Lokalisierungsobjekt einher. Aus diesem Grund ist bei großen Lokalisierungsflächen von einer drahtgebundenen Vernetzung abzuraten. Es sollte – wenn möglich - zwischen den Systemmodulen und der Infrastruktur nur das Positionssignal weitergeleitet werden. Weitere Informationen würden die Systemstabilität negativ beeinflussen.

Bei Lokalisierungssystemen mit Location Sensoren am Lokalisierungsobjekt wird angenommen, dass diese eine eigene Energieversorgung benötigen. Diese erfolgt hauptsächlich drahtgebunden. Bei Systemen mit passiven Tags am Lokalisierungsobjekt ist eine solche drahtgebundene Vernetzung nicht nötig.¹⁷⁵

Bewertungskriterium Vernetzungsform

- Drahtgebunden
- Drahtlos

5.2.2.2 Flexibilität

Ein flexibles Lokalisierungssystem ist in der Lage, sich an interne oder sich in ihrer Umwelt ereignende externe Veränderungen anzupassen.¹⁷⁶ In Bezug auf die Echtzeitortung von Gabelstaplern kann die Flexibilität entweder anhand der flächenmäßigen Veränderung des durch das Ortungssystem abgedeckten Bereichs gemessen werden oder anhand der Fähigkeit, andersartige Objekte neben dem Flurförderzeug zu lokalisieren. Letztere Fähigkeit trägt zur besseren Prozesstransparenz bei, da nicht nur eine indirekte Warenortung über den Gabelstapler, sondern auch eine direkte Warenortung möglich wird.

¹⁷⁴ Vgl. Hohenstein, 2014, S.75

¹⁷⁵ Vgl. Hohenstein, 2014, S.76-77

¹⁷⁶ Vgl. URL: <http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/flexibilitaet/flexibilitaet.htm> (11.07.2016), PDF 32, S.1

In dem hier angestellten Vergleich der Systeme wird das Flexibilitätskriterium anhand des Lokalisierungsobjekts beschrieben, wobei darauf geachtet wird, ob der Location Tag oder Location Sensor auf dem Lokalisierungsobjekt angebracht wird. Grundsätzlich ist die Installation eines Location Tags auf dem Objekt einem Location Sensor vorzuziehen, da ein Location Tag eine geringere Baugröße und einen niedrigeren Energiebedarf aufweist. Die Installation von einem Location Tag lässt sich daher technisch leichter durchführen als die von einem Location Sensor. Voraussetzung für die Installation eines aktiven Tags ist ein Gabelstapler mit Energieversorgung. Diese ist allerdings nicht immer am Gabelstapler vorhanden, sodass ein Lokalisierungssystem mit aktivem Tag weniger flexibel als mit einem passiven Tag ist.¹⁷⁷

Bewertungskriterium Flexibilität

- Gering – aktiver Tag in der Infrastruktur
- Mittel – aktiver Tag oder Sensor an Objekt bzw. passiver Tag in der Infrastruktur
- Hoch – passiver Tag bzw. Marker an Objekt

5.2.2.3 Skalierbarkeit

Unter dem Begriff der Skalierbarkeit versteht man die Fähigkeit des Systems, zu einem späteren Zeitpunkt die Leistung durch Hinzufügen von zusätzlichen Ressourcen zu erhöhen und auf ein größeres Gebiet auszuweiten. Die Skalierbarkeit eines RTLS kann entweder anhand der geographischen Ausdehnung der abgedeckten Fläche in m² oder der Dichte angegeben werden. Die Dichte gibt dabei die Anzahl der erfassbaren Objekte pro Flächeneinheit an. Sie steigt, indem die Anzahl der Lokalisierungsobjekte erhöht wird. Eine Skalierung des Systems ist in erster Linie mit steigenden Kosten verbunden. Die zusätzlichen Hard- und Softwareinstallationen erhöhen die Komplexität des Systems. Die Verwaltung von größeren Datenvolumina gestaltet sich außerdem oft problematisch.¹⁷⁸

Im nachfolgenden Vergleich der RTLS wird die Skalierbarkeit anhand der Dichte gemessen. Hierbei wird berücksichtigt, wie viele Objekte von einem Ortungssystem mit möglichst geringem Infrastrukturaufwand innerhalb einer bestimmten Zeitspanne lokalisiert werden können.¹⁷⁹ Da ein Ausbau der Infrastruktur mit zusätzlichen Kosten verbunden ist, müssen außerdem die Kostentreiber identifiziert werden. In der Regel ist ein Location Sensor wesentlich teurer als ein Location Tag. Die Installation eines Tags auf dem Dach eines Gabelstaplers ist deutlich günstiger, als die eines Sensors auf dem Gabelstapler.¹⁸⁰ Ziel ist es daher, die Anzahl der günstigeren Systemmodule bei einem Systemausbau zu erhöhen. Auch sollte berücksichtigt werden, dass die Effizienz des Lokalisierungssystems bei Erhöhung der Anzahl der Lokalisierungsobjekte abnehmen kann. Die Echtzeitfähigkeit kann sich in Abhängigkeit

¹⁷⁷ Vgl. Hohenstein, Günthner, 2012, S. 12-13

¹⁷⁸ Vgl. Ehrlich, 2006, S. 1

¹⁷⁹ Vgl. Gu et al., 2009, S.18

¹⁸⁰ Vgl. Hohenstein, 2012, S. 13-17

vom verwendeten Lokalisierungsverfahren verringern. Es handelt sich bei der Skalierbarkeit daher nur um eine Tendenzaussage. Es wird angenommen, dass RTLS mit höherem Infrastrukturaufwand schlechter in der Fläche skalierbar sind, und aktive Systeme mit höheren Anschaffungskosten ebenfalls eine geringere Skalierbarkeit aufweisen.¹⁸¹

Bewertungskriterium Skalierbarkeit

Es wird die Kostenverteilung der Systemarchitektur angegeben.

- Eine vorteilhafte Kostenverteilung mit kostengünstigen Location Tags am Gabelstapler deutet auf eine gute Skalierbarkeit hin.
- Eine nachteilige Kostenverteilung mit teurerem Location Sensor am Gabelstapler erschwert eine Skalierung.

5.2.2.4 Lokalisierungsfunktion

Die Lokalisierungsfunktion gibt Auskunft über die Vollständigkeit bzw. Quantität der Positionsinformationen. Neben der Anzahl der Freiheitsgrade bei der Positionsangabe wird auch das Kriterium der Kontinuität über die Updaterate angeführt.

Positionsangabe

Ein Lokalisierungssystem kann zwei Arten an Positionsinformationen übermitteln. Bei der physikalischen Standortermittlung wird ein n-dimensionales Koordinatensystem (z.B. Längen- und Breitengrade) verwendet. Die Position des Objekts wird mittels 2D- oder 3D-Koordinaten angegeben, wobei die Position eindeutig gegenüber dem Ursprung eines Koordinatensystems angegeben wird. Im Vergleich dazu werden bei der symbolischen Standortermittlung Positionsinformationen in natürlicher Sprache weitergegeben. Diese sind von Personen lesbar, wie z.B. Gebäudenummern, und müssen stets in einem bestimmten Kontext betrachtet werden. Weiters kann zwischen absoluter und relativer Positionsbestimmung unterschieden werden. Während bei der absoluten Positionsbestimmung ein gemeinsames Referenzgitter für alle georteten Objekte verwendet wird, wird bei der relativen Positionsbestimmung der Standort im Verhältnis zu einem Referenzpunkt angegeben.¹⁸² Bei den meisten RTLS wird eine absolute Positionsbestimmung mittels lokalem Koordinatensystem gewählt. Weitere dynamische Parameter wie Geschwindigkeit, Orientierung, Unsicherheiten oder Abweichungen können zusätzlich angezeigt werden.¹⁸³

Für eine Verfolgung von Warenströmen in der Intralogistik ist eine 3D-Positionsangabe von Vorteil, da so vor allem in Regal- und Blocklagern auch die Lagerhöhe verzeichnet werden kann. Für eine reine Gabelstaplerortung genügt eine Positionsangabe im zweidimensionalen Raum.

¹⁸¹ Vgl. Hohenstein, 2014, S. 81

¹⁸² Vgl. Fiebelkorn et al., 2015, S.11

¹⁸³ Vgl. Mautz, 2012, S. 16

Bewertungskriterium Positionsangabe

- 2D
- 3D

Kontinuität

Die Updaterate gibt an, zu welchem Zeitpunkt die Position des Objekts erfasst wird. Man unterscheidet zwischen kontinuierlicher und diskreter Positionsbestimmung. Bei der kontinuierlichen Ortung kann das Objekt auch in Zwischenbereichen lokalisiert werden. Es muss sich nicht in unmittelbarer Umgebung des Erfassungsgeräts befinden. Die Signalabtastung erfolgt periodisch. Die Abtastintervalle werden in Hz festgelegt. Ein kontinuierliches Tracking kann beispielsweise über WLAN, UWB oder GPS erfolgen. Bei der diskreten Positionsbestimmung kann das Objekt nur in einem definierten Bereich geortet werden. Außerhalb dieses Bereichs ist die Lokalisierung nicht möglich. Geeignete Ortungstechnologien sind z.B. RFID, IR und Bluetooth. Die Signalabtastung kann auf Anfrage erfolgen, wobei die Positionsberechnung durch das Gerät oder eine Person ausgelöst wird. Auch kann bei Eintreten eines bestimmten Ereignisses, z.B. bei Erreichen einer kritischen Temperatur im Lager, das Objekt automatisch lokalisiert werden. ^{184 185}

Bewertungskriterium Kontinuität

- Kontinuierlich
- Diskret

5.2.2.5 Lokalisierungsleistung

Bei der Lokalisierungsleistung geht es um die Bewertung der Informationsqualität. Sie ist von den Systemeigenschaften und Umgebungsbedingungen abhängig. Bei der Wahl des Lokalisierungssystems spielt dieses Kriterium eine sehr wichtige Rolle für den Kunden. Die Leistung kann über die Ortungsgenauigkeit und Latenzzeit der Positionsbestimmung gemessen werden.

Ortungsgenauigkeit

Die Ortungsgenauigkeit spielt eine wesentliche Rolle bei der Auswahl eines geeigneten Lokalisierungssystems. Sie gibt die Abweichung der gemessenen Position gegenüber der tatsächlichen Position in Metern an. Die Position wird dabei mit den entsprechenden Koordinaten in einem Koordinatensystem angegeben. ¹⁸⁶ Im Falle der indirekten Warenortung über die Positionsbestimmung des Gabelstaplers muss die Entfernung zwischen der Gabelzinke und dem Anbringungsort des Lokalisierungstags am Flurförderzeug bekannt sein. Liegen diese Informationen bezüglich der Systemanordnung nicht vor, ist die angegebene Ortungsgenauigkeit nicht

¹⁸⁴ Vgl. Mautz, 2012, S.19

¹⁸⁵ Vgl. Großmann, 2009, S.29

¹⁸⁶ Vgl. URL: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Positionsgenauigkeit-location-accuracy.html> (17.05.2016), PDF 49

aussagekräftig. Es wird angenommen, dass die Anordnung der Systemkomponenten bei den nachfolgenden untersuchten Systemen bekannt ist und in den Berechnungen berücksichtigt wird. Damit ein System für die indirekte Warenortung geeignet ist, sollte eine Genauigkeit von ca. 50 cm in einem Palettenlager erreicht werden. ¹⁸⁷

Bewertungskriterium Ortungsgenauigkeit

Ortungsgenauigkeit in cm oder m

Verzögerung / Latenz

Als Verzögerung bezeichnet man die Zeit, die zwischen der Messung der Position des betroffenen Objekts, der Berechnung der Position und der Darstellung der Positionsinformation, z.B. am Staplerterminal, verläuft. ¹⁸⁸ Die Verzögerung stellt einen wichtigen Aspekt bei der Bewertung des Systems dar, da Waren und Objekte in der Intralogistik oft sehr schnell bewegt werden, und es sich vor allem beim Indoor-Bereich um ein sehr dynamisches Umfeld handelt. ¹⁸⁹

Bewertungskriterium Verzögerung

Zeitverzögerung in s

5.2.2.6 Störanfälligkeit abhängig vom Einsatzbereich

Einsatzbereich

RTLS können sowohl für den beschränkten Outdoor-Bereich eines Betriebsgeländes (z.B. große Freilager, Parkplätze) als auch für den Indoor-Bereich ausgelegt werden. Abhängig von der zugrundeliegenden Technologie ist das RTLS primär für den In- oder Outdoor- Bereich bzw., falls das System in seiner Funktionsfähigkeit nicht beeinträchtigt wird, für beide Bereiche gleichermaßen geeignet. Je nach Bereich sind die Störeinflüsse auf das Lokalisierungssignal unterschiedlich. Der Indoor-Bereich unterscheidet sich vom Outdoor-Bereich dadurch, dass er räumlich durch Wände begrenzt ist und nicht den klimatischen Umgebungsbedingungen ausgesetzt ist. So gibt es keinen freien Kontakt zum Himmel, und es besteht Schutz vor großen Temperaturschwankungen, Nässe, UV-Strahlung etc. Die Signaldämpfung in Gebäuden ist abhängig von der Größe, der Form und dem Material der Hindernisse.

¹⁸⁷ Vgl. Hohenstein, Günthner, 2012, S.11

¹⁸⁸ Vgl. URL: <http://indoor-ortung.de/allgemein/indoor-ortung/> (28.06.2016), PDF 57, S.2

¹⁸⁹ Vgl. Gu et al., 2009, S.18

Bewertungskriterium Einsatzbereich

- Indoor
- Outdoor
- Indoor & Outdoor gleichermaßen
- Indoor & Outdoor mit Fokus auf Indoor
- Indoor & Outdoor mit Fokus auf Outdoor

Störanfälligkeit

Die Störanfälligkeit des Systems gegenüber metallischen, elektromagnetischen, akustischen Verschmutzungen sowie Feuchtigkeit, Schmutz, Hitze, Abdeckung und Lichtverschmutzung sollte bei der Wahl eines geeigneten Lokalisierungssystems ebenfalls berücksichtigt werden. Die Störeinflüsse sind von den unternehmensspezifischen Umgebungsbedingungen stark abhängig.

Ein robustes System zeichnet sich dadurch aus, dass ein Objekt auch dann geortet werden kann, wenn manche Signale nicht verfügbar (z.B. aufgrund von Störungen) oder wenn die gemessene Signalstärke bzw. der gemessene Winkel bis dato noch unbekannt sind. Ein möglichst robustes System gegen zeit-, orts-, orientierungs- und geräteabhängige Signalschwankungen ist erstrebenswert.¹⁹⁰

Bewertungskriterium Störanfälligkeit

- Beschreibung der Störanfälligkeit gegenüber Umgebungseinflüssen
- Wanddurchdringung: ja/nein

5.2.2.7 Weitere Kriterien

Zugänglichkeit

Die Zugänglichkeit beschreibt die Möglichkeit für den Kunden, Zugang zu der Technologie zu erhalten. Unabhängig davon welche Technologie gewählt wird, muss eine gewisse Infrastruktur vorhanden sein. Diese umfasst einen Sender bzw. Transmitter, einen Empfänger und einen Datendienst. Manche Systeme benötigen außerdem Antennen oder Umwandler für weitere Mehrwertfunktionen. Je verbreiteter die Sender und Empfänger sind, desto zugänglicher ist die Technologie.¹⁹¹

Datensicherheit

Das Kriterium Datensicherheit berücksichtigt die Möglichkeit, dass Daten von Dritten gehackt bzw. diese sich unerlaubt Zugriff auf die Datenbanken verschaffen können.¹⁹² Der Schutz der Privatsphäre ist abhängig davon, ob aktive oder passive Geräte, mobile oder server-basierte Computersysteme verwendet werden.

¹⁹⁰ Vgl. Disha, 2013, S.1793

¹⁹¹ Vgl. URL : <http://lighthouse.io/indoor-location-technologies-compared/> (17.05.2016), PDF 50, S.3-4

¹⁹² Vgl. URL : <http://lighthouse.io/indoor-location-technologies-compared/> (17.05.2016), PDF 50, S.3-4

5.3 Fähigkeiten aktueller Staplerortungssysteme

Die folgenden Lokalisierungssysteme werden anhand auserwählter technischer und kundenrelevanter Anforderungskriterien miteinander verglichen. Ziel ist es, die Fähigkeiten der Systeme hinsichtlich der Echtzeitverfolgung von Gabelstaplern in der Intralogistik aufzuzeigen.

	Name des RTLS	Anbieter	Standort	Abkürzung
1	Absolute Positioning LPR-2D	Syмео GmbH	Neubiberg, Deutschland	AbsLPR
2	Absolute Positioning SAT-D	Syмео GmbH	Neubiberg, Deutschland	AbsSAT
3	Visibility System	AeroScout Inc.	USA	Aero
4	Dart UWB	Zebra Enterprise Solution Inc.	USA	Dart
5	Ekahau	Ekahau Inc.	Helsinki, Finnland	Eka
6	identplus	Identpro GmbH	St. Augustin, Deutschland	Ident
7	insoft Beacons serverseitig	insoft GmbH	Großmehring, Deutschland	In-BLE server
8	insoft Beacons clientseitig	insoft GmbH	Großmehring, Deutschland	In-BLE client
9	insoft UWB	insoft GmbH	Großmehring, Deutschland	In-UWB
10	JH Bluetooth Indoor Ortung	Jungheinrich AG	Hamburg, Deutschland	JH-BLE
11	JH Schmalgangnavigation	Jungheinrich AG	Hamburg, Deutschland	JH-SN
12	KIO RTLS	OÜ Eliko Tehnoloogia Arenduskeskus	Talin, Estland	KIO
13	LogTrek	LogTrek-Dr.Schniz GmbH	Potsdam, Deutschland	Log
14	MarLo	Fraunhofer Institut IFF	Magdeburg, Deutschland	MarLo
15	Onyx Beacon	Onyx Beacon Ltd.	Cluj-Napoca, Rumänien	Onyx
16	Sewio RTLS	Sewio	Brün, Tschechien	Sewio
17	Sky-Trax System	TotalTrax Inc.	Newport, USA	Sky
18	Solcon Bodentransponder	Solcon Systemtechnik GmbH	Lübeck, Deutschland	Solcon
19	Solconia UWB-Genauortung	Solconia GmbH	Seeland, Deutschland	Solconia
20	Track + Race LS	Indyon GmbH	Pöcking, Deutschland	Track
21	Ubisense RTLS	Ubisense AG	Düsseldorf, Deutschland	Ubi
22	WhereNet RTLS ISO 24730	Zebra Enterprise Solution Inc.	USA	Where
23	Pilot Pro	Zeno Track GmbH	Wien, Österreich	Zeno

Tabelle 8: Liste der berücksichtigten RTLS

5.3.1 Satellitensystem

Symeo Absolute Positioning SAT-D

Das GPS-Staplerortungssystem funktioniert wie ein Satellitennavigationssystem. Die Genauigkeit ist ziemlich gering und liegt bei etwa 3 m. Als nächste Stufe gibt es die D-GPS-Ortung, bei der die Genauigkeit bei etwa 1.5 m liegt. Das sogenannte RTK-Ortungsverfahren ist ein hochgenaues Ortungsverfahren mit einer Genauigkeit von etwa 30 cm. Im Vergleich zum D-GPS nutzt RTK noch mehr Satelliten und Referenzpunkte um genauer zu werden. Die meisten Kunden von Symeo benötigen eine Staplerortung mit grober Genauigkeit, um zu wissen wann sich das Fahrzeug bewegt und wo es sich befindet. Sollen jedoch Paletten verfolgt werden, so wird eine Ortung mit D-GPS bevorzugt.

Eine Ortungsgenauigkeit von etwa 1.5 m mit D-GPS reicht i.d.R. für eine grobe Sortierung von Großteilen im Lagerbereich aus. D-GPS eignet sich vorwiegend dafür festzustellen, in welchem Sektor sich das Objekt befindet. Für eine genaue Ortung reicht das Signal nicht aus. Die ungefähre Positionsbestimmung in 2D wird durch eine Areal-Eingrenzung, einer sog. Clusterung erreicht. Die Rechenleistung wird von einem Linux-Board übernommen. Um herauszufinden, wie das Fahrzeug orientiert ist und um die Position berechnen zu können, müssen zwei Antennen pro Fahrzeug installiert werden.

Bei der Satellitenortung wird das Lokalisierungsverfahren RToF angewendet. Für die Positionsberechnung wird eine Referenzstation benötigt, die am höchsten Punkt im Lagerbereich montiert wird. Das Fahrzeug kann sich anhand dieses Referenzpunktes kalibrieren und neu ausrichten. Beim D-GPS wird eine Referenzstation mit einer Antenne, z.B. an einem Leuchtmast oder am Dach des Gebäudes, angebracht. Der Punkt muss möglichst frei und hoch gewählt werden, damit ständiger Sichtkontakt zwischen der Referenzstation und dem Satelliten gewährleistet ist. Für eine genaue Ortung ist außerdem ausschlaggebend, auf welcher Position sich die Satelliten befinden, ob sie am Horizont weit oben stehen oder eher weiter unten an der Erdkrümmung. Die Antenne sollte so ausgerichtet sein, dass sie das Satellitensignal ungestört empfangen kann.¹⁹³

Sowohl GPS als auch D-GPS ermöglichen eine lückenlose und flächendeckende Positionserfassung über die globalen Navigationssatelliten-Systeme GPS, Galileo und GLONASS. Die Empfänger können das GNSS-Referenzsignal innerhalb eines Radius von 5 km von der Referenzstation entfernt empfangen.¹⁹⁴ Der Empfänger erhält

¹⁹³ Vgl. Experteninterview Zinkl, Symeo 2017

¹⁹⁴ Vgl. URL: http://www.symeo.com/cms/upload/pdf/de/Datenblaetter/Symeo_Datenblatt_SAT_SAT-D.pdf (17.08.2016), PDF 69, S.1-2

GLONASS-Signale im L1-Frequenzbereich (1.598-1.605 GHz). Die Updaterate beträgt 10 Hz, höhere Frequenzen sind auf Anfrage möglich.¹⁹⁵

Das Absolute Positioning System ist für raue Umgebungen geeignet. Die Empfänger sind wartungsfrei und weisen eine geringe Störanfälligkeit gegenüber Witterungseinflüssen, Verschmutzung und Vibrationen auf. Durch das Anbringen einer zusätzlichen GNSS-Antenne am Fahrzeug kann auch bei geringer Geschwindigkeit oder Stillstand die Orientierung des Fahrzeugs sehr genau ermittelt werden. Die hohe Signalstabilität und Verfügbarkeit sowie die einfache Montage und Inbetriebnahme sind weitere Vorteile des Lokalisierungssystems.¹⁹⁶ Die GPS-Ortung ist vor allem interessant für Großmaschinen in der Stahlindustrie und in Minen, jedoch weniger für Flurstapler. Bei den Großmaschinen handelt es sich um Fahrzeuge, die selber größere Objekte transportieren und deren Anschaffungspreise sich im Millionenbereich befinden.¹⁹⁷

Das Symeo Absolute Positioning SAT-D System ist ein System der Eigenortung. Der Satellit stellt einen Tag dar, dessen Identität und Position bekannt ist. Der Gabelstapler wird mit dem Location Sensor (GPS-Antenne) ausgestattet. Die Messdaten werden von der Location Engine (GPS-Receiver) ausgewertet. Die Engine wird ebenfalls am Gabelstapler installiert.

Symeo Absolute Positioning SAT-D	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	Satellitensignal
Lokalisierungsverfahren	Signallaufzeitverfahren (RToF)
Systemarchitektur	Eigenortung
Frequenz	1.6 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	unbeschränkt
Flexibilität	gering
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	± 1.5 m
Einsatzbereich	Outdoor

Tabelle 9: Anforderungsanalyse Symeo Absolute Positioning SAT-D

¹⁹⁵ Vgl. URL:

http://www.symeo.com/cms/upload/pdf/de/Datenblaetter/Symeo_Datenblatt_Symeo_Positioning_Unit_SPU.pdf (30.11.2016), PDF 85, S.2

¹⁹⁶ Vgl. URL: http://www.symeo.com/cms/upload/pdf/de/Datenblaetter/Symeo_Datenblatt_SAT_SAT-D.pdf (17.08.2016), PDF 69, S.1-2

¹⁹⁷ Vgl. Experteninterview Zinkl, Symeo, 2017

5.3.2 RFID

Jungheinrich Schmalgangnavigation

Bei dem Staplerleitsystem von Jungheinrich werden RFID-Transponder in bestimmten Abständen in den Hallenboden eingelassen. Diese sind mit einer Größe von 9x16 mm verhältnismäßig klein. Der Stapler wird wiederum mit einem RFID-Lesegerät bzw. Schreibgerät ausgestattet. Kommt er in die Reichweite eines Transponders, kann er den Lagergang bzw. Lagerbereich, in dem er sich gerade befindet, identifizieren und den Weg des Fahrzeugs messen. Dieses System ermöglicht eine kontinuierliche Ortung des Flurförderzeugs. Die Programmierung der Transponder erfolgt über den Stapler, wobei die Topologie der kompletten Anlage auf der Staplersoftware hinterlegt wird. Die RFID-Transponder sind wiederbeschreibbar.¹⁹⁸ Die Flexibilität des Systems ist im Vergleich zu den anderen herangezogenen Systemen auf einem mittleren Niveau einzustufen. Wird das Lager beispielsweise um eine neue Regalzeile oder Regalfläche erweitert, so werden die Transponder neu programmiert und die geänderte Struktur im Controller abgespeichert.¹⁹⁹

Dieses Ortungssystem ist gegenüber Störungen oder Verschmutzung unempfindlich, da die Transponder geschützt im Boden eingelassen sind. Um den Datenschutz zu erhöhen, ist das Rechensystem zweikanalig mit einem Master- und Sicherheitsrechner ausgelegt. Die übergeordnete Lagerverwaltung sendet die Transport- und Kommissionieraufträge an den Staplerterminal per WLAN weiter. Die (x,y,z)-Koordinaten des anzufahrenden Lagerplatzes werden daraufhin berechnet. Der Ziellagerplatz wird dem Fahrer angezeigt. Nach Bestätigung der Funktionen navigiert der Stapler selbstständig und millimetergenau zum Ziel. Die Staplerbewegung erfolgt zeitoptimiert. Weitere Vorteile sind das Wegfallen von Barcodescans sowie der Ausschluss von Fehl- und Korrekturfahrten. Die Interaktion zwischen dem Lagerverwaltungssystem und der Fahrzeugsteuerung kann zusätzlich durch ein Logistik Interface von Jungheinrich erleichtert werden.

Laut Hersteller ermöglicht dieses Lagernavigationssystem beim Ein- und Auslagern von Paletten eine horizontale Positioniergenauigkeit von ± 30 mm und eine vertikale Positioniergenauigkeit bei Stapelvorgängen mit oder ohne Last von ± 5 mm. Bei reinen Kommissionieraufträgen liegt die vertikale Positioniergenauigkeit bei ± 20 mm.²⁰⁰ In relevanter Fachliteratur ist für dieses Lokalisierungssystem eine Genauigkeitsangabe von unter 10 cm angegeben.²⁰¹

¹⁹⁸ Vgl. URL: http://www.jungheinrich.at/uploads/jh_importer/assets_product_27897_de-AT_vl___download___link---1/Lagernavigation_im_Schmalgang.pdf (02.12.2016), PDF 74, S.2

¹⁹⁹ Vgl. Hohenstein, 2012, S.17

²⁰⁰ Vgl. URL: http://www.jungheinrich.at/uploads/jh_importer/assets_product_27897_de-AT_vl___download___link---1/Lagernavigation_im_Schmalgang.pdf (02.12.2016), PDF 74, S.2

²⁰¹ Vgl. Hohenstein, 2012, S. 15



Abbildung 26: Jungheinrich RFID - Transponder System ²⁰²

Jungheinrich Schmalgangnavigation	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	RFID
Lokalisierungsverfahren	k.A.
Systemarchitektur	Eigenortung
Frequenz	LF 125 kHz ²⁰³
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	bis zu 1 m ²⁰⁴
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	± 10 mm
Einsatzbereich	In- & Outdoor, mit Fokus auf Indoor-Einsatz

Tabelle 10: Anforderungsanalyse Jungheinrich Schmalgangnavigation

²⁰² URL: http://www.jungheinrich.de/uploads/jh_importer/assets_product_27897_de-DE_vl___download___link---2/Kompendium_Lagernavigation_im_Schmalgang.PDF (31.05.2016), PDF 33, S.4-7

²⁰³ Vgl. Hohenstein, 2012, S. 15

²⁰⁴ Vgl. Theißen, 2009, S. 517

Solcon Bodentransponder

Das Ortungssystem von Solcon arbeitet ebenfalls mit im Boden eingelassenen, passiven RFID-Transpondern. Die Dichte der verteilten Transponder ist von der gewünschten Ortungsgenauigkeit abhängig (z.B. torgenau, zonengenau, stellplatzgenau, submetergenau). Das System ist sowohl für den In- als auch Outdoor-Bereich geeignet.²⁰⁵ Das Lesegerät empfängt nicht nur die Signale der am Unterboden des Fahrzeugs angebrachten Antennen zur Ortung der Bodentransponder, sondern auch die Signale der Antennen zur Zonen- und Waren-/Ladungsidentifikation sowie zur Fahreridentifikation. Die gesammelten Daten werden am RFID-Computer des Staplers vorverarbeitet und dann an den Datenserver bzw. die Datenbank über WLAN, UMTS, LTE etc. weitergeleitet. Die Daten werden anschließend in den Frontendsystemen (z.B. ERP, WMS, SLS) weiterverarbeitet. Der Fahrer erhält die für ihn bestimmten Informationen auf dem Staplerterminal visualisiert. Sobald die mit RFID-Transpondern gekennzeichneten Waren vom Stapler aufgenommen oder abgelegt werden, werden die Positionsdaten des Staplers automatisch mit denen der Ware verknüpft. Auch die Hubhöhe wird mittels Sensoren gemessen. Das System ist für jedes Gebäude und Freigelände einsetzbar. Die Ortungsgenauigkeit liegt bei $\pm 0,5$ m.²⁰⁶ Die Reichweite für die eingesetzten UHF-Transponder liegt bei etwa 2 bis 6 m.²⁰⁷

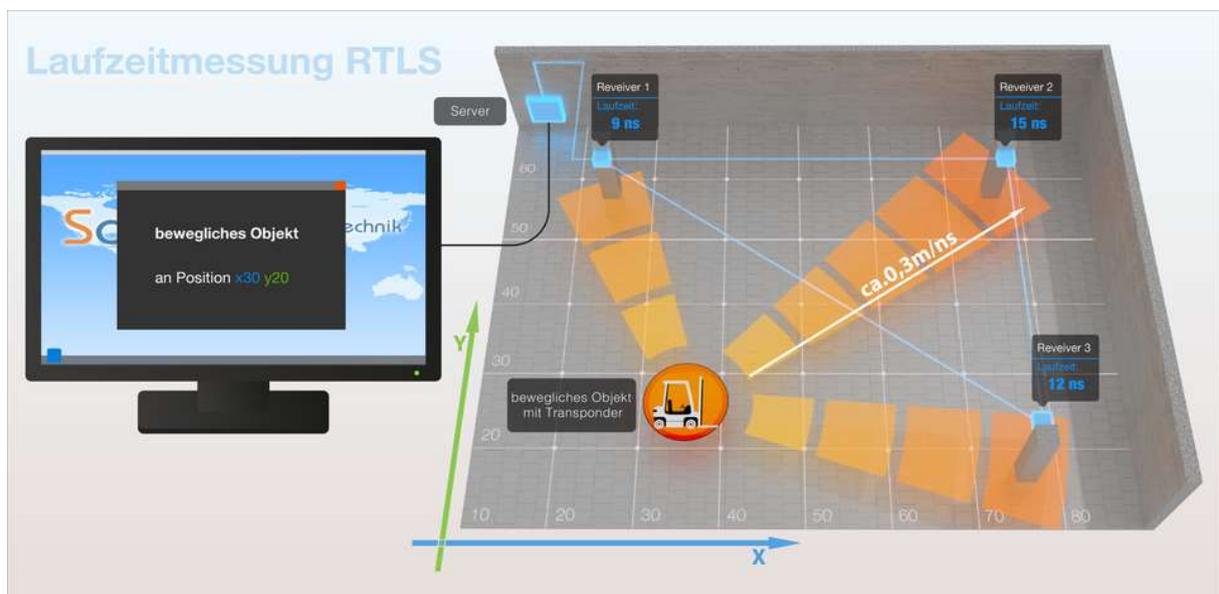


Abbildung 27: Solcon TDoA-Lokalisierung²⁰⁸

²⁰⁵ Vgl. URL: <http://www.rfid-ready.de/201502063589/logimat-staplerortung-mit-rfid-technologie.html> (15.09.2017), PDF 24, S.1

²⁰⁶ Vgl. URL: http://www.solcon-systemtechnik.de/fileadmin/pdf/RFID_Staplerortung.pdf (18.08.2016), PDF 71, S.1-2

²⁰⁷ Vgl. Schenk, 2015, S.253

²⁰⁸ URL: <http://www.solcon-systemtechnik.de/loesungen/ortung-und-rfid/> (05.12.2016), PDF 70

Solcon Bodentransponder	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	RFID
Lokalisierungsverfahren	Signallaufzeitverfahren (TDoA)
Systemarchitektur	Eigenortung
Frequenz	UHF 868 MHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	2 bis 6 m
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	± 0.5 m
Einsatzbereich	In- & Outdoor, mit Fokus auf Indoor-Einsatz

Tabelle 11: Anforderungsanalyse Solcon Bodentransponder

Track + Race LS von Indyon

Das Track + Race Localization System der Indyon GmbH ist für raue Umgebungen entwickelt worden, sodass es sowohl für den In- als auch den Outdoor-Bereich geeignet ist. Das System arbeitet mit in den Boden eingelassenen, passiven RFID-Transpondern, die ihre Signale mit einer Niedrigfrequenz von 125 kHz senden. In der Praxis werden die Transponder in Abständen von 30 bis 80 cm und in einer Tiefe von ca. 4 cm in den Boden eingelassen. Der Gabelstapler ist an seiner Unterseite mit einer besonders robusten Antenne ausgestattet, die bei Überfahren die Transponder-ID liest.²⁰⁹ Mit der Red Box, die ebenfalls am Gabelstapler angebracht wird, kann der genaue Lagerplatz der mitgeführten Ware automatisch und dreidimensional ermittelt werden. Zusätzlich befinden sich am Hubgerüst Ultraschall-Sensoren, die den Beladezustand und die Gabelhubhöhe erkennen. Für die Positionsbestimmung kann optional ein Magnetkompass installiert werden.²¹⁰ Die Standortinformationen werden in Echtzeit kabellos über WLAN an die Stellplatzverwaltung übermittelt.²¹¹ Die Ortungsgenauigkeit liegt bei etwa 0.5 m.²¹²

²⁰⁹ Vgl. Hohenstein, 2014, S.39

²¹⁰ Vgl. URL: http://www.indyon.de/images/pdf/de/Flyer_TR_DE.pdf (18.11.2016), PDF 76, S.1

²¹¹ Vgl. Theel, 2015, S.37-38

²¹² Vgl. Hohenstein, 2012, S.8

Track + Race LS	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	RFID
Lokalisierungsverfahren	k.A.
Systemarchitektur	Eigenortung
Frequenz	LF 125 kHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	bis zu 1 m ²¹³
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	ca. 50 cm
Einsatzbereich	In- & Outdoor, mit Fokus auf Indoor-Einsatz

Tabelle 12: Anforderungsanalyse Track + Race LS

WhereNet RTLS ISO 24730

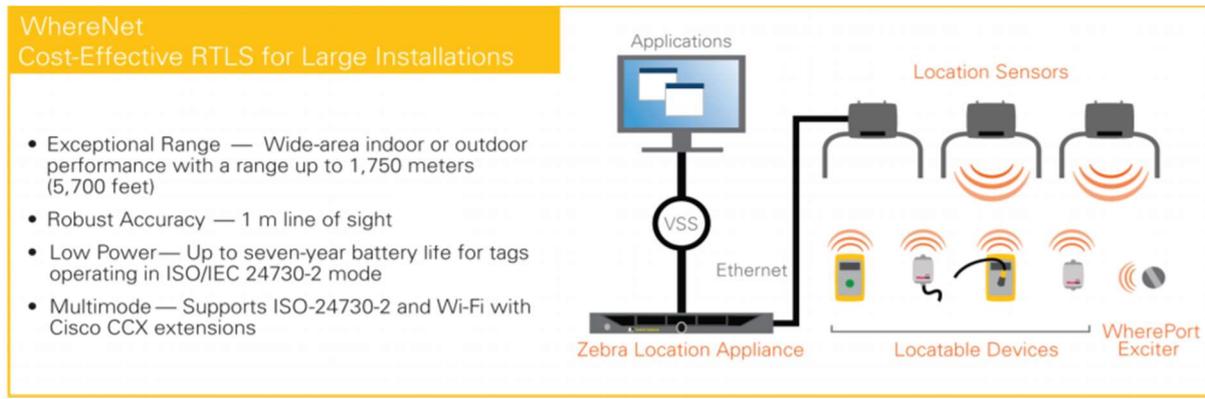
Das WhereNet System von Zebra lokalisiert seine aktiven RFID-Tags mit einer Frequenz von 2.4 GHz. Die Tags werden am Gabelstapler angebracht. Die Signale können entweder auf Befehl oder zu vorher festgelegten „Blink“-Raten in regelmäßigen Intervallen (z.B. alle 4s bis alle paar Stunden) gesendet werden. Die Zebra WhereNet RTLS Infrastruktur empfängt die Signale und berechnet mittels TDoA-Algorithmen den Standort der Tags. Je nach Installation kann eine Ortungsgenauigkeit von unter 2 m erreicht werden. ²¹⁴ Das System weist eine Reichweite von 150 m im Indoor-Bereich und eine Reichweite von 800 m im Outdoor-Bereich auf. Der Energieverbrauch eines Tags ist dabei sehr gering und liegt bei 20 mW. ²¹⁵

Es handelt sich beim WhereNet RTLS um ein System der Fremddortung. Die Location Sensoren werden in der Infrastruktur und die Location Tags an den Gabelstaplern angebracht. Die Vorverarbeitung der Messdaten sowie die Positionsrechnung erfolgen an einem zentralen Rechner in der Infrastruktur. Kostenvorteile ergeben sich dadurch, dass bei Ausweitung der Staplerflotte Location Tags und nicht Sensoren zugekauft werden müssen.

²¹³ Vgl. Theißen, 2009, S. 517

²¹⁴ Vgl. Goswami, 2013, S.86-87

²¹⁵ Vgl. URL <https://www.zebra.com/content/dam/zebra/product-information/en-us/brochures-datasheets/location-solutions/wheretag-iv-st-datasheet-en-us.pdf> (29.11.2016), PDF 83

Abbildung 28: WhereNet Systemaufbau ²¹⁶

WhereNet RTLS ISO 24730	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	RFID
Lokalisierungsverfahren	TDoA
Systemarchitektur	Fremdortung
Frequenz	2.4 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	Indoor 150 m, Outdoor 800 m
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	vorteilhafte Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	1 bis 2 m
Einsatzbereich	In- & Outdoor, Fokus auf Indoor-Bereich

Tabelle 13: Anforderungsanalyse WhereNet RTLS ISO 24730

5.3.3 WLAN

Ekahau

Mit der Ekahau Vision-Software können Personen und Objekte in Echtzeit über bereits bestehende WLAN-Infrastrukturen geortet und die Logistikprozesse intelligent gestaltet werden. Die Anschaffungskosten sind aufgrund der Nutzung bestehender WLAN-Infrastrukturen gering. Es ist mit einer minimalen bzw. gar keiner Ausfallzeit für die Installation zu rechnen. Für das Funktionieren des Systems ist keine WLAN-Authentifizierung erforderlich. Benötigt wird eine Standard-VoIP oder ein WLAN-Netzwerk (2.4 GHz). ²¹⁷ Die Ortungsgenauigkeit beträgt etwa 2 m, abhängig von den Umgebungsbedingungen des Systems. ²¹⁸ Für eine höhere Genauigkeit können zusätzliche Infrarotsender (Ekahau LB2 Tags) im Gebäude installiert werden. Diese operieren mit einer Frequenz von 38 kHz. Die Ortungsgenauigkeit kann so auf unter

²¹⁶ URL: <https://www.zebra.com/content/dam/zebra/product-information/en-us/brochures-datasheets/location-solutions/zebra-ls-brochure-en-us.pdf> (15.01.2017), PDF 45, S.2

²¹⁷ Vgl. URL: https://at.bechtle.com/assets/Uploads/Portfolio/PDFs/Ekahau_DINA4_8Seiter_160225.pdf (02.06.2016), PDF 40

²¹⁸ Vgl. Wilamoski, Irwin, 2016, S.448

1 m gesenkt werden.²¹⁹ Die WLAN-Tags sind leicht, batteriebetrieben und wieder aufladbar. Sie werden direkt an den Lokalisierungsobjekten angebracht. Die Kommunikation zwischen den Tags und den WLAN-Access Points erfolgt in regelmäßigen Abständen über Hochfrequenzsignale. Die Positionsdaten werden anschließend an die Ekahau Vision-Software weitergeleitet.²²⁰ Ekahau wertet die Signale mit eigenen patentierten Algorithmen aus, um die genaue Position der Objekte zu erhalten. Die Entfernung des Objekts wird mit der Stärke des Signals (RSSI) zwischen dem Tag und dem Access Point berechnet.²²¹ Die Tags können entweder kontinuierlich, in Intervallen („Blinks“), bei Bewegung oder auf Knopfdruck Signale aussenden. Ein beliebiges WLAN-Netzwerk empfängt diese Signale und sendet sie an die Software weiter, wo die Daten umgewandelt und verarbeitet werden.

Auch wenn andere RTLS wie RFID- oder IR-basierte Systeme ähnliche Tags verwenden, so bietet Ekahau den Vorteil, dass sich das Lesegerät nicht in unmittelbarer Umgebung zum Tag befinden muss. Da zwischen dem Client und dem Ortungsgerät lediglich Informationen betreffend die Signalstärken gesendet werden, kann die nötige Bandbreite und Prozessorleistung auf ein Minimum reduziert werden. Die Location Engine, die auf dem Server installiert wird, berechnet die Objektposition mittels Java-Software auf zwei unterschiedliche Arten: Die Lokalisierung erfolgt über (x,y)-Koordinaten oder über Informationen, wie z.B. „Lagergang 1“, „Halle B“. Mit den gesammelten Lokalisierungsdaten kann anschließend eine Karte erstellt und später analysiert werden. Die Karte wird an die tatsächlichen Örtlichkeiten angepasst. Netzwerke und Access Points werden freigegeben, Fahrten getrackt, Modelle für Zeit- und Kostenersparnisse erstellt, Objekte geortet und die Berechnungsgenauigkeit festgestellt. Die Software von Ekahau unterstützt außerdem beim Designen und Entwickeln von WLAN-Netzwerken. So kann entschieden werden, an welchen definierten Stellen Access Points im Betriebsgelände angebracht werden. Nachteilig am Ekahau System ist, dass es immer wieder Stellen gibt, die nicht in der Reichweite der Access Points liegen. Zusätzliche Access Points würden zwar Abhilfe leisten, treiben jedoch die Kosten erheblich in die Höhe. Falls man sich gegen das Anbringen zusätzlicher Access Points entscheidet, besteht die Möglichkeit, die Position des Objekts, basierend auf seinen Fortbewegungsgewohnheiten, zu schätzen. Voraussetzung dafür ist, dass das Objekt seine Bewegung regelmäßig wiederholt.²²² Wie auch bei anderen WLAN-Systemen besteht eine hohe Anfälligkeit für Reflexion und Absorption in sich ändernden Umgebungen.²²³

²¹⁹ Vgl. URL:

http://www.ekahau.com/userData/ekahau/documents/datasheets/Ekahau_RTLS_LB2_DS.pdf (08.12.2016), PDF 51, S. 1-2

²²⁰ Vgl. URL:

https://at.bechtle.com/assets/Uploads/Portfolio/PDFs/Ekahau_DINA4_8Seiter_160225.pdf (02.06.2016), PDF 40

²²¹ Vgl. Wiliamowski, Irwin, 2016, S.448

²²² Vgl. Deak et al., 2012, S. 1941-1943

²²³ Vgl. Zsifkovits, Altendorfer-Kaiser, 2015, S.7

Ekahau	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	WLAN+IR
Lokalisierungsverfahren	RSSI (für WLAN)
Systemarchitektur	Hybridortung
Frequenz	2.4 GHz/38 kHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	k.A.
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	vorteilhafte Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	bis zu 1 m
Einsatzbereich	In- & Outdoor, mit Fokus auf Indoor-Einsatz

Tabelle 14: Anforderungsanalyse Ekahau

AeroScout Visibility System

AeroScout ist ein WLAN-basiertes RTLS, das die RFID-Technologie mit der drahtlosen Sensortechnik verbindet. Das System besteht aus 4 Hauptkomponenten:

- Aktive RFID-Tags, die regelmäßige WLAN-Signale emittieren,
- WLAN-Access Points und AeroScout-Empfänger,
- ein Rechner, der die Position ermittelt und
- die Management Software „Mobile View“, die Daten aus unterschiedlichen Quellen zusammenträgt und verarbeitet.²²⁴

Für die Ortung wird primär das bereits existierende WLAN-Netzwerk verwendet. Es können Mobilgeräte, die eine 802.11b/g Verbindung nutzen, sowie AeroScout-Tags geortet werden. Die Lokalisierung erfolgt mittels RSSI-Verfahren über Standard WLAN-Access Points für kleinere Indoor-Bereiche und mittels TDOA über AeroScout-Empfänger für weitläufigere Indoor- oder Outdoor-Bereiche.²²⁵

²²⁴ Vgl. Deak et al., 2012, S. 1943

²²⁵ Vgl. Wiliamowski, Irwin, 2016, S.448

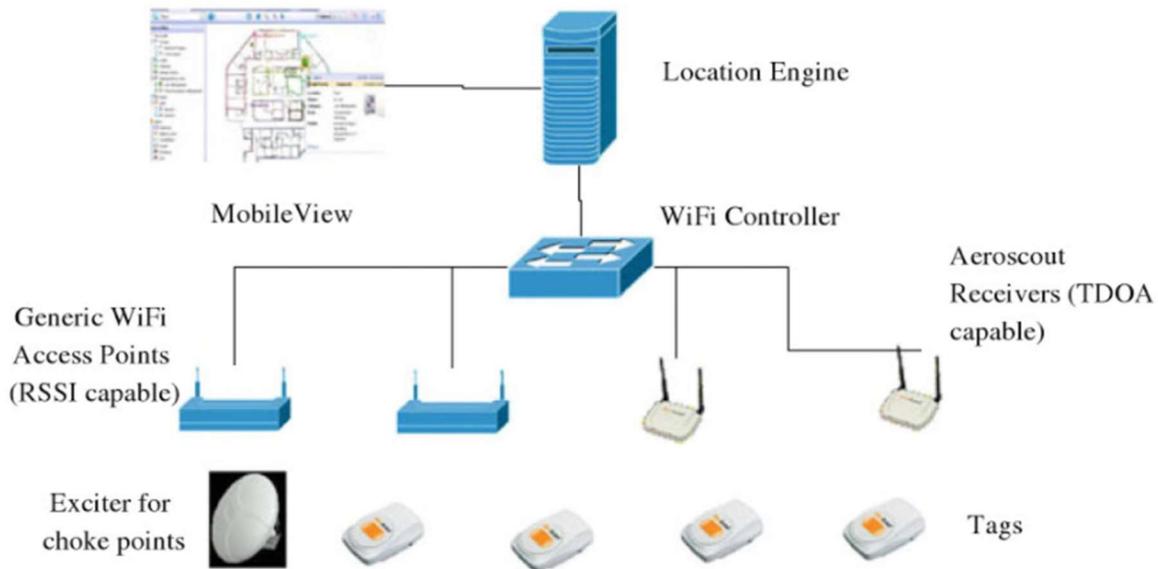


Abbildung 29 AeroScout Visibility System Systemaufbau ²²⁶

Bei den AeroScout-Tags handelt es sich um batteriegeladene Tags mit langer Lebensdauer (bis zu 4 Jahren), die zur Lokalisierung von Objekten und Personen verwendet werden. Die Lokalisierung der Tags erfolgt auf dem Betriebsgelände über das 2.4 GHz Frequenzband. Die Tags können jedoch auch im RFID-Niedrigfrequenzbereich von 125 kHz arbeiten. Die Tags sind mit einem Bewegungssensor ausgestattet, sodass eine Echtzeitverfolgung möglich ist. Es werden unterschiedliche Übertragungsintervalle für stationäre Objekte festgelegt, bzw. aufgrund einer Bewegungsmeldung eine Positionsbestimmung durchgeführt. So kann eine unnötige Netzwerkbelastung vermieden werden. Das System verwendet standardmäßige WLAN-Empfänger für eine erste Grobortung. ²²⁷ Zusätzlich werden AeroScout-Exciters an sogenannten Choke-Points (z.B. an Türen) installiert. Sie sind für geringere Reichweiten ausgelegt und erfassen automatisch die sich in ihrer Reichweite befindenden Tags über die RFID-Frequenz von 125 kHz. An diesen vordefinierten Stellen werden die Tags aktiviert bzw. deaktiviert oder die Übergangsrate angepasst. ²²⁸

Tags können nicht nur ihre Position wiedergeben, sondern auch Informationen bezüglich ihrer Umgebung (z.B. Temperatur, Druck). Sie sind wasser- und stoßfest und eignen sich daher sehr gut für raue Arbeitsumgebungen, wie z.B. Fabriken oder freies Gelände. Für besonders anspruchsvolle Umgebungen, wie etwa Erdölraffinerien und Minen, stehen speziell angepasste Tags zur Verfügung. Kanalsensoren im Tag verhindern Interferenzen mit anderen WLAN-Netzwerken. Dies ist vorallem aus Sicherheitsgründen wichtig, um nicht andere drahtlose Geräte zu stören. Bis zu 50 Tags können gleichzeitig aktiviert werden. Die Programmierung der Tags wird über eine Manager-Software durchgeführt. Ein weiterer Vorteil der Tags ist, dass sie

²²⁶ Goswami, 2013, S.84

²²⁷ Vgl. URL: <http://www.aeroscout.com/files/DE-T2DataSheet.pdf> (02.06.2016), PDF 42, S.1-2

²²⁸ Vgl. Goswami, 2013, S.84

platzsparend und leicht sind und somit problemlos an den unterschiedlichsten Objekten angebracht werden können. Die Reichweite beträgt 60 m im Indoor-Bereich und 200 m im Outdoor-Bereich.²²⁹ Eine Ortungsgenauigkeit von 3-5 m mit dem TDoA-Verfahren und von 3-10 m mit dem RSSI-Verfahren kann mit dem Visibility-System erreicht werden.²³⁰ Dem Hersteller zufolge besteht die Möglichkeit, neben WLAN-Signalen auch UWB-Signale mit den AeroScout-Tags zu empfangen, so dass eine Genauigkeit von unter 1 m erreicht werden kann.²³¹

AeroScout Visibility System	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	WLAN+RFID
Lokalisierungsverfahren	RSSI oder TDoA
Systemarchitektur	Hybridortung
Frequenz	2.4 GHz/125 kHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	Indoor 60 m , Outdoor 200 m
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	vorteilhafte Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	bis zu 3 m
Einsatzbereich	In- & Outdoor

Tabelle 15: Anforderungsanalyse AeroScout Visibility System

5.3.4 Bluetooth-Beacon Technologie

Jungheinrich Bluetooth Indoor Ortung (awiloc-Technologie)

Jungheinrich hat ein neuartiges Staplerortungssystem entwickelt, das auf der awiloc-Technologie des Fraunhofer Instituts für Integrierte Schaltungen IIS beruht. Die awiloc-Technologie ermöglicht neben dem Empfangen von Bluetooth-Signalen auch das Empfangen von WLAN- und Satellitensignalen. Bluetooth-Signale können im Standard-Frequenzbereich von 2.4 Ghz und 5 Ghz empfangen werden.

Das Jungheinrich-Beacon-System nutzt Bluetooth für die Positionsbestimmung des Gabelstaplers. Die Lokalisierung des Staplers erfolgt mittels Signalstärkeverfahren (RSSI). Die Location Engine kann, je nach Kundenwunsch, sowohl zentral, als auch dezentral angeordnet werden. Meist wird jedoch die dezentrale Variante mit der Location Engine auf dem mobilen Gerät, z.B. dem Gabelstapler, vom Kunden genutzt.²³² Bei Jungheinrich werden die Stapler mit Smartphones ausgestattet. Diese werden von Bluetooth-Sendern (sogenannte Beacons) geortet, welche im Hallenbereich angebracht werden. Das Smartphone berechnet anhand der empfangenen Signale die Position des Staplers. Die gewonnenen Daten werden anschließend an den Server weitergeleitet und verarbeitet. Die Vorteile liegen bei

²²⁹ Vgl. URL: <http://www.aeroscout.com/files/DE-T2DataSheet.pdf> (02.06.2016), PDF 42, S.1-2

²³⁰ Vgl. Wiliamowski, Irwin, 2016, S.448

²³¹ Vgl. Zsifkovits, Altendorfer-Kaiser, 2015, S.8

²³² Vgl. Experteninterview Loidl, Fraunhofer Institut IIS, 2017

diesem System vor allem beim niedrigen Installations- und Kostenaufwand und dem flexiblen Einsatz, unabhängig von den vorhandenen Staplermodellen. Mit dieser Technologie ist die Lokalisierung der Stapler sowohl im Regallager als auch in variabel genutzten Lagerbereichen möglich. Das Jungheinrich Indoor Ortungssystem ist seit 2017 am Markt.²³³

Ein Bluetooth-Beacon deckt i.d.R. bis zu 30 m² der Lagerfläche ab. Er wird über eine Batterie mit einer Lebensdauer von bis zu 2 Jahren mit Energie versorgt.²³⁴ Die Beacons können je nach Signalstärke und Grad der Abschirmung durch Hindernisse zwischen wenigen und 100 m weit empfangen werden. Diese maximalen Reichweiten gelten allerdings nur für Standard-Equipment im Bereich WLAN und BLE. Im Allgemeinen lässt sich die maximale Reichweite der Beacons nur schwer beziffern und einschränken. Die Positionsangabe erfolgt in 3D-Koordinaten. Die mittlere Ortungsgenauigkeit liegt bei 3 bis 4 m. Sie kann aber beispielsweise zusätzlich im Lagerbereich durch logische Verknüpfungen auf die Gangbreite eingegrenzt werden. Nach dem Einmessen sinkt bei starken baulichen Veränderungen (z.B. neue Feuerschutzwand) die Genauigkeit, dies kann jedoch durch ein partielles Neueinmessen behoben werden. Die awiloc-Technologie kann sowohl im Indoor- als auch im Outdoor-Bereich eingesetzt werden.

Der Hauptvorteil dieser Technologie besteht darin, dass sie eine autarke Lokalisierung ermöglicht. Wenn awiloc auf dem mobilen Gerät läuft, findet kein Eingriff bzw. keine Kommunikation über die vorhandene Infrastruktur statt. Die Genauigkeit kann bei speziell auf die Lokalisierung ausgerichteten Infrastrukturen noch etwas erhöht werden. Sie wird aber die 1.5 m nicht unterschreiten.²³⁵

Jungheinrich Bluetooth Indoor Ortung	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	Bluetooth LE
Lokalisierungsverfahren	RSSI
Systemarchitektur	Eigenortung
Frequenz	2.4 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	zwischen wenigen und 100 m
Flexibilität	gering
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	ca. 3 m
Einsatzbereich	Indoor

Tabelle 16: Anforderungsanalyse Jungheinrich Indoor Ortung

²³³ Vgl. URL: <http://www.jungheinrich.de/analyse-und-optimierung/indoor-ortung/> (03.06.2016), PDF 44, S.1-2

²³⁴ Vgl. URL : https://www.fm-online.de/PDF/2017/FM_6_17/Kommunikationstechnik_6.pdf, PDF 31, S.1

²³⁵ Vgl. Experteninterview Loidl, Fraunhofer Institut IIS, 2017

Onyx Beacon

Onyx Beacon bietet eine integrierte Lösung zur Ortung von hochwertigen Objekten in großer Masse an. Sie besteht aus einem Cloud basierten Content Management System (CMS) und Enterprise Beacons. Bei letzteren handelt sich dabei um kleine Bluetooth-Sender. Geräte, die diese Signale richtig interpretieren können, sind iPhones (4s und neuer), iPads (ab 3. Generation), iPad Mini und Geräte mit Android 4.3 oder neuere, wie z.B. das Samsung Galaxy S4. Diese Beacons eignen sich besonders gut für industrielle Umgebungen, da sie eine geringe Störanfälligkeit gegenüber Nässe aufweisen. Ihre Batterien halten bis zu 4 Jahren. Diese können per USB aufgeladen werden. Die Anwendung ist für iOS und zukünftig auch für Android-Geräte erhältlich. Die Reichweite der Beacons beträgt bis zu 70 m. ²³⁶

Der Hallenbereich wird mit festangebrachten Beacons (Fixed Enterprise Beacons) ausgestattet, um eine genaue Karte der Lagerhalle erstellen zu können. Mit Hilfe eines mobilen Endgerätes werden die Beacons erfasst. Dies geschieht, indem die Gabelstapler z.B. mit Smartphones ausgestattet werden. Die Daten werden in Echtzeit an die Cloud CMS Plattform weitergeleitet. Die genaue Position des mobilen Objekts wird dem Nutzer daraufhin auf der mobilen App oder auf der CMS Plattform angezeigt. ²³⁷ Mit den Bluetooth-Low-Energy-Beacons (BLE-Beacons) kann eine Ortungsgenauigkeit von etwa 5 m erreicht werden. Mit 25-30 US-Dollar pro Beacon entsprechen die Kosten in etwa denen eines aktiven RFID-Tags, allerdings werden keine teuren Lesegeräte benötigt. Stattdessen wird eine mobile App auf den Smartphones der Mitarbeiter installiert. ²³⁸

Onyx Beacon	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	Bluetooth LE
Lokalisierungsverfahren	RSSI
Systemarchitektur	Eigenortung
Frequenz	2.4 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	bis zu 70 m
Flexibilität	gering
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	5 m
Einsatzbereich	Indoor

Tabelle 17: Anforderungsanalyse Onyx Beacon

²³⁶ Vgl. URL: <http://www.onyxbeacon.de/> (30.11.2016), PDF 87, S.1-2

²³⁷ Vgl. URL: <http://www.onyxbeacon.com/beacons-improve-logistics-operations-track-and-locate-assets-in-big-warehouses/> (03.06.2016), PDF 45, S.1-6

²³⁸ Vgl. URL: <http://www.onyxbeacon.com/ble-beacons-bring-precision-and-costs-reduction-for-asset-tracking-in-many-verticals/> (30.11.2016), PDF 80, S.4-5

insoft Beacons

Infsoft bietet sowohl eine clientseitige, als auch eine serverseitige Staplerortung via Bluetooth an. Bei der clientseitigen Ortung wird auf dem Stapler ein Smartphone oder ein Tablet montiert. Auf diesem läuft eine Software, die in der Lage ist, auf Basis von Signalgebern, die im Raum installiert werden, die Position zu bestimmen. Bei den Signalgebern handelt es sich um Beacons, die beispielsweise an einer Wand oder an einem Regal angebracht werden. Im Gegensatz dazu wird bei der serverseitigen Lösung der Beacon am Stapler selbst montiert. Das Signal, das vom Beacon ausgesendet wird, wird von einem Signalnehmer, einem sog. Insoft Locator Node, empfangen und verarbeitet, um anschließend im Backend visualisiert zu werden. Das Prinzip der clientseitigen BLE-Lösung mit dem Smartphone wird ebenfalls bei Systemen von Jungheinrich eingesetzt. JH ist derzeit mit insoft über serverseitige Anwendungsfälle im Gespräch.

Die Positionsgenauigkeit der Beacon liegt bei clientseitigen Anwendungsfällen bei ungefähr 2 bis 3 m und bei serverseitigen Anwendungsfällen zwischen 3 und 8 m. Das zeigt, dass diese Technologie im Vergleich zu anderen Ortungstechnologien doch mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet ist. Die Positionsgenauigkeit hängt von der Dichte der Signalnehmer ab, die in das System eingebracht werden, aber auch von den Abschirmungscharakteristiken. Die Positionsgenauigkeit ist somit von der Ausführung des Systems und den Umgebungsbedingungen abhängig.

Die Latenzzeit bzw. Verzögerungszeit sowie die Reichweite kann bei den BLE-Beacon individuell konfiguriert werden. Die Abtastrate kann von 100 ms bis zu 10 min gewählt werden. Die Daten müssen anschließend in der Software prozessiert werden, was zu einer weiteren Latenzzeit von ungefähr einer Sekunde führt. Die maximale Reichweite der Beacons liegt bei 70 m. Im Indoor-Bereich mit Reflexion beträgt sie allerdings maximal 35 m. Bei der insoft BLE-Ortung handelt es sich um ein 2D-Messverfahren.

Der typische Anwendungsbereich dieses Ortungssystems liegt in der klassischen Industrieumgebung. Die BLE-Beacons arbeiten so wie auch WLAN mit der Signalstärkenmessung als Lokalisierungsverfahren. Die Positionsungenauigkeiten ergeben sich im Industriegebiet beispielsweise aufgrund der metallischen Strukturen, die gewisse Reflexionen und Abschirmungen bedeuten. Diese Beeinflussungen müssen bei der Systemplanung vor Ort entsprechend berücksichtigt werden.²³⁹

²³⁹ Vgl. Experteninterview Winkler, insoft, 2017

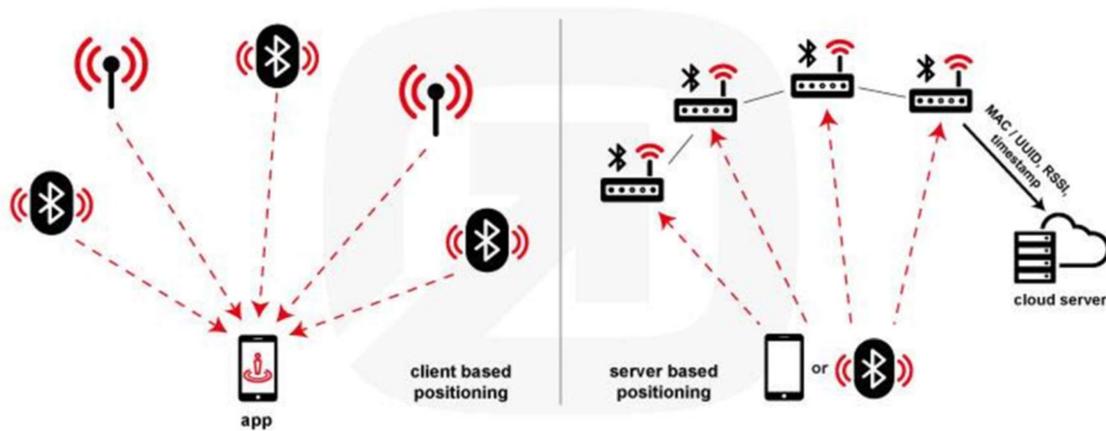


Abbildung 30: Clientseitige und serverseitige Positionsbestimmung ²⁴⁰

insoft Beacons	serverseitig	clientseitig
Technische Parameter der Staplerortung		
Ortungstechnologie	BLE	BLE
Lokalisierungsverfahren	RSSI	RSSI
Systemarchitektur	Fremdortung	Eigenortung
Frequenz	2.4 GHz	
Kundenrelevante Kriterien		
Reichweite	bis zu 35 m Indoor mit Reflexionen	
Flexibilität	mittel	gering
Skalierbarkeit	vorteilhafte Kostenverteilung	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	3 bis 8 m	2 bis 3 m
Einsatzbereich	In- & Outdoor, Fokus Indoor	

Tabelle 18: Anforderungsanalyse insoft Beacon

5.3.5 Ultraweitband

insoft UWB

Für Anwendungsfälle, bei denen eine höhere Positionsgenauigkeit gefragt ist, bietet sich eine Staplerortung mittels UWB an. UWB arbeitet mit Sichtverbindungen und der sog. Time-of-Flight-Messung (ToF). Die Genauigkeit liegt bei etwa 10 bis 30 cm. Bei der UWB-Ortung handelt es sich meistens um ein serverseitiges Verfahren mit UWB-Tags am Stapler und Locator Nodes in der Infrastruktur. Es werden mehr Locator Nodes als bei der serverseitigen BLE-Ortung benötigt, da für eine Ortung die Sichtverbindung zu mindestens drei Geräten sichergestellt werden muss. ²⁴¹ Die Reichweite liegt je nach Anwendungsfall bei 10 bis 150 m. ²⁴²

²⁴⁰ URL: <https://www.insoft.de/portals/0/images/solutions/basics/whitepaper/de-indoor-navigation-indoor-positionsbestimmung-insoft-ebook.pdf> (21.11.2016), PDF 79, S. 23

²⁴¹ Vgl. Experteninterview Winkler, insoft, 2017

²⁴² Vgl. URL: <https://www.insoft.de/technologie/sensorik/ultra-wideband> (10.11.2017), PDF 100, S. 3

Die UWB-Tags sind im Vergleich zu den BLE-Beacons im Einzelpreis teurer. Ein Locator Node, der UWB-Signale empfangen soll, kostet etwa 50 € mehr als ein BLE-Locator Node. Ein UWB-Tag kostet zwischen 80 und 110 € das Stück. Da nicht jede einzelne Palette mit UWB-Tags ausgestattet wird, sondern lediglich 10 bis 20 Gabelstapler (je nach Anwendungsfall), ist der Stückpreis jedoch nicht ganz so entscheidend.

UWB ist vom Frequenzband breiter aufgestellt als BLE oder WLAN. Insoft arbeitet im Bereich 3.7 bis 4.2 GHz und ist somit quasi interferenzfrei. Von 3 bis 7 GHz ist UWB aber generell konfigurierbar und wird alternativ angeboten, da in manchen Industrien gewisse Frequenzbänder nicht genutzt werden dürfen. Der Kunde kann zwischen unterschiedlichen UWB-Channels wählen. Je höher die Bandbreite, desto kürzer die Distanz, die überbrückt werden kann. Insoft UWB-Systeme werden beispielsweise bei den Automobilherstellern VW, Daimler, BMW und Audi eingesetzt.²⁴³

Für den Fall, dass eine reine Staplerortung ohne Güterortung erfolgen soll, werden insoft Locator nodes in der Infrastruktur installiert, und der Stapler mit einem Location Tag ausgestattet. Für eine Positionsgenauigkeit von 10 bis 30 cm müssen die Daten aus mindestens 3 Locator Nodes kombiniert werden. Es handelt sich hierbei um eine serverseitige Positionsbestimmung, bei der die Visualisierung im Backend erfolgt.²⁴⁴

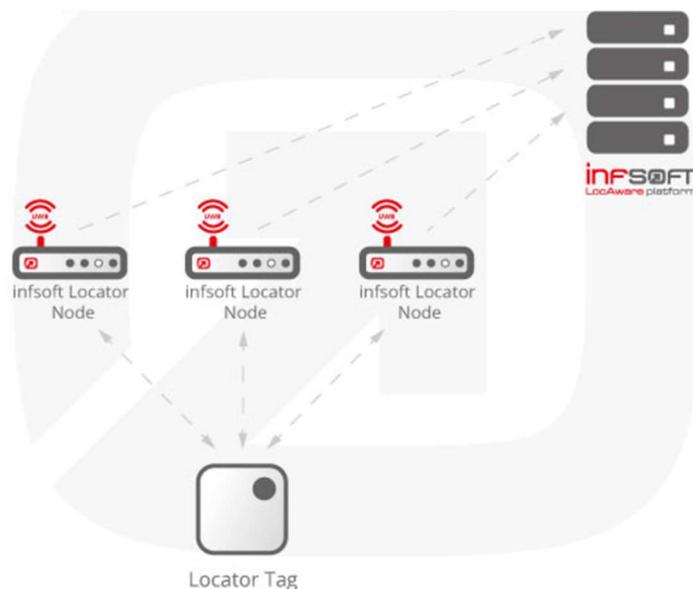


Abbildung 31 Serverseitige Positionsbestimmung insoft²⁴⁵

Falls neben der Fahrzeugortung auch eine indirekte Warenortung (z.B. Palette) über den Stapler erfolgen soll, kann statt dem Location Tag ein Locator Node am Stapler

²⁴³ Vgl. Experteninterview Winkler, insoft, 2017

²⁴⁴ Vgl. URL: <https://www.insoft.de/technologie/sensorik/ultra-wideband> (10.11.2017), PDF 100, S. 1

²⁴⁵ URL: <https://www.insoft.de/technologie/sensorik/ultra-wideband> (10.11.2017), PDF 100, S. 2

angebracht werden. Die batteriebetriebenen UWB-Tags werden im Lager installiert und ermöglichen die Ortung des Gabelstaplers.²⁴⁶ Zusätzlich wird RFID als Komplementärtechnologie eingesetzt. Insoft setzt selber nur passive RFID-Systeme mit einem remote-coupling-Verfahren ein. Die Reichweite der RFID-Tags ist wegen der notwendigen Energieversorgung auf etwa 1 m beschränkt. Der Locator Node kann gleichzeitig RFID-, als auch UWB-Signale empfangen. Über den eingebauten RFID-Reader im Locator Node wird erkannt, welche Ware sich momentan auf der Staplergabel befindet. In dem Moment, in dem die Ware abgelegt wird, reißt die Verbindung ab. Der zuletzt detektierte Standort wird mit dem Warenstandort verknüpft. Beim Tracking von mehreren Tausend Paletten und RFID-Tag-Kosten von 5 bis 6 €, ist diese Lösung bald nicht mehr wirtschaftlich tragbar.²⁴⁷



Abbildung 32 insoft-Warenortung mit kombinierter UWB/RFID Technologie²⁴⁸

Eine 3D-Positionsbestimmung ist mit der UWB-Technologie kein Problem, da auch die Höhe zuverlässig ermittelt werden kann. Die Systeme von insoft sind überwiegend für den Indoor-Bereich konzipiert, aber sämtliche angebotene Komponenten können auch mit einem IP-Schutzkasten versehen werden, sodass sie auch eine Ortung im Outdoor-Bereich erlauben. Diese schützen gegen Feuchtigkeit und Schmutz. In einem räumlich eingeschränkten Kontext, z.B. einem Werksareal kann die insoft-Peripherie aufgebaut werden.

Bluetooth und UWB stellen für insoft die wichtigsten Ortungstechnologien dar. Bei WLAN besteht das Problem, dass die clientseitige Positionsbestimmung nur über Android-Geräte erfolgen kann, weil IOS eine WLAN-Bestimmung auf dem Gerät selber für Entwickler nicht erlaubt. Mit WLAN erhält man sehr schlechte Positionsaufösungen

²⁴⁶ Vgl. URL: <https://www.insoft.de/anwendungsbeispiele/ArticleId/177/tracking-von-flurfoerderzeugen-und-guetern-in-der-logistik> (10.11.2017), PDF 46, S.3

²⁴⁷ Vgl. Experteninterview Winkler, insoft, 2017

²⁴⁸ URL: <https://www.insoft.de/anwendungsbeispiele/ArticleId/177/tracking-von-flurfoerderzeugen-und-guetern-in-der-logistik> (10.11.2017), PDF 46, S.4

zwischen 5 und 17 m sowie höhere Abtastraten, da das Scannen auf den WLAN-Kanälen länger dauert. Die Latenzzeit liegt bei 3 bis 4 s. Dem Experten zufolge ist eine Echtzeitverfolgung somit nicht mehr möglich. Für eine nachträgliche Staplerverfolgung ist WLAN eher geeignet. Die Locator Nodes von infsoft sind ein sehr modulares System. Sie unterstützen die Consumerstandards WLAN, BLE, GPS (für den Outdoor-Bereich), UWB als auch RFID. Sie können mit unterschiedlichen Sensortechnologien und signalgebenden Verfahren arbeiten. Die Modularität des Systems ermöglicht es, individuell auf Kundenbedürfnisse einzugehen.²⁴⁹

infsoft-UWB	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	UWB
Lokalisierungsverfahren	ToF
Systemarchitektur	Eigenortung
Frequenz	3.7 bis 4.2 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	10 bis 150 m
Flexibilität	gering
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	10 bis 30 cm
Einsatzbereich	In- & Outdoor, Fokus Indoor

Tabelle 19: Anforderungsanalyse infsoft UWB

Ubisense RTLS

Ubisense ist ein leistungsfähiges RTLS, das auf der UWB-Technologie basiert. Es ist sowohl für den Indoor- als auch für den Outdoor-Bereich geeignet. Die Ortung erfolgt über aktive batteriebetriebene Transponder, die Signale im Frequenzbereich zwischen 5.8 und 7.2 GHz senden. Eine gleichzeitige Erfassung von tausenden Objekten ist möglich. Die Updaterate liegt bei 20 Hz, wobei eine Ortungsgenauigkeit von 15 cm erreicht werden kann.²⁵⁰ Die Bandbreite des Signals beträgt mindestens 500 MHz. Dank des hohen Frequenzbereichs kann eine Übertragungsrates von 110 Mb/s erreicht werden. Über eine ID-Nummer wird das Objekt eindeutig identifiziert. Die genaue Position und Richtung des Objekts wird über die Laufzeitverzögerung des Signals berechnet. Die Daten werden an eine übergeordnete Software zur Verarbeitung und Analyse weitergeleitet, wo anschließend eine 3D-Echtzeitdarstellung erstellt wird.²⁵¹ Die Positionsbestimmung kann mit TDoA und AoA erfolgen, sodass bereits 2 Sensoren eine 3D-Standortbestimmung ermöglichen.²⁵² Die Reichweite der Sensoren beträgt etwa 100 m. Ein wesentlicher Vorteil der UWB-Technologie stellt die hohe Zuverlässigkeit in komplexen Umgebungen (z.B. Fertigungs- und Lagerhallen) im Vergleich zur Funkübertragung dar. Metalle oder Flüssigkeiten können nicht von UWB-Signalen durchdrungen werden. Falls ein fließender Übergang der

²⁴⁹ Vgl. Experteninterview Winkler, infsoft, 2017

²⁵⁰ Vgl. Elkhoully, 2014, S.9

²⁵¹ Vgl. URL: http://demofabrik-aachen.rwth-campus.com/wp-content/uploads/sites/14/2015/06/VDI-Z_05_2016_Seiten34-36.pdf (23.11.2016), PDF 81, S. 2

²⁵² Vgl. Wiliamowski, Irwin, 2016

Positionsbestimmung zwischen In- und Outdoor-Bereichen erfolgen soll, so können integrierte UWB/GPS-Tags eingesetzt werden.

Für eine indirekte Warenortung über den transportierenden Gabelstapler wird der Gabelstapler mit aktiven, batteriebetriebenen Ubisense-Tags (4 pro Fahrzeug) ausgestattet. Im Gebäude werden die Ubisense Sensoren installiert. Den transportierten Paletten wird eine Identifikationsnummer mittels Auto-ID-Kennzeichnung zugewiesen, welche einmalig registriert werden muss. Beim Auf- und Abladen der Paletten wird die genaue Position berechnet. Mit Hilfe der Ubisense-Software werden die Paletten ID-Nummern mit den Positionskoordinaten gekoppelt. Die Positionsdaten der Paletten können vom Staplerfahrer über den Staplerterminal abgerufen werden. Die Transportaufträge und die Lagerplätze der Paletten werden visualisiert. Da neben der Palettenlokalisierung auch eine kontinuierliche Staplerortung ermöglicht wird, können Fehlfahrten und Verwechslungen so gut wie ausgeschlossen werden. Ein Warnsystem meldet dem Staplerfahrer, wenn er die falsche Palette anfährt.²⁵³



Abbildung 33 Ubisense RTLS Komponenten²⁵⁴

Ubisense RTLS	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	UWB
Lokalisierungsverfahren	TDoA oder AoA
Systemarchitektur	Fremdortung
Frequenz	5.8 und 7.2 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	bis zu 100 m
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	vorteilhafte Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	bis zu 15 cm
Einsatzbereich	In- & Outdoor

Tabelle 20: Anforderungsanalyse Ubisense

²⁵³ Vgl. URL: http://elearning.hs-koblenz.de/wincheringer/gps1/Freigegebene%20Dokumente/Literatur/2014%20Ubisense%20MES%20Neue_Transparenz_f%C3%BCr_Fertigungsprozesse%20Indoor-Ortung%20mit%20RTLS.pdf (01.06.2016), PDF 35, S.3-5

²⁵⁴ Ebenda, S. 3

Absolute Positioning LPR-2D

Die Symeo GmbH bietet mit ihrem Local Positioning Radar System (LPR) ein präzises UWB-Lokalisierungssystem sowohl für den Indoor- als auch für den Outdoor-Bereich an, das auf Wunsch mit einer GPS-Ortung kombiniert werden kann. Um einen nahtlosen Übergang von GPS auf die 2D-Lösung zu ermöglichen, werden zusätzlich zu den GPS-Ortungmodulen noch ein Board und Antennen auf dem Stapler montiert. Die Wahl des geeigneten Ortungssystem ist davon abhängig, wie groß das abzudeckende Areal ist und wie es gestaltet ist. ²⁵⁵

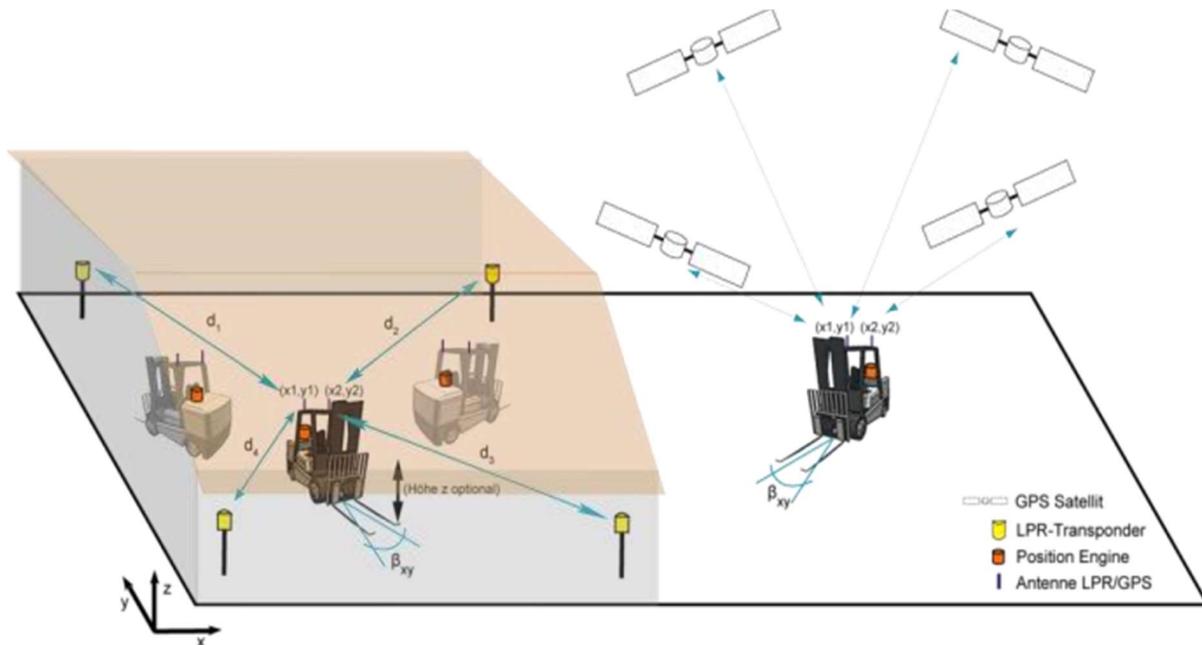


Abbildung 34 Kombiniertes LPR-2D/D-GPS Ortungssystem ²⁵⁶

Im Vergleich zur GPS-Ortung werden bei der LPR-2D Ortung Objekte mittels Radarsignale geortet. Es erfolgt eine Weg-/Distanzmessung, um die Position des Gabelstaplers zu erhalten. Die verwendete Frequenz liegt bei 5.8 GHz. ²⁵⁷ Die Updaterate beträgt 25 Hz. ²⁵⁸

Das LPR-System arbeitet mit ortsfesten aktiven Transpondern und mobilen Messeinheiten, die auf den Gabelstaplern montiert werden. Der Stapler wird mit einem 2D-Board ausgestattet, sodass er selbst berechnen kann, wo er sich befindet. Der Bereich (Zelle), in dem er sich bewegen soll, wird mit mindestens 6 Transpondern gekennzeichnet. Umso größer die aufgespannte Zelle desto besser. Eine rechtwinklige Zelle kann 100 bis 250 m lang sein. Die Transponder werden so montiert, dass das Fahrzeug zu möglichst vielen von ihnen Sichtkontakt hat. Der Stapler sollte

²⁵⁵ Vgl. Experteninterview Zinkl, Symeo, 2017

²⁵⁶ Symeo Application Guide, 2012, PDF 101, S.34

²⁵⁷ Vgl. Experteninterview Zinkl, Symeo, 2017

²⁵⁸ Vgl. Elkhoully, 2014, S.10

mindestens 4 Transponder sehen, besser noch wären 5. Je mehr Transponder in Sichtweite sind, desto höher die Genauigkeit.

Das verwendete Lokalisierungsverfahren ist von Symeo patentiert. Es handelt sich um ein Laufzeitlokalisierungsverfahren, bei dem berechnet wird, wann sich die Halbkreise der vom Transponder ausgesendeten Signale treffen. Über das Schnittmuster wird die Position des Staplers berechnet. Das Fahrzeug kann dank seiner Antennen seine Position selbst berechnen. Die Ortungsgenauigkeit liegt bei etwa 0.5 m.

Die Radartechnologie ist Umwelteinflüssen nicht ausgeliefert und daher für ein raues industrielles Umfeld geeignet. Die Zuverlässigkeit des Systems bleibt von Verschmutzungen und Vibrationen unbeeinflusst. Die Ortung kann sowohl im Indoor-, als auch Outdoor-Bereich (häufiger Anwendungsfall in Häfen) erfolgen. Die Datenübertragung vom Stapler weg zum Server kann per WLAN-Funk erfolgen. Es gibt aber auch Sonderlösungen, wie etwa eine Datenübertragung über ZigBee-Funk. Der Stapler kann die Signale der Referenzstation aus beliebiger Entfernung empfangen und zurücksenden. Voraussetzung ist, dass der Stapler in dem System einmal registriert worden ist. Die Position des Gabelstaplers wird in 2D-Koordinaten angegeben. Ein großer Vorteil des Systems ist, dass eine große Intelligenz auf dem Fahrzeug vorhanden ist, so dass z.B. auch die Geschwindigkeit des Staplers oder die Position der Gabel ermittelt werden kann. Durch die zusätzlich gewonnenen Informationen und die Zusammenführung der Daten ist somit auf Wunsch auch eine 3D-Positionsbestimmung möglich. Mit den von den Staplern gesammelten Daten kann ein Warenwirtschaftssystem oder auch ein Kollisionswarnsystem eingerichtet werden.²⁵⁹

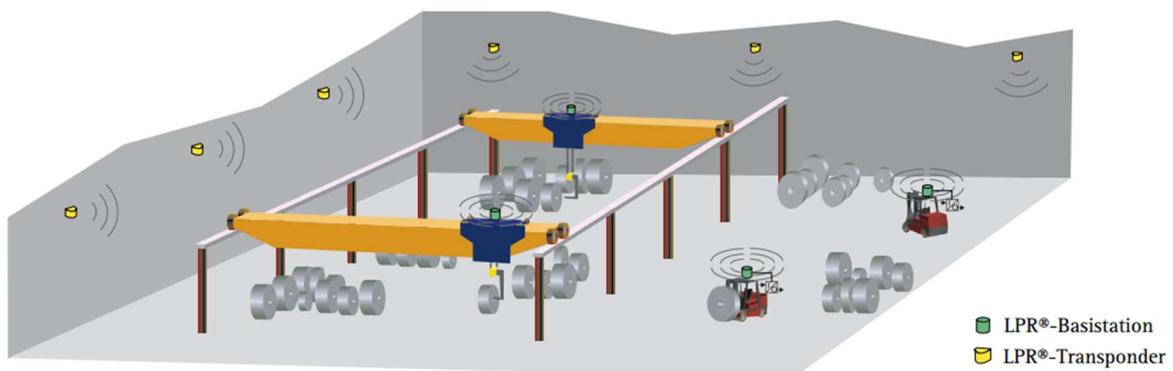


Abbildung 35 Typische LPR®-2D-Anwendung²⁶⁰

²⁵⁹ Vgl. Experteninterview Zinkl, Symeo 2017

²⁶⁰ URL: http://www.symeo.com/cms/upload/pdf/de/Datenblaetter/Symeo_Datenblatt_LPR-2D.pdf (02.06.2016), PDF 36, S.1-2

Absolute Positioning LPR-2D	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	UWB
Lokalisierungsverfahren	Eigenes Laufzeitverfahren
Systemarchitektur	Eigenortung
Frequenz	5.8 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	unbeschränkt
Flexibilität	gering
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	50 cm
Einsatzbereich	In- & Outdoor

Tabelle 21: Anforderungsanalyse Absolute Positioning LPR-2D

Dart UWB

Das Dart UWB System von Zebra Enterprise Solution Inc. ermöglicht eine Lokalisierung von Objekten in Echtzeit mit dem internationalen UWB-Standard IEEE 802.15.4.f. Die Batterie der Tags hat eine Lebensdauer von etwa 7 Jahren.²⁶¹ Die Reichweite der Tags beträgt bis zu 200 m, wobei nur bis zu einer Reichweite von 50 m eine genaue Lokalisierung erfolgen kann. Bei einer Entfernung zwischen 50 und 200 m kann lediglich die Präsenz eines Tags festgestellt werden. Das System ist auf bis zu 10,000 wiederbeschreibbare Tags ausgelegt, wobei es bis zu 3,500 Tags gleichzeitig identifizieren kann. Die Ortungsgenauigkeit liegt bei etwa 30 cm. Die Blinkfrequenz ist variabel einstellbar zwischen 0.02 bis 200 Hz.²⁶² Die Installation der Tags auf dem Gabelstapler ist einfach zu realisieren. Für die Positionsbestimmung werden Dart Sensoren an Referenzpunkten auf dem Betriebsgelände angebracht. Mittels TDoA werden Signale in einem Frequenzbereich von 5.94 bis 7.12 GHz gesendet.²⁶³

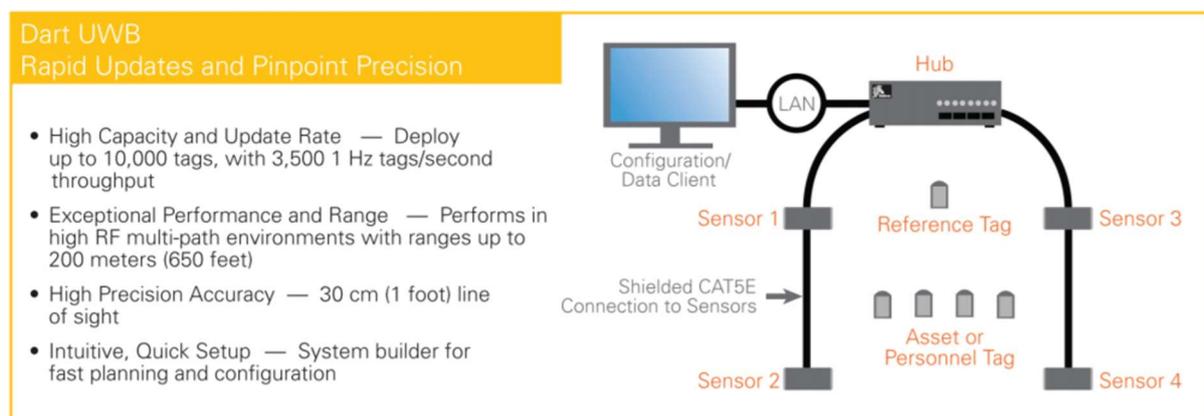


Abbildung 36: Dart UWB Systemaufbau²⁶⁴

²⁶¹ Vgl. URL: <https://www.zebra.com/content/dam/zebra/product-information/en-us/brochures-datasheets/location-solutions/dartuwb-tech-datasheet-en-us.pdf> (02.06.2016), PDF 37, S.1

²⁶² Vgl. Elkhoully, 2014, S.7-9

²⁶³ Vgl. Goswami, 2013, S.85-90

²⁶⁴ URL: <https://www.zebra.com/content/dam/zebra/product-information/en-us/brochures-datasheets/location-solutions/zebra-ls-brochure-en-us.pdf> (15.01.2017), PDF 45, S.2

Dart UWB	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	UWB
Lokalisierungsverfahren	TDoA
Systemarchitektur	Fremdortung
Frequenz	5.94 bis 7.12 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	bis zu 50 m
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	vorteilhafte Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	bis zu 30 cm
Einsatzbereich	In- und Outdoor

Tabelle 22: Anforderungsanalyse Dart UWB

Solconia UWB-Genauortung

Um den hohen Genauigkeitsanforderungen von unter 1 m gerecht zu werden, bietet Solconia ein UWB-RTLS an. Diese Technologie unterscheidet sich in mehrerer Hinsicht von der WLAN- und BLE-Ortung. Wesentlicher Vorteil der UWB-Technologie ist die geringere Störanfälligkeit gegenüber metallischen Umgebungseinflüssen im industriellen Umfeld. Um Objekte orten zu können, werden diese mit aktiven Transpondern versehen. Die Transponder arbeiten im UWB-Frequenzbereich von 3.1 bis 5 GHz. Dabei besteht die Wahl zwischen Transpondern, die permanent Signale aussenden und Transpondern, die zwecks Energieersparnis nur bei Bedarf Signale aussenden. Als Grundlage der Positionsberechnung dient die Signallaufzeit, welche zwischen dem Transponder und den sich in Reichweite befindlichen Access Points gemessen wird. Der Lokalisierungs-Server wertet die entfernungsabhängigen Laufzeit-Differenzen aus und liefert daraufhin die Positionskoordinaten. Es kann eine Ortungsgenauigkeit von unter 1 m erreicht werden.²⁶⁵

Alternativ zur UWB-Genauortung kann eine Staplerortung im Indoor-Bereich auch durch das Anbringen von Bodentranspondern (RFID) erfolgen. Diese Variante ist skalierbarer und kostengünstiger. Die gewonnenen Daten können beispielsweise an eine SQL-Datenbank mit Schnittstelle zur Fremdsoftware, an eine Lagerverwaltungssoftware oder an ein Staplerleitsystem weitergeleitet werden.²⁶⁶

²⁶⁵ Vgl. URL: <http://www.solconia.de/genau-ortung/> (02.06.2016), PDF 38, S.2

²⁶⁶ Vgl. URL: <http://www.solconia.de/fahrzeugortung/> (02.06.2016), PDF 39, S. 2

Solconia UWB-Genauortung	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	UWB
Lokalisierungsverfahren	TDoA
Systemarchitektur	Fremdortung
Frequenz	3.1 bis 5 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	k.A.
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	vorteilhafte Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	unter 1 m
Einsatzbereich	Indoor

Tabelle 23: Anforderungsanalyse Solconia UWB-Genauortung

KIO RTLS

Beim KIO UWB System wird der batteriebetriebene Tag auf dem Lokalisierungsobjekt angebracht. 4 Anchors (Sensoren), die an Referenzpunkten im Gebäude installiert werden, werden für die Positionsbestimmung mittels ToA-Verfahren benötigt. Die Anchors müssen mit Strom versorgt werden. Die Updaterate liegt bei 4 Hz. Direkter Sichtkontakt zwischen Anchor und Tag ist nicht notwendig. Die Reichweite eines Anchors beträgt 40 m. Somit kann eine Fläche zwischen 100 und 150 m² abgedeckt werden. Mehrere hundert Objekte können gleichzeitig geortet werden. Die Ortungsgenauigkeit liegt bei bis zu 30 cm. Je mehr Objekte gleichzeitig geortet werden, desto niedriger ist jedoch die Ortungsfrequenz. Zur Positionsbestimmung wird i.d.R. eine Frequenz zwischen 3.1 und 4.8 GHz gewählt. Die Signalbandbreite beträgt 900 MHz. Die 3D-Positionsdaten können sowohl vom Tag als auch vom Anchor weitergeleitet werden. Wird mehr als ein Anchor-Set (4 Stück) verwendet, so werden die Daten von jedem vierten Anchor gesammelt und an den Server oder Computer weitergeleitet. Die gesammelten Messwerte werden schließlich von diesem in genaue Positionsinformationen umgewandelt.²⁶⁷

KIO RTLS	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	UWB
Lokalisierungsverfahren	ToA
Systemarchitektur	Fremdortung
Frequenz	3.1 bis 4.8 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	40 m
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	vorteilhafte Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	bis zu 30 cm
Einsatzbereich	In- & Outdoor

Tabelle 24: Anforderungsanalyse KIO RTLS

²⁶⁷ Vgl. URL: <http://www.eliko.ee/products/kio-rtls/> (29.11.2016), PDF 84, S. 1-4

Sewio RTLS

Das Sewio RTLS System basiert ebenfalls auf der UWB-Technologie. Der Frequenzbereich liegt zwischen 3 und 7 GHz. Die Ortung erfolgt mittels TDoA-Verfahren. Die Update-Rate liegt bei 100 Hz. UWB Anchors werden an festen Referenzpunkten im Gebäude installiert. Üblicherweise wird ein Abstand von 20 bis 30 m zwischen den Anchors eingehalten. Für eine Fläche von 6,000 m² werden etwa 20 Anchors benötigt. Ein Anchor muss mit 1.5 W versorgt werden. Je nach Umgebungsbedingungen beträgt die Reichweite der batteriebetriebenen Tags zwischen 15 und 50 m. Über das Ethernet Netzwerk oder WLAN leiten die Anchors die gesammelten Daten an den RTLS Server weiter. Die Positionsangabe erfolgt je nach Wunsch in 2D- oder 3D-Koordinaten. Die Ortungsgenauigkeit beträgt unter 1 m. Eine Genauigkeit von 20 bis 30 cm kann erreicht werden, wenn eine Sichtverbindung zwischen den UWB-Geräten gewährleistet werden kann.²⁶⁸

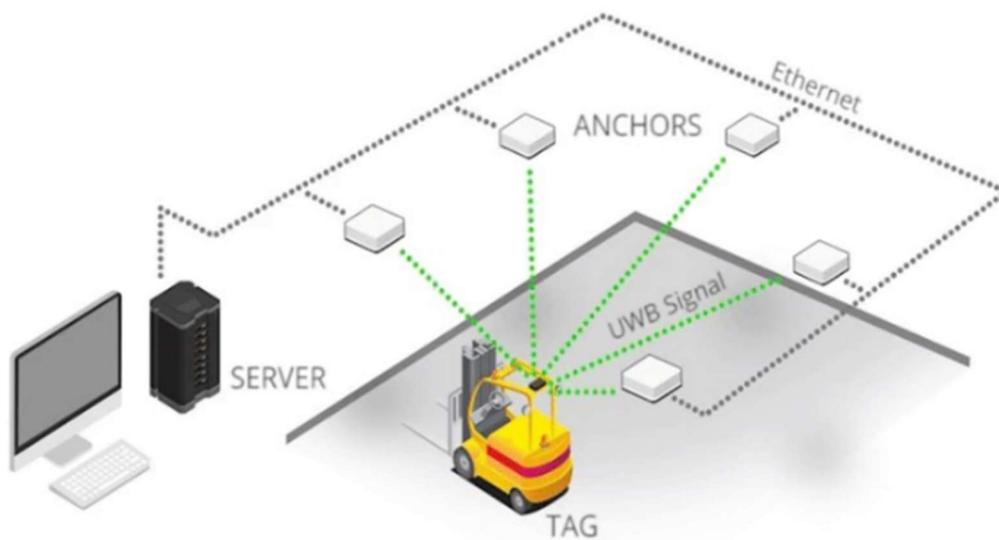


Abbildung 37: Sewio RTLS-TDoA²⁶⁹

Sewio RTLS	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	UWB
Lokalisierungsverfahren	TDoA
Systemarchitektur	Fremdortung
Frequenz	3 bis 7 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	15 bis 50 m
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	vorteilhafte Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	20 bis 30 cm
Einsatzbereich	In- & Outdoor

Tabelle 25: Anforderungsanalyse Sewio RTLS

²⁶⁸ Vgl. URL: <http://www.sewio.net/technology/rtls/> (30.11.2016), PDF 86, S. 1-9

²⁶⁹ URL: <https://www.sewio.net/rtls-tdoa/> (17.09.2017), PDF 88, S.1

5.3.6 Kamerabasierte Systeme

MarLo

Der einwandfreie Betrieb von funkgestützten Ortungssystemen wird in Industriebetrieben durch Verschmutzungen gestört. Flüssigkeiten und Metalle führen zu Signalabschwächungen, Reflektionen oder Mehrwegeausbreitungen. Eine präzise Lokalisierung von Objekten ist in einer solchen Umgebung nur mit hohem Aufwand möglich. In einem solchen Umfeld empfiehlt sich daher die Verwendung von kamerabasierten Ortungssystemen, da diese schmutzunempfindlicher, leistungsfähiger und kostengünstiger sind.²⁷⁰

Ein solches kamerabasiertes System stellt das Markerbasierte Lokale Ortungssystem (MarLo) von Fraunhofer IFF dar. Es handelt sich dabei um ein Ortungssystem, das vor allem für räumlich beschränkte Flächenlager und Freiflächen geeignet ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die feststehende Infrastruktur mit Videosensorik ausgestattet wird. Die Flexibilität des Systems äußert sich dadurch, dass bereits vorhandene Videoinfrastrukturen in das System integriert werden können, sowie die Erweiterung des Systems auf weitere Betriebsmittel durch das Anbringen kostengünstiger optischer Marker schnell und unkompliziert erfolgen kann. Dies führt zu Kosten- und Zeitersparnissen bei der Systeminstallation. Das System eignet sich dadurch für die Lokalisierung einer großen Anzahl an mobilen Betriebsmitteln. Neben der Lokalisierungsfunktion können dank der Videokameras auch andere Lagerfunktionen genutzt werden, wie z.B. das Erstellen einer „Virtuellen Draufsicht“ des überwachten Bereichs. Neben der Objektidentifikation kann somit auch eine Statusüberwachung durchgeführt werden, um den Auslastungsgrad des Lagers zu erfassen oder Gefahrenzonen zu identifizieren. Die optimale Positionierung der Kameras und deren Winkelausrichtung werden mittels Virtual-Reality-Werkzeugen festgelegt.²⁷¹

MarLo kann für die Ortung von Betriebsmitteln, Flurförderzeugen und Waren verwendet werden. Das Objekt wird mittels Codetafel (Fuidicial) geortet. Sie wird gut sichtbar an dem Objekt, z.B. am Dach des Flurförderzeugs angebracht. Da der Standort der aufzeichnenden Kameras bekannt ist, kann laut Hersteller die Position auf bis zu 20 cm und die Ausrichtung des Fahrzeugs auf einen 1° genau bestimmt werden.²⁷² Dem *Lehrstuhl fml* der TU München zufolge wird bei einer Verwendung von 16 Kameras und einer Lagerfläche von 3,200 m² eine Genauigkeit von 25 cm erzielt.²⁷³ Die Position der transportierten Waren wird dabei mit (x,y)-Koordinaten angegeben und anschließend an eine Lagerverwaltungssoftware weitergeleitet und

²⁷⁰ Vgl. URL: <http://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/materialflusstechnik/markerbasierte-lokale-ortung-marlo.html> (12.05.2016) , PDF 27, S.1-2

²⁷¹ Vgl. Schenk, 2015, S.268-270

²⁷² Vgl. URL: <http://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/materialflusstechnik/markerbasierte-lokale-ortung-marlo.html> (12.05.2016) , PDF 27, S.1-2

²⁷³ Vgl. Hohenstein, 2014, S.42

verarbeitet. Um präzisere Daten zu erhalten, kann MarLo mit anderen Ortungssystemen kombiniert und ergänzt werden. Das Ortungssystem wird mit einem Betriebsdatenerfassungssystem (BDE-System) gekoppelt, das die Auftragsannahme und den Auftragsabschluss dokumentiert. Das BDE-System löst die Positionsbestimmung der Waren aus. Zusätzlich zu den Koordinatenangaben bietet das Kamerasystem die Möglichkeit beim Wareneingang und Warenausgang Bilder aufzunehmen und zu speichern. Diese können anschließend vom Kunden oder von den Prozessbeteiligten aufgerufen werden, um den Verlauf der Auftragsabwicklung zu überprüfen.²⁷⁴



Abbildung 38 Markierter Stapler²⁷⁵

MarLo	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	Kamera (sichtbares Licht)
Lokalisierungsverfahren	Bildverarbeitung
Systemarchitektur	Fremdortung
Frequenz	384 THz bis 789 THz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	k.A.(abhängig von Kamera)
Flexibilität	hoch
Skalierbarkeit	vorteilhafte Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	bis zu 25 cm
Einsatzbereich	Indoor

Tabelle 26: Anforderungsanalyse MarLo

²⁷⁴ Vgl. URL: <http://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/materialflusstechnik/markerbasierte-lokale-ortung-marlo.html> (12.05.2016), PDF 27, S.1-2

²⁷⁵ URL: <http://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/materialflusstechnik/markerbasierte-lokale-ortung-marlo.html> (12.05.2016), PDF 27, S.2

Pilot Pro von ZenoTrack

ZenoTrack bietet eine intelligente Logistiklösung namens Pilot Pro zur automatisierten Identifikation und Ortung von Waren mittels Gabelstapler an. Die Position der Ware wird mittels 3D-Koordinaten in Echtzeit ermittelt. Die Lösungen können individuell an die Kundenbedürfnisse angepasst werden, wobei die Integration von Pilot Pro in die bereits vorhandenen Logistiksysteme bzw. Lagerverwaltungssysteme erfolgt. Aufgrund der aufwandsarmen Systeminstallation amortisieren sich die Investitionskosten laut Hersteller meist schon innerhalb eines Jahres. Pilot Pro eignet sich für die unterschiedlichsten Lager, wie z.B. Regal- und Blocklager, Frei- und Hallenlager. Die Größe und Dynamik der Lagerflächen spielt bei der Effizienz des Systems keine tragende Rolle. Da es sich hierbei um ein Staplerleitsystem handelt, ist ein unkomplizierter flexibler Einsatz für unterschiedliche Staplertypen, wie z.B. Front-, Schubmaststapler oder fahrerlose Transportsysteme besonders wichtig.

Bei Pilot Pro handelt es sich um ein kamerabasiertes Ortungssystem mit CCD-Fotosensor, bei dem die Staplernavigation anhand von optischen Markern erfolgt. Man unterscheidet zwischen Feature-Tracking und Marker-Tracking. Während das Feature-Tracking nach dem Computerausprinzip funktioniert und die Orientierung anhand von kontrastreichen Bodenstrukturen, Verschmutzungen oder Reifenspuren erfolgt, müssen beim Marker-Tracking von Menschen lesbare Markierungen an Lagerplätzen- und Lagergängen als Referenzpunkte für die Positionsbestimmung des Staplers angebracht werden. Die Marker können auf dem Boden oder der Wand sowohl aufgeklebt als auch aufgemalt werden. Der Installations- und Kostenaufwand ist daher sehr gering.²⁷⁶ Wird die Staplerflotte jedoch erweitert, so müssen die Gabelstapler mit geeigneten Kameras ausgestattet werden, was mit höheren Kosten verbunden ist.

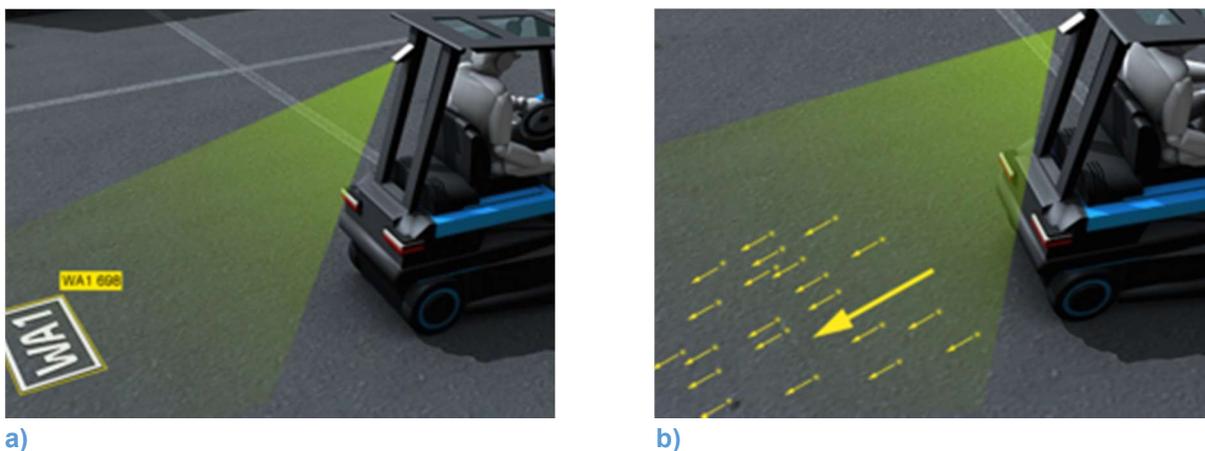


Abbildung 39: a) Marker-Tracking b) Feature-Tracking²⁷⁷

²⁷⁶ Vgl. URL: <http://www.zenotrack.com/index.php?id=48> (30.05.2016) , PDF 28, S.1-2

²⁷⁷ Ebenda, S.1-2

Am Gabelstapler wird eine robuste Standard-Industrie-Kamera angebracht, die Bilddaten sammelt und an die Pilot Pro Software-Suite weiterleitet. Die Kommunikation zwischen Stapler und Software-Suite erfolgt über WLAN. Da es sich um ein RTLS handelt, werden auch bei diesem System die empfangenen Daten in Echtzeit analysiert und die Positionsdaten des Staplers berechnet. Die Berechnung der Staplerposition mit (x,y,z)-Koordinaten kann bis zu 30-mal pro Minute und bis auf wenige Zentimeter genau erfolgen. Durch die Staplerortung können wiederum die transportierten Waren indirekt lokalisiert werden. Die Warenbewegungen können ab der Warenaufnahme zu jedem Zeitpunkt erfasst werden. Das Lagerverwaltungs- und Staplerleitsystem steuert die intelligente Vergabe von Fahraufträgen an die Staplerflotte, sodass das Optimierungspotenzial voll ausgeschöpft werden kann. Der Staplerfahrer wird vom Assistenzprogramm beim Warentransport unterstützt, indem ihm sein optimaler Transportweg in 3D-Ansicht direkt am Bildschirm seines Terminals angezeigt wird.²⁷⁸

Durch das kontinuierliche Tracking der Stapler sind eine wegeffiziente Steuerung von fahrerlosen Transportfahrzeugen und das Vermeiden von Kollisionen möglich. Für die Identifikation und Ortung der Waren ist lediglich eine einmalige Registrierung mittels Scanner beim Wareneingang notwendig.²⁷⁹ Dem *Lehrstuhl fml* der Technischen Universität München zufolge liegt die Lokalisierungsgenauigkeit dieses Systems bei unter 20 cm. Die Genauigkeit verschlechtert sich, wenn die Line-of-Sight (LoS) unterbrochen bzw. der Sichtkontakt zwischen der Kamera und der Markierung gestört wird. Dies kann beispielsweise durch situationsbedingte Abdeckungen oder schlechte Beleuchtungsverhältnisse geschehen. Hinzukommt, dass Bewegungseinflüsse das Identifizieren der Marker verhindern. Um bei Störungen das Objekt trotzdem lokalisieren zu können, bedient sich das System zusätzlich einer relativen Lokalisierungsfunktion. Diese beruht auf dem Optical-Flow-Prinzip einer Computermaus, das das Abschätzen von Bewegungen im 3D-Raum ermöglicht. Das relative Ortungssystem kann jedoch lediglich als Back-up verwendet werden, da es einigen Restriktionen unterliegt. So eignet es sich nur für kurze Fahrten auf geraden Strecken mit geringer Fahrgeschwindigkeit. Die Lokalisierungsgenauigkeit verschlechtert sich auf über 1 m, wenn der Sichtkontakt durch schlechte Lichtverhältnisse oder andere Fahrzeuge gestört wird.²⁸⁰

²⁷⁸ Vgl. URL: http://www.zenotrack.com/fileadmin/Files/1204_Bericht_Dispo_ZenoTrack.pdf, (30.05.2016), PDF 29, S.1-2

²⁷⁹ Vgl. URL : http://www.zenotrack.com/fileadmin/Files/IT_Logistics_Januar_Ausgabe.pdf (30.05.2016), PDF 30, S.1-2

²⁸⁰ Vgl. Hohenstein, 2014, S.40-41

Pilot Pro	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	Kamera (sichtbares Licht)
Lokalisierungsverfahren	Bildverarbeitung
Systemarchitektur	Eigenortung
Frequenz	384 THz bis 789 THz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	k.A. (abhängig von Kamera)
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	bis auf wenige cm genau
Einsatzbereich	In- & Outdoor, mit Fokus auf Indoor-Einsatz

Tabelle 27: Anforderungsanalyse Pilot Pro von Zenotrack

5.3.7 Laserscan

identplus

Das 3D Staplerleitsystem identplus der Identpro GmbH ist eine RTLS-Lösung, die mit dem Industrie Preis 2013 ausgezeichnet wurde und als Finalist für den deutschen Digitalpreis - The Spark 2016 nominiert wurde. Sie dient der Optimierung der Lagerlogistik und wurde entwickelt, um die automatische Lokalisierung von Staplern und Waren zu ermöglichen.²⁸¹

Die Stapler werden mittels Laserscantechnik geortet, wobei ein 2D-Laser eingesetzt wird, der am Stapler angebracht wird. Die Höhe der Gabel wird dabei über einen Höhengsensor erfasst, so dass die Position der transportierten Ware schließlich in 3D-Koordinaten angegeben werden kann.²⁸² Ein großer Vorteil dieses Systems liegt darin, dass weder am Gebäude noch an der Ware Veränderungen vorgenommen werden müssen. Im Vergleich zu anderen Systemen müssen keine Referenzpunkte, wie z.B. Markierungen oder Bodentransponder im Lager angebracht werden. So sind die Kosten für die Systeminstallation verhältnismäßig niedrig, da lediglich der Stapler mit Sensoren und einem Terminal ausgestattet werden muss. Pro Stapler ist laut Hersteller in etwa mit einem halben Tag für die Ausrüstung zu rechnen.²⁸³ Das System ist dank der geringen Witterungsabhängigkeit und der hohen Ortungspräzision sowohl für den Indoor-, als auch für den Outdoor-Bereich geeignet. Gestört wird das System jedoch durch spiegelnde Oberflächen.²⁸⁴

²⁸¹ URL: <http://www.handelsblatt.com/adv/digitalatscale/spark-finalist-ist-das-der-heilige-gral-der-intralogistik/13865516.html> (15.08.2016), PDF 67, S. 2-4

²⁸² Vgl. Experteninterview IdentPro, Drolshagen, 2017

²⁸³ URL: <http://www.handelsblatt.com/adv/digitalatscale/spark-finalist-ist-das-der-heilige-gral-der-intralogistik/13865516.html> (15.08.2016), PDF 67, S. 2-4

²⁸⁴ Vgl. Experteninterview IdentPro, Drolshagen, 2017

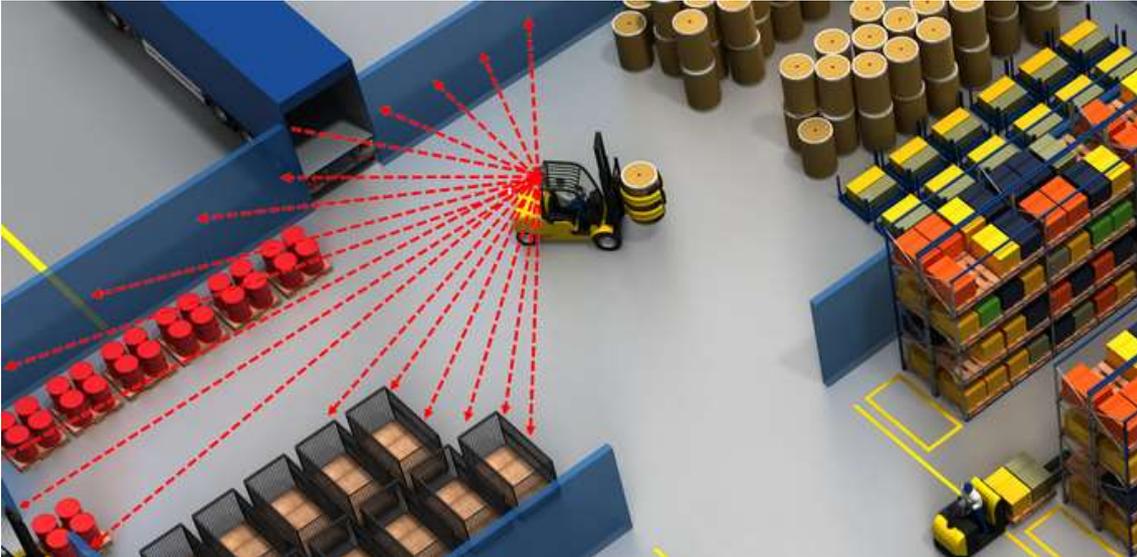


Abbildung 40: Automatisierter Warenfluss durch Lasertechnologie ²⁸⁵

Der 2D-Laser auf dem Staplerdach weist dem Stapler (x,y)-Koordinaten zu, ohne dabei künstliche Referenzpunkte zu benötigen. Die Reichweite beträgt ca. 80 m. Bis auf 10 cm genau kann die Positionierung in Hallen und Außenbereichen angegeben werden. Die Location Engine ist dezentral angeordnet, d.h. sie ist auf dem Gabelstapler angebracht und ist für die Positionsbestimmung von diesem zuständig. Für die Lokalisierung des Staplers werden Punktwolken ausgewertet. ²⁸⁶ Veränderungen des Geländes und andere bewegte Stapler werden durch intelligente Algorithmen wahrgenommen. Eine einmalige Registrierung der Ladungen reicht aus, um eine spätere automatische Lokalisierung durch die zugewiesenen 3D-Koordinaten (x,y,z) zu gewährleisten. Die Registrierung kann manuell oder vollautomatisch z.B. durch Abfrage eines Produktionssystems erfolgen. Da die Fahrer nicht mehr selbst scannen müssen, wird Zeit gespart, und es kommt zu keinen Fehlern mehr aufgrund von falschen oder „vergessenen“ Scans.

Dank der robusten Sensoren, die am Stapler angebracht werden, kann mit den entwickelten Algorithmen von identplus erkannt werden, wann genau eine Ware aufgenommen bzw. abgesetzt wird. Bei Absetzen der Ware wird die aktuelle Position (x,y) des Staplers und die Höhe der Gabel oder Klammer (z) registriert und der entsprechenden Ladungs-ID-Nummer zugeordnet. Zusammen mit der ID-Nummer werden die Koordinaten der abgestellten Ware in einer Datenbank gespeichert. Auf Wunsch werden diese Daten an ein IT-System wie SAP, LVS oder ERP weitergegeben, wo die Ladung auf dem aktuellen Stellplatz gebucht wird. Die Kommunikation erfolgt via WLAN. Die Aufnahme der Ware erfolgt auf ähnliche Weise. Identplus navigiert den Stapler direkt zu der Ware. Sobald der Stapler eine Ware aufnimmt, wird anhand der (x,y,z)-Koordinaten festgestellt, um welche Ware es sich handelt. Die Ladungs-ID-Nummer, der diese Koordinaten entsprechen, ermöglicht die automatische Identifizierung der Ware ohne Scanvorgang.

²⁸⁵ URL: <http://motorzeitung.de/news.php?newsid=335600> (01.12.2016), PDF 76, S.1

²⁸⁶ Vgl. Experteninterview Drolshagen, IdentPro, 2017

Beim identplus SLS kann auch die genaue Position von verschiedenen Paletten erkannt werden, wenn diese über-, neben- oder hintereinander auf dem Stapler transportiert werden. Es ist ebenfalls möglich, eine einzelne Palette abzusetzen, falls diese sich am Gabelende befindet. Die restlichen Paletten können anschließend weitertransportiert werden. Dabei werden stets jeder Palette die entsprechenden neuen 3D-Koordinaten zugeordnet. Jede Bewegung wird im LVS gespeichert; somit geht auch beim Freiräumen, Umräumen, Ein- und Umlagern keine Ware verloren. Auch frei herumstehende Paletten können stets lokalisiert werden. ²⁸⁷

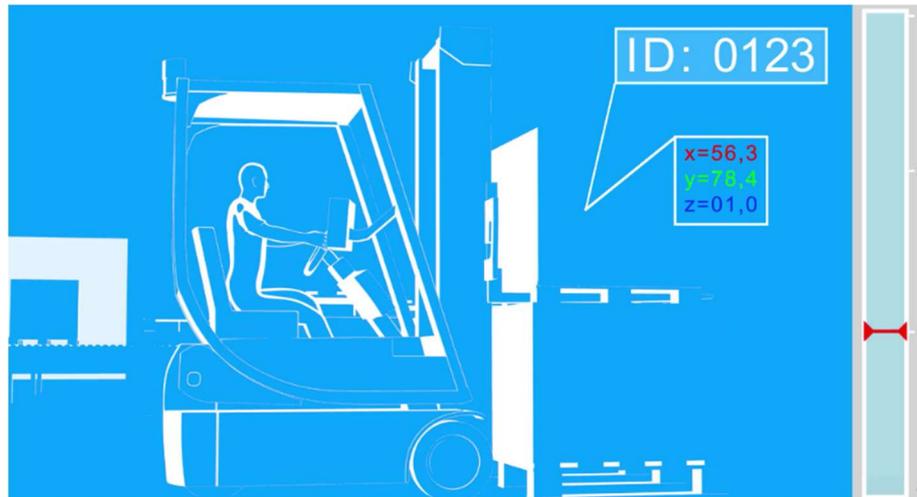


Abbildung 41: Verknüpfung von Koordinaten und ID-Nummer bei Absetzen der Ladung ²⁸⁸

identplus	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	Laserscan
Lokalisierungsverfahren	optische Laufzeitmessung (Punktwolke)
Systemarchitektur	Eigenortung
Frequenz	300 GHz bis 385 THz ²⁸⁹
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	ca. 80 m
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	bis zu 10 cm
Einsatzbereich	In- & Outdoor

Tabelle 28: Anforderungsanalyse identplus

Sky-Trax System

Das Staplerleitsystem Sky-Trax von TotalTrax Inc. verwendet ebenfalls die Laserscantechnologie zur Echtzeitverfolgung von Gabelstaplern. Dabei werden jedoch 2D-Codetafeln an der Hallendecke in einem Abstand von etwa 2 m voneinander angebracht. Die genaue Position der Markierungen wird in einer Datenbank

²⁸⁷ Vgl. URL: <http://identplus.net/> (31.05.2016), PDF 48, S. 2-5

²⁸⁸ URL: <http://identplus.net/video-staplerleitsystem/> (01.12.2016), Video

²⁸⁹ Vgl. URL: <http://indoor-ortung.de/technik/uebertragungstechnologien/> (14.12.2016), PDF 47, S.3

abgespeichert. Nach Erfassen der Markierungen durch den Laserscanner werden zur Positionsbestimmung des Staplers die gesammelten Informationen mit der Datenbank abgeglichen.²⁹⁰ Es wird sowohl die Lage des Staplers als auch die relative Position der Codetafel im Lesebereich erfasst, sodass eine kontinuierliche Staplerortung möglich ist. Über einen Höhensensor an der Staplergabel wird die z-Koordinate der transportierten Ware erfasst.²⁹¹ Die Ortungsgenauigkeit liegt bei 2 bis 30 cm.²⁹²

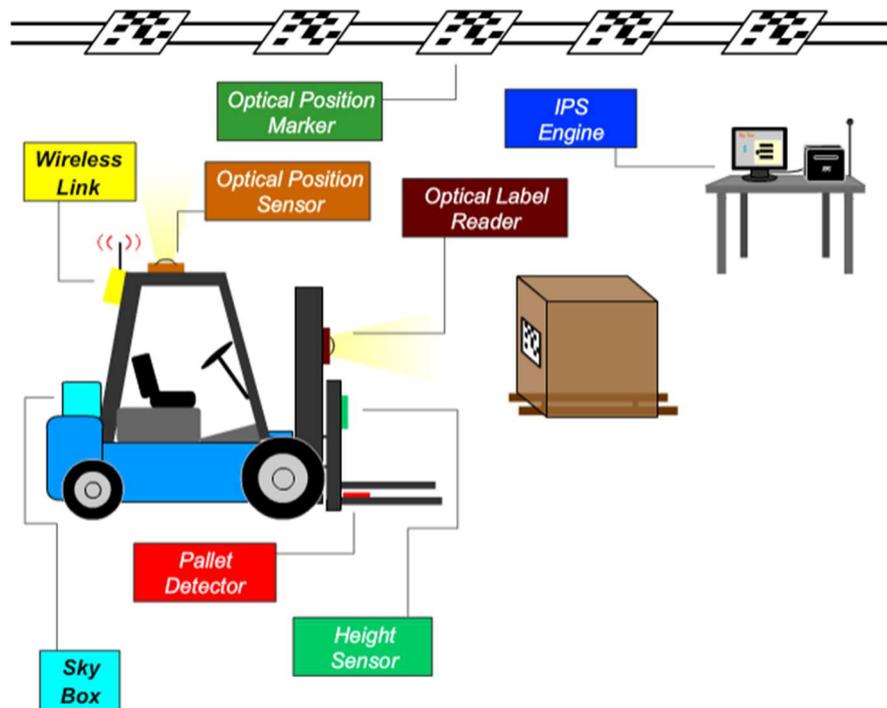


Abbildung 42: Sky-Trax System²⁹³

Sky-Trax	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	Laserscan
Lokalisierungsverfahren	optische Laufzeitmessung
Systemarchitektur	indirekte Fremdortung
Frequenz	300 GHz bis 385 THz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	k.A.
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	2 bis 30 cm
Einsatzbereich	Indoor

Tabelle 29: Anforderungsanalyse Sky-Trax

²⁹⁰ Vgl. URL: <http://www.totaltraxinc.com/smart-forklift-solutions/the-sky-trax-system/> (15.08.2016), PDF 68, S.1

²⁹¹ Vgl. Hohenstein, 2014, S.40

²⁹² Vgl. Möhlmann, 2012, S. 10

²⁹³ URL: <http://www.baxtek.com/products/skytrax/index.php> (28.11.2016), PDF 82, S. 2

5.3.8 Ultraschall

LogTrek

LogTrek ist ein Staplerleitsystem, das Flurförderzeuge mittels Ultraschall ortet. Es werden Frequenzen zwischen 3.5 GHz und 6.5 GHz verwendet, die dem Standard IEEE 802.15.4-2011 UWB entsprechen.²⁹⁴ Die Montage der batteriebetriebenen Lastsensoren an den Gabeln, der Ortungssensoren an den Staplerdächern und der Sendeboxen mittels Neodym-Magneten an wichtigen Referenzpunkten im Gebäude (z.B. Kreuzungspunkten, Einfahrten zu Regalgassen, Hallentoren) kann laut Hersteller an nur einem Tag erfolgen. Es sind keine technischen Änderungen an den Fahrzeugen vorzunehmen. Es kommt somit zu keiner Unterbrechung der laufenden Prozesse. Die Ortung der Gabelstapler erfolgt über Sendeboxen mit einer Reichweite von bis zu 15 m. Das System ist sowohl für den Indoor-, als auch für den Outdoor-Bereich geeignet. Bis zu 10 m breite Zonen können abgedeckt werden. Die Ortungsgenauigkeit liegt bei ± 10 cm. Diese Technologie ist auch für komplizierte Layouts und verwinkelte Lagerbereiche geeignet. Die Lasten und Wege, die die Gabelstapler bewältigen, können dank der Echtzeitlokalisierung laufend analysiert werden. Leerfahrten und Lastzeiten werden in den einzelnen Bereichen aufgezeigt. Optimierungspotenziale werden so klar sichtbar. Die bereits vorhandenen IT-Systeme des Unternehmens werden durch die Sensoren nicht beeinflusst, und es kommt zu keinen Interferenzen mit WLAN. Logistische Abläufe können dank des Systems besser gestaltet und die Staplerflotte an den Bedarf angepasst werden. Laut Hersteller weist das System außerdem hohe Sicherheitsstandards auf und sichert gegen unbefugten Zugang zu den gespeicherten Daten und gegen Manipulation während der Analyse ab.²⁹⁵

LogTrek	
Technische Parameter der Staplerortung	
Ortungstechnologie	Ultraschall
Lokalisierungsverfahren	akustische Laufzeitmessung
Systemarchitektur	indirekte Fremdortung
Frequenz	3.5 bis 6.5 GHz
Kundenrelevante Kriterien	
Reichweite	Bis zu 15 m
Flexibilität	mittel
Skalierbarkeit	nachteilige Kostenverteilung
Ortungsgenauigkeit	bis zu 10 cm
Einsatzbereich	In- und Outdoor

Tabelle 30: Anforderungsanalyse LogTrek

²⁹⁴ Vgl. URL : <http://www.logtrek.de/logtrek-rtls/> (25.08.2016), PDF 73, S.1

²⁹⁵ Vgl. URL: <http://www.logtrek.de/auslastungs-und-wegeanalyse/> (31.05.2016), PDF 34, S.1-2

6 Ergebnisse der Anforderungsanalyse

Im Folgenden werden die zuvor gesammelten technischen Parameter und kundenrelevanten Kriterien der einzelnen Lokalisierungssysteme gegenübergestellt und analysiert.

Ergebnisse der Analyse der technischen Parameter

Die folgende Tabelle bietet einen Überblick über die technischen Parameter der berücksichtigten Lokalisierungssysteme.

RTLS	Technologie	Verfahren	Systemarchitektur	Frequenz
AbsLPR	UWB	Eignes Laufzeitverfahren	EO	5.8 GHz
AbsSAT	Satellit	RTof	EO	1.6 GHz
Aero	WLAN+RFID	RSSI oder TDoA	HO	2.4 GHz/125 kHz
Dart	UWB	TDoA	FO	5.94 bis 7.12 GHz
Eka	WLAN+IR	RSSI	HO	2.4 GHz/38 kHz
Ident	Laser	optische Laufzeitmessung	EO	300 GHz bis 385 THz
In-BLE client	BLE	RSSI	EO	2.4 GHz
In-BLE server	BLE	RSSI	FO	2.4 GHz
In-UWB	UWB	RTof	EO	3.7 bis 4.2 GHz
JH-BLE	BLE	RSSI	EO	2.4 GHz
JH-SN	RFID	k.A.	EO	125 kHz
KIO	UWB	ToA	FO	3.1 bis 4.8 GHz
Log	Ultraschall	akustische Laufzeitmessung	Indirekte FO	3.5 bis 6.5 GHz
MarLo	Kamera	Bildverarbeitung	FO	384 bis 789 THz
Onyx	BLE	RSSI	EO	2.4 GHz
Sewio	UWB	TDoA	FO	3 bis 7 GHz
Sky	Laser	optische Laufzeitmessung	indirekte FO	300 GHz bis 385 THz
Solcon	RFID	TDoA	EO	868 MHz
Solconia	UWB	TDoA	FO	3.1 bis 5 GHz
Track	RFID	k.A.	EO	125 kHz
Ubi	UWB	TDoA oder AoA	FO	5.8 bis 7.2 GHz
Where	RFID	TDoA	FO	2.4 GHz
Zeno	Kamera	Bildverarbeitung	EO	384 bis 789 THz

Tabelle 31: Vergleich der technischen Parameter aktueller RTLS

Ergebnisse der Analyse der kundenrelevanten Bewertungskriterien

Die kundenrelevanten Parameter der berücksichtigten Lokalisierungssysteme werden in der folgenden Tabelle bewertet und gegenübergestellt:

RTLS	max. Genauigkeit	max. Reichweite	Flexibilität	Skalierbarkeit	Einsatzbereich
AbsLPR	●	●	●	●	In- & Outdoor
AbsSAT	●	●	●	●	Outdoor
Aero	●	●	●	●	In- & Outdoor
Dart	●	●	●	●	In- & Outdoor
Eka	●	k.A.	●	●	Fokus Indoor
Ident	●	●	●	●	In- & Outdoor
In-BLE client	●	●	●	●	Fokus Indoor
In-BLE server	●	●	●	●	Fokus Indoor
In-UWB	●	●	●	●	Fokus Indoor
JH-BLE	●	●	●	●	Indoor
JH-SN	●	●	●	●	Fokus Indoor
KIO	●	●	●	●	In- & Outdoor
Log	●	●	●	●	In- & Outdoor
MarLo	●	k.A.	●	●	Indoor
Onyx	●	●	●	●	Indoor
Sewio	●	●	●	●	In- & Outdoor
Sky	●	k.A.	●	●	Indoor
Solcon	●	●	●	●	Fokus Indoor
Solconia	●	k.A.	●	●	Indoor
Track	●	●	●	●	Fokus Indoor
Ubi	●	●	●	●	In- & Outdoor
Where	●	●	●	●	Fokus Indoor
Zeno	●	k.A.	●	●	Fokus Indoor

Legende:

Genauigkeit		Reichweite		Flexibilität		Skalierbarkeit	
●	$x \leq 10$ cm	●	$x \geq 100$ m	●	hoch	●	vorteilige KV
●	$10 \text{ cm} < x \leq 40$ cm	●	$40 \text{ m} \leq x < 100$ m	●	mittel	●	nachteilige KV
●	$40 \text{ cm} < x \leq 100$ cm	●	$10 \text{ m} \leq x < 40$ m	●	gering		
●	$x > 100$ cm	●	$0 \text{ m} \leq x < 10$ m				

Tabelle 32: Vergleich der kundenrelevanten Parameter aktueller RTLS

6.1 Lokalisierungsverfahren und Frequenz

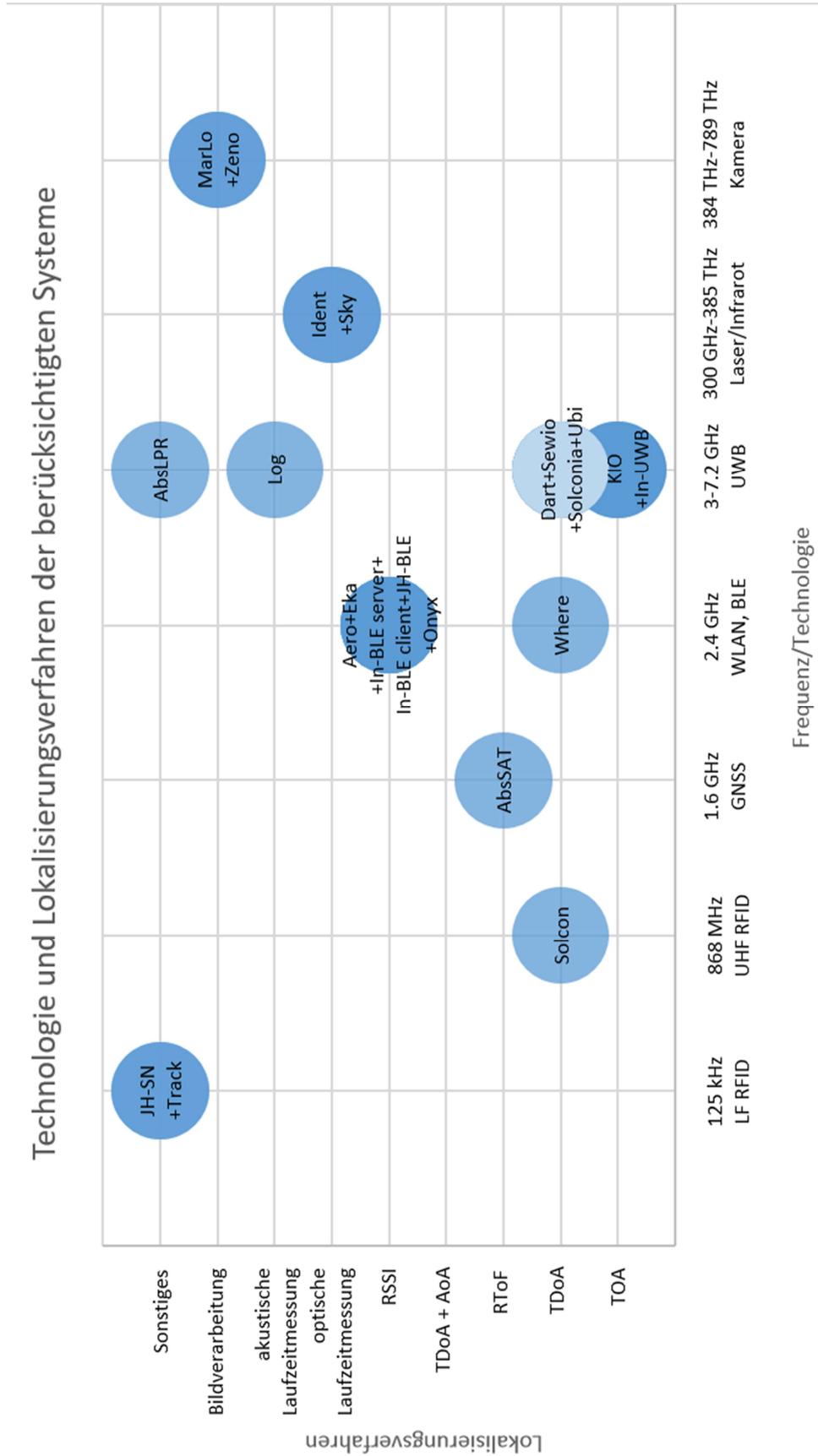


Abbildung 43: Technologie und Lokalisierungsverfahren der berücksichtigten Systeme

Bei den untersuchten Ortungssystemen handelt es sich zum größten Teil um UWB-Systeme (über 30% der berücksichtigten Systeme). Diese Systeme verwenden für die Positionsberechnung unterschiedliche Signallaufzeitverfahren (z.B. ToA, TDoA oder RTof). Dabei ist eine Präferenz hinsichtlich des TDoA-Verfahrens zu beobachten (bei 4 von 7 UWB-Anbietern). Ubisense bietet zusätzlich die Möglichkeit, die Position des Lokalisierungsobjekts über das Winkelberechnungsverfahren (AoA) zu bestimmen. Des Weiteren ist zu beobachten, dass das Absolute Positioning LPR-2D System von Symeo, im Vergleich zu den anderen UWB-Systemen, ein eigens patentiertes Laufzeitlokalisierungsverfahren für die Positionsbestimmung verwendet.

Die funkbasierten UWB-Systeme arbeiten in einem Frequenzbereich von 3 bis 7.2 GHz, wobei bei fast allen Anbietern die Frequenz aus einem vorgegebenen Frequenzbereich gewählt werden kann. Dadurch können eventuelle Interferenzen mit anderen Funksignalen innerhalb des Unternehmens vermieden werden. Bis auf das Absolute Positioning LPR-2D System von Symeo, welches stets mit einer Frequenz von 5.8 GHz arbeitet, bieten alle anderen UWB-Anbieter einen mehr oder weniger großen Frequenzbereich zur Auswahl an.

Eine weitere beliebte Ortungsmöglichkeit für Gabelstapler stellen RFID-Bodentransponder dar. Diese werden in den Boden eingelassen und von robusten RFID-Antennen, die an der Unterseite der Gabelstapler angebracht sind, gelesen. Rund 18% der berücksichtigten Systeme verwenden diese Ortungstechnologie. Die Positionsbestimmung erfolgt dabei i.d.R. über das TDoA-Verfahren. Während die Systeme von Jungheinrich, Solcon und Indyon passive RFID-Transponder zur Ortung einsetzen, werden beim WhereNet-System von Zebra Solutions aktive RFID-Transponder in den Boden eingelassen. Passive Transponder haben im Vergleich zu aktiven Transpondern den Vorteil, dass sie keine eigene Energieversorgung benötigen. Jedoch führt dies auch zu einer wesentlich geringeren Reichweite der Transponder. Bei Jungheinrich und Indyon handelt es sich um passive NF-Transponder, die mit einer Frequenz von 125 kHz arbeiten. Solcon wiederum verwendet passive UHF-Transponder mit einer Frequenz von 868 MHz ein. Im Vergleich zu NF-Transpondern weisen UHF-Transponder eine größere Reichweite und Lesegeschwindigkeit auf. Bei der Lokalisierung mittels RFID-Bodentranspondern können anstatt von passiven Transpondern aber auch aktive Transponder eingesetzt werden, wie es etwa beim WhereNet-System von Zebra Solutions der Fall ist. Die Ortungssignale werden dabei mit einer Frequenz von 2.4 GHz gesendet. Da dies das übliche ISM-Frequenzband von WLAN-Netzwerken ist, könnte es dadurch zu ungewollten Interferenzen zwischen dem Ortungssystem und dem WLAN-Netzwerk des Unternehmens kommen.

26% der in dieser Studie berücksichtigten Systeme senden und empfangen die Ortungssignale im ISM-Frequenzband von 2.4 GHz. Es handelt sich dabei um WLAN- und BLE-Systeme. Für die Lokalisierung wird ausschließlich das Signalstärkeverfahren (RSSI) verwendet. Bei den WLAN-Systemen von AeroScout und Ekahau handelt es sich um hybride Ortungssysteme, da sie jeweils eine

zusätzliche Sensortechnologie verwenden, um eine höhere Lokalisierungsgenauigkeit zu erreichen und den Anforderungen in der Intralogistik gerecht zu werden. Während AeroScout neben WLAN auch die RFID-Technologie (Sendefrequenz der Tags 125 kHz) einsetzt, werden bei Ekahau zusätzlich zu den WLAN-Access Points auch Infrarot-Beacons im Gebäude installiert. Letztere senden IR-Signale mit einer Frequenz von 38 kHz aus.

Neben den funkbasierten Lokalisierungssystemen findet man auch optische und akustische Lokalisierungssysteme am aktuellen RTLS-Markt. Bei den optischen Ortungssystemen wird zwischen kamerabasierten Systemen (MarLo, Zenotrack) und zeitbasierten Laserscan-Systemen (identplus, Sky-Trax) unterschieden. Während bei den Kamerasystemen die Positionsbestimmung über eine bildverarbeitende Software erfolgt, wird beim Laserscan die Laufzeit der optischen IR-Signale gemessen. Bei den optischen Systemen wird mit sehr hohen Frequenzen von 300 GHz bis 789 THz gearbeitet. Akustische Ortungssysteme, wie z.B. das Ultraschallsysteme LogTrek stellen auf dem Markt für Gabelstaplerortungssysteme noch eine Seltenheit dar. Der verwendete Frequenzbereich liegt bei diesem System zwischen 3.5 und 6.5 GHz.

6.2 Lokalisierungsgenauigkeit, Reichweite, Einsatzbereich

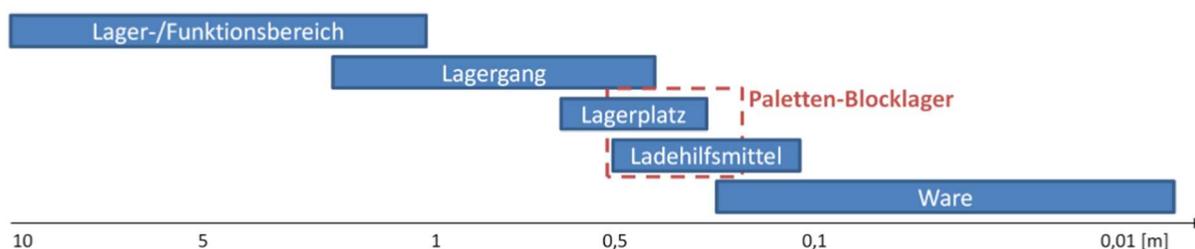


Abbildung 44: Erforderliche Lokalisierungsgenauigkeiten für die indirekte Warenortung durch die direkte Ortung des Gabelstaplers ²⁹⁶

Die Lokalisierungsgenauigkeit der einzelnen Ortungssysteme bestimmt für welche Anwendungsfälle die Systeme geeignet sind. Falls die Waren einem bestimmten Lager- bzw. Funktionsbereich zugeordnet werden sollen, reicht eine Lokalisierungsgenauigkeit von 1 bis 10 m aus. Ab einer Lokalisierungsgenauigkeit von unter 3 m ist wiederum die Bestimmung des Lagergangs möglich. ²⁹⁷ Für die Positionsbestimmung von Paletten ist eine Lokalisierungsgenauigkeit zwischen 50 und 30 cm erforderlich. Der genaue Lagerplatz bzw. das Lagerhilfsmittel können dabei identifiziert werden. Für die indirekte Warenortung ist eine noch höhere Lokalisierungsgenauigkeit notwendig. Sie sollte jedenfalls unter 40 cm liegen. ²⁹⁸

²⁹⁶ Hohenstein, 2012, S.12

²⁹⁷ Vgl. ebenda, S.12

²⁹⁸ Vgl. Schenk, 2015, S.264

Genauigkeit, Frequenz und Einsatzbereich

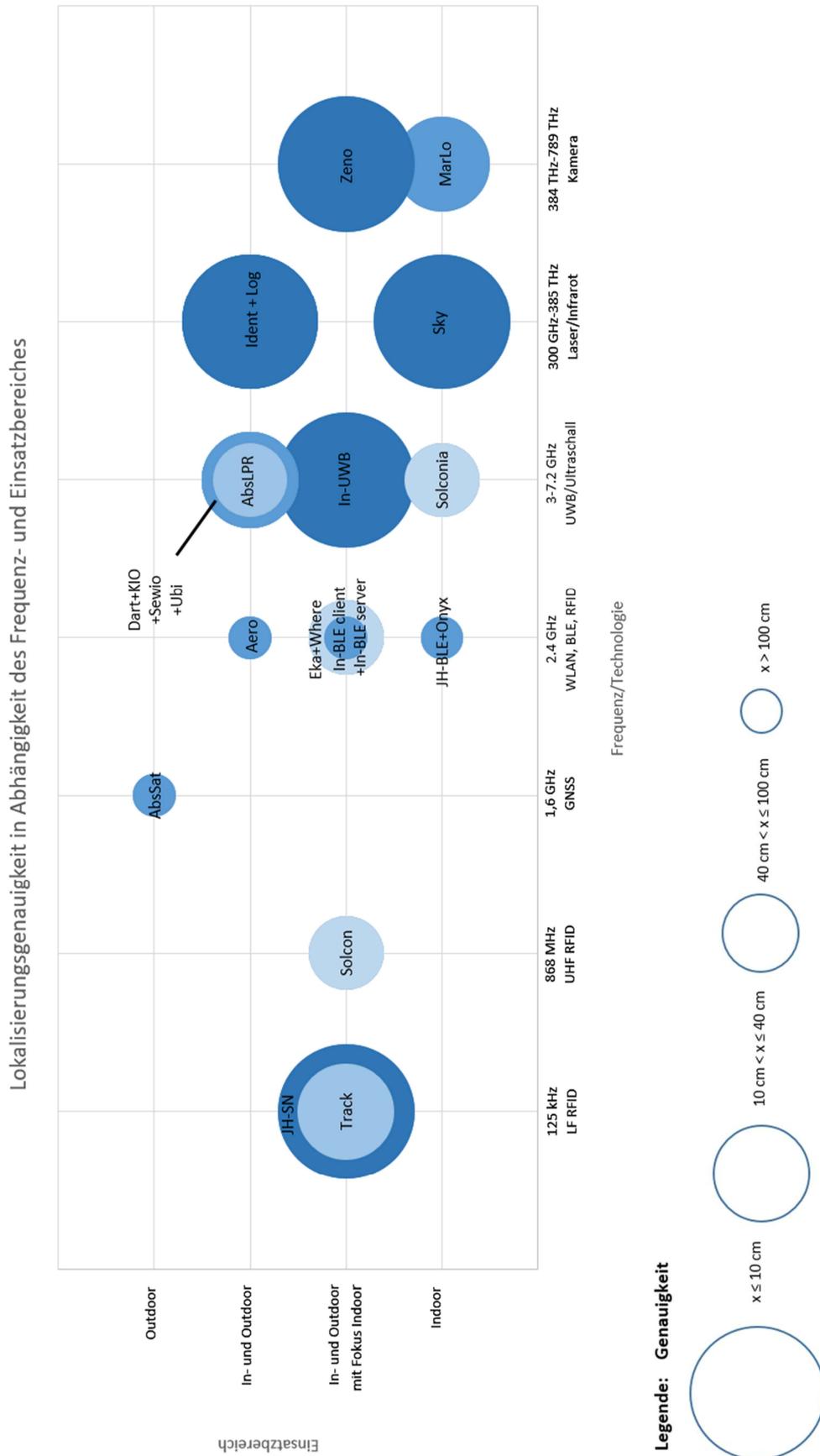


Abbildung 45: Lokalisierungsgenauigkeit in Abhängigkeit des Frequenz- und Einsatzbereiches

52% der in dieser Studie berücksichtigten Systeme (12 Systeme) eignen sich für eine indirekte Warenortung über den Gabelstapler (Ortungsgenauigkeit unter 40 cm), wobei 6 Systeme eine Ortung auf mehr als 10 cm genau ermöglichen. Zu diesen zählen neben den Laserscansystemen identplus und Sky-Trax, auch das RFID-System Jungheinrich Schmalgangnavigation, das Kamerasystem Pilot Pro von Zenotrack, das UWB-System von infsoft sowie das Ultraschall-System LogTrek. Dies lässt den Schluss zu, dass mit unterschiedlichen Technologien eine hochpräzise Ortung möglich ist. Grundsätzlich ist zu beobachten, dass Systeme im höheren Frequenzbereich, d.h. über 2.4 GHz, die höchsten Ortungsgenauigkeiten erreichen.

Eine Palettenortung ist mit 61% der berücksichtigten Systeme möglich. Neben den soeben aufgezählten Systemen, bei denen die Ortungsgenauigkeit bei unter 40 cm liegt, kommen nun auch die RFID-Bodentranspondersysteme von Solcon und Indyon sowie das UWB-System von Symeo hinzu, da sie eine Lokalisierung auf bis zu 50 cm genau ermöglichen.

Die restlichen RTLS sind weniger für eine indirekte Warenortung als für das Erkennen von Lagerbereichen und Lagergängen geeignet, da ihre Genauigkeit zwischen 1 und 5 m liegt. Es ist zu beobachten, dass sich in dieser Kategorie alle Systeme befinden, die ihre Ortungssignale im Frequenzbereich von 2.4 GHz senden. Es handelt sich dabei um die WLAN-basierten hybriden Ortungssysteme von AeroScout und Ekahau, den Bluetooth-Systeme von Jungheinrich, infsoft und Onyx sowie dem RFID-System WhereNet. Doch auch das Satellitensystem Absolute Positioning SAT-D kann mittels D-GPS eine Ortungsgenauigkeit von maximal 1.5 m erreichen. Um eine höhere Lokalisierungsgenauigkeit zu erzielen, verwenden AeroScout und Ekahau neben WLAN-Tags für die Grobortung (Ortungsgenauigkeit 3 bis 5 m) jeweils eine zusätzliche Sensortechnologie, um eine Genauigkeit von etwa 1 m zu erzielen. Während das Visibility System von AeroScout mit Tags arbeitet, die neben den WLAN-Signalen auch LF-RFID-Signale empfangen können, werden bei Ekahau neben den WLAN-Signalen auch Infrarot-Signale von Beacons empfangen, die an wichtigen Stellen im Gebäude angebracht werden. Die Bluetooth-Ortungssysteme weisen die schlechteste Ortungsgenauigkeit auf und sind daher weniger für eine Warenstromanalyse als für das Erkennen von Lagerbereichen geeignet. Während die infsoft-Beacons immerhin eine Genauigkeit von etwa 2-3 m erreichen, liegt die Ortungsgenauigkeit der Onyx-Beacons bei nur 5 m. Auch das 2017 am Markt erschienene Ortungssystem von Jungheinrich, das auf der awiloc-Technologie des Fraunhofer Instituts beruht, ermöglicht nur eine Ortung auf bis zu wenigen Metern genau. Aufgrund der erreichbaren Lokalisierungsgenauigkeit von über 1 m sind WLAN- und BLE-Systeme daher eher dafür geeignet zu signalisieren, wann der Gabelstapler sich in einem gekennzeichneten Lagerbereich/Lagergang befindet. Für eine anschließende Waren- oder Palettenortung könnte, wie dies bereits bei AeroScout und Ekahau der Fall ist, eine weitere Sensortechnologie für die Feinortung eingesetzt werden (z.B. RFID, IR, UWB).

Ein weiteres wichtiges Anforderungskriterium bei der Wahl eines geeigneten RTLS ist für den Kunden der Einsatzbereich des Systems. Auf dem Betriebsgelände wird zwischen dem Indoor- und Outdoor-Bereich unterschieden. 22% der berücksichtigten Systeme sind nur für den Indoor-Bereich konzipiert. Ein Zusammenhang zwischen dem Einsatzbereich und der maximalen Lokalisierungsgenauigkeit ist nicht zu beobachten. Das Indoor-Laserscansystem Sky-Trax weist beispielsweise die höchste Genauigkeit aller berücksichtigten RTLS auf (bis zu 2 cm genau), während die Indoor-Bluetooth-Systeme von Onyx und Jungheinrich die niedrigsten Genauigkeiten aufweisen. Bis auf das Satellitensystem von Symeo, welches nur im Outdoor-Bereich eingesetzt wird, sind alle anderen RTLS sowohl für den Indoor- als auch für den Outdoor-Bereich geeignet.

Bei den meisten Systemen, die in beiden Bereichen einsetzbar sind, liegt der Fokus auf dem Einsatz im Indoor-Bereich. Dies lässt sich durch mehrere Faktoren erklären. Einerseits ist das Anbringen von Referenzpunkten im Hallenbereich leichter möglich als unter freiem Himmel, auch für das Umgebungsabtasten mittels Laser ist es von Vorteil, wenn die IR-Signale von Wänden reflektiert werden. Andererseits sind die Systeme im Gebäude weniger Störeinflüssen wie Temperaturschwankungen, Witterung und Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Die RTLS arbeiten daher im Indoor-Bereich meist zuverlässiger als im Outdoor-Bereich. Da in der Intralogistik jedoch auch das Öffnen Freilager zu führen sind, sollten die RTLS, die im Outdoor-Bereich eingesetzt werden, so gestaltet werden, dass sie möglichst unempfindlich gegen Störeinflüsse wie Nässe, Verschmutzung und Lichteinfall sind.

Reichweite und Genauigkeit

Betrachtet man die Ergebnisse der Anforderungsanalyse (siehe Tabelle 32), so erkennt man, dass die Technologie ausschlaggebend für die maximale Reichweite der RTLS ist. Während passive RFID-Transponder nur eine sehr geringe Reichweite von wenigen Metern vorweisen können (z.B. Track + Race LS, Solcon Bodentransponder) und die Positionsbestimmung erst bei Überfahren des Bodentransponders durch den Gabelstapler erfolgt, können die Signale der aktiven RFID-Transponder des WhereNet Systems von Zebra große Distanzen überbrücken. Im Indoor-Bereich liegt die maximale Reichweite der aktiven Tags bei 150 m und im Outdoor-Bereich sogar bei 800 m. Des Weiteren können alle UWB-Systeme sowie das BLE-System von Onyx mit einer hohen bis sehr hohen Reichweite punkten.

Anhand der Tabelle 32 erkennt man, dass eine hohe Reichweite nicht zwangsmäßig mit einer hohen Lokalisierungsgenauigkeit einhergeht. So bietet etwa nur die Hälfte aller Systeme mit einer Reichweite von über 40 m, auch die Möglichkeit Waren indirekt zu orten (Lokalisierungsgenauigkeit von unter 40 cm). Die Bluetooth-Systeme von Jungheinrich und Onyx weisen beispielsweise eine sehr hohe Reichweite auf, erreichen aber nur eine sehr geringe Lokalisierungsgenauigkeit von 3 bzw. 5 m. Sie eignen sich daher nur für die Bestimmung des Lagerganges. Im Gegensatz dazu, können die kamerabasierten Systeme MarLo und Pilot Pro von Zenotrack optische

Marker nur auf kurze Distanzen lesen, sie erreichen dafür aber eine hohe bis sehr hohe Lokalisierungsgenauigkeit. Die meisten RTLS-Systeme mit einer geringen bis mittleren Reichweite ermöglichen eine Ortung des Gabelstaplers auf 10 bzw. 50 cm genau (Jungheinrich Schmalgangnavigation, LogTrek, Solcon Bodentransponder, Track + Race LS). Nur bei den insoft-Beacons geht eine mittlere Reichweite (35 m) auch mit einer geringeren Genauigkeit (2 bzw. 3 m) einher.

6.3 Flexibilität, Skalierbarkeit und Systemarchitektur

Flexibilität und Systemarchitektur

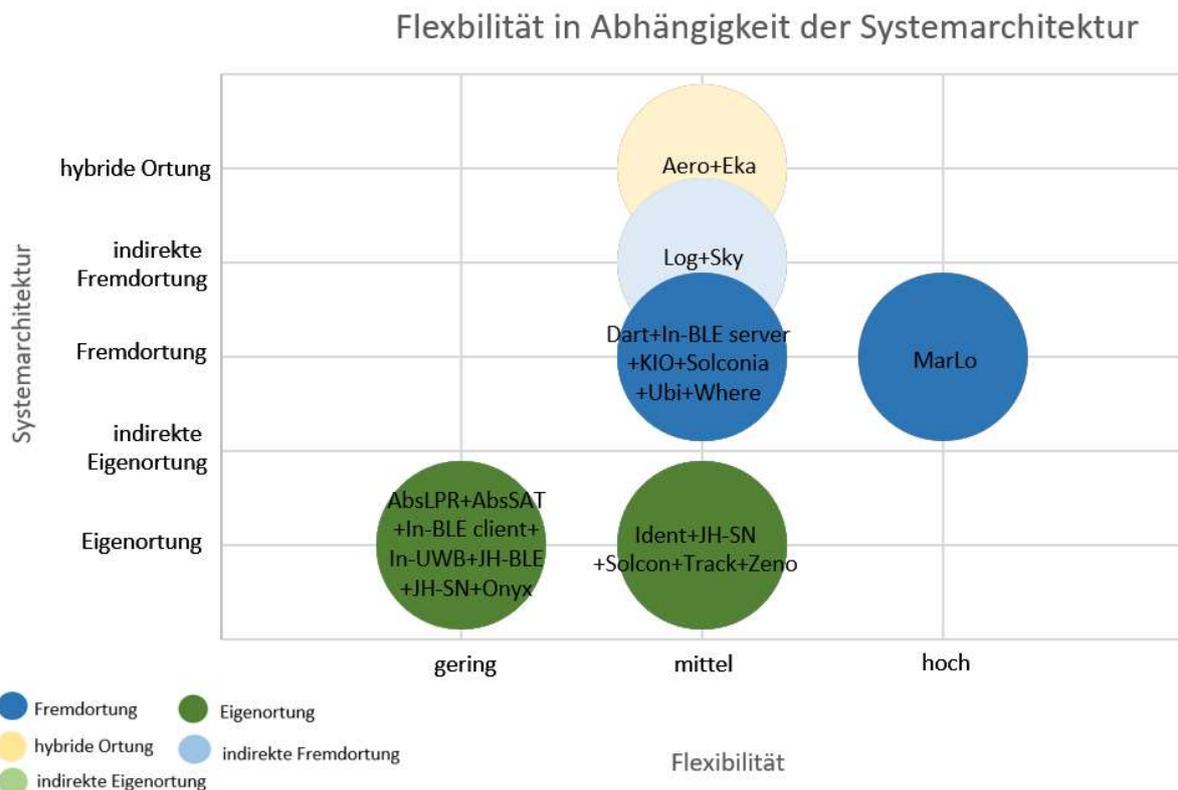


Abbildung 46: Flexibilität der RTLS in Abhängigkeit der Systemarchitektur

Bei 39% der in dieser Studie berücksichtigten RTLS handelt es sich um Systeme der Fremdortung und indirekten Fremdortung, wobei diese sich vor allem durch ein mittleres Flexibilitätsniveau auszeichnen. Dies erklärt sich dadurch, dass bei der Fremdortung und indirekten Fremdortung die Location Engine zentral angeordnet ist, und die Gabelstapler mit aktiven Location Tags oder Sensoren ausgestattet werden. Wird die Anzahl an Gabelstapler im Lager erhöht, müssen somit aktive Tags oder Sensoren angeschafft werden, welche im Vergleich zu passiven Tags oder Markern mehr Platz beanspruchen, mit Energie versorgt werden müssen und somit einen höheren Installationsaufwand verursachen. Einzig das kamerabasierte Fremdortungssystem MarLo ist dank der passiven Marker am Gabelstaplerdach besonders flexibel.

52% der berücksichtigten RTLS sind Systeme der Eigenortung. Tatsächlich ist keines dieser Systeme ein System der indirekten Eigenortung. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei der indirekten Eigenortung der Location Sensor in der Infrastruktur angebracht wird, der Tag und die Location Engine jedoch auf dem Lokalisierungsobjekt. Somit entsteht zur Positionsbestimmung ein höherer Kommunikationsaufwand zwischen Sensor und Engine, da die Daten vom Sensor zurück an den Tag und von diesem schließlich an die Engine weitergeleitet werden müssen.

Anhand der Grafik (Abbildung 46) kann man einen direkten Zusammenhang zwischen der Flexibilität und der Systemarchitektur der Systeme erkennen. In dieser Studie handelt es sich bei den unflexibelsten Systemen stets um Systeme der Eigenortung. Von den Systemen der Eigenortung weisen 58% ein geringes bzw. 42% ein mittleres Flexibilitätsniveau auf. Dies lässt sich dadurch erklären, dass ein aktiver Tag in der Infrastruktur angebracht werden muss, und der Location Sensor sowie die Location Engine sich am Gabelstapler befinden. Dies ist beispielsweise der Fall bei den BLE-Systemen von Jungheinrich und Onyx, bei denen das am Gabelstapler angebrachte Smartphone gleichzeitig als Sensor und Engine dient. Bei den übrigen Systemen der Eigenortung lässt sich die mittlere Flexibilität dadurch erklären, dass der Location Sensor oder ein aktiver Tag am Gabelstapler installiert wird. Zu solchen Systemen zählen beispielsweise die passiven Bodentranspondersysteme von Jungheinrich, Indyon und Solcon, sowie das kamerabasierte Ortungssystem von Zenotrack. Bei Letzterem helfen optische Marker in der Infrastruktur bei der Orientierung auf dem Betriebsgelände. Auch das Laserscansystem identplus, welches mit einem 2D-Lasersensor auf dem Staplerdach arbeitet, weist eine mittlere Flexibilität auf.

Skalierbarkeit und Systemarchitektur

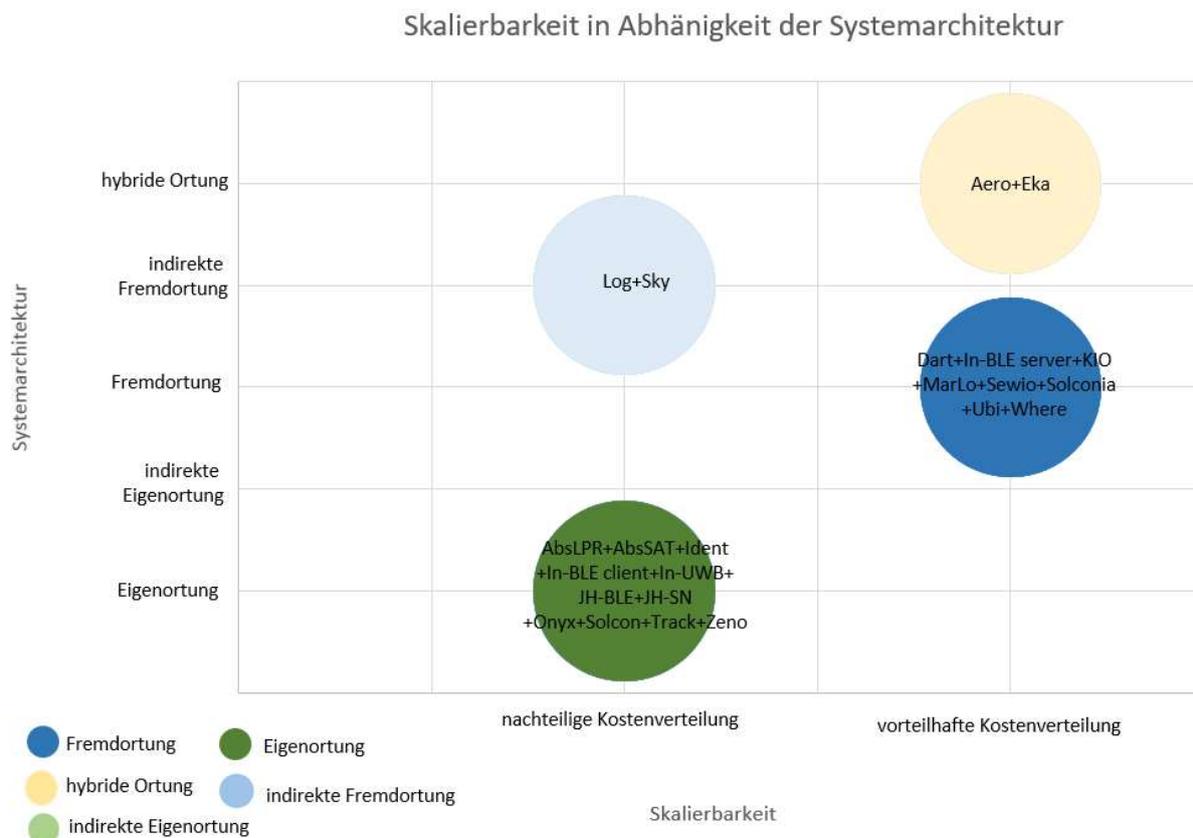


Abbildung 47: Skalierbarkeit in Abhängigkeit der Systemarchitektur

Um die Skalierbarkeit der RTLS bewerten zu können, ist die Identifikation der Kostentreiber notwendig. In dieser Studie weisen 43% aller berücksichtigten Systeme eine vorteilhafte und 57% eine nachteilige Kostenstruktur auf. Betrachtet man die Graphik, so erkennt man, dass alle RTLS, die eine vorteilhafte Kostenstruktur aufweisen, Systeme der Fremdortung oder der hybriden Ortung (AeroScout und Ekahau) sind. Der Grund hierfür liegt darin, dass bei der Fremdortung und der hybriden Ortung das Lokalisierungsobjekt mit einem Location Tag ausgerüstet wird. Ein Location Tag ist wesentlich kostengünstiger als ein Location Sensor. Dies ist von Vorteil, wenn man beispielsweise die Gabelstaplerflotte um ein weiteres Fahrzeug erweitern möchte. Mit steigender Anzahl an parallel zu ortenden Objekten sollte daher auf ein System der Fremdortung zurückgegriffen werden.

Bei den schlechter skalierbaren Systemen handelt es sich einerseits um Systeme der Eigenortung. In dieser Kategorie findet man unterschiedliche Ortungstechnologien wieder, wie z.B. RFID, BLE, Laserscan, Kamera oder UWB. Andererseits sind die Systeme der indirekten Fremdortung LogTrek (Ultraschallsystem) und Sky-Trax (Laserscansystem) ebenfalls durch eine schlechte Skalierbarkeit gekennzeichnet.

Auffallend bei der durchgeführten Studie ist, dass es sich bei Systemen mit einer geringen Flexibilität immer um Systeme der Eigenortung handelt, die gleichzeitig auch durch eine nachteilige Kostenverteilung gekennzeichnet sind.

6.4 Fazit der Anforderungsanalyse

Diese Studie soll einen Querschnitt des aktuellen Marktes für Echtzeitlokalisierungssysteme darstellen. Die meisten der in dieser Studie berücksichtigten RTLS basieren auf der UWB-Technologie, die in einem Frequenzbereich von 3 bis 7.2 GHz arbeitet. Je nach Anbieter kann aus einem mehr oder weniger großen Frequenzbereich gewählt werden. Neben der UWB-Technologie erfreut sich auch die RFID-Technologie großer Beliebtheit, wobei zwischen aktiven und passiven Bodentranspondern (NF- oder UHF-Transponder) gewählt werden kann. Dem Vorteil des geringeren Energieverbrauchs der passiven Transponder steht der Nachteil der damit verbundenen geringeren Reichweite gegenüber. Da sowohl RFID-, als auch UWB-Systeme als Lokalisierungsverfahren das TDoA-Verfahren einsetzen, stellt dieses Verfahren, das am Häufigsten eingesetzte Verfahren in dieser Studie dar. Die Ortung über WLAN-Tags oder BLE-Beacons erfolgt stets über das ISM-Frequenzband von 2.4 GHz. Anders als bei funkbasierten Systemen werden bei optischen Ortungssystemen Kameras oder Laser eingesetzt. Akustische Ortungssysteme (Ultraschall) stellen derzeit noch eine Seltenheit am Markt dar (z.B. LogTrek).

Die durchgeführte Studie zeigt, dass 61% der berücksichtigten Systeme die Positionsbestimmung von Paletten (Lokalisierungsgenauigkeit unter 50 cm) und 48% der Systeme sogar eine zeitnahe Verfolgung von Warenströmen (Lokalisierungsgenauigkeit unter 40 cm) ermöglichen. Eine indirekte Warenverfolgung kann mit unterschiedlichen Lokalisierungstechnologien erreicht werden. Tendenziell scheint eine hohe Frequenz (über 2.4 GHz) mit einer hohen Lokalisierungsgenauigkeit einherzugehen. WLAN- und BLE-Systeme eignen sich aufgrund der geringeren Lokalisierungsgenauigkeit nicht für eine indirekte Warenortung über den Gabelstapler, sondern eher für das Erkennen von Lagerbereichen und Lagergängen. Um die Genauigkeit dieser Systeme zu erhöhen, könnte man, wie auch schon von AeroScout und Ekahau durchgeführt, eine hybride Systemarchitektur schaffen, wobei eine weitere Sensortechnologie (z.B. Infrarot, UWB, RFID) für die Feinortung eingesetzt wird.

74% der berücksichtigten Systeme sind sowohl für den In-, als auch Outdoor-Bereich geeignet, während 22% der Systeme nur für den Indoor-Bereich entwickelt worden sind. Der Einsatz im Outdoor-Bereich stellt sich dabei oft problematischer heraus als der Einsatz im Indoor-Bereich, da die Systeme dort mehr Störeinflüssen wie Nässe, Verschmutzung und Lichteinfall ausgesetzt sind. Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Einsatzbereich und der Ortungsgenauigkeit kann jedoch nicht festgestellt werden.

Die durchgeführte Anforderungsanalyse zeigt außerdem, dass die Wahl der Ortungstechnologie die maximale Reichweite der Transponder beeinflusst. Während RFID-Bodentransponder (z.B. von Jungheinrich, Solcon oder Indyon) eine Reichweite von unter 8 m aufweisen, so sind vor allem Satelliten-, WLAN-, UWB-, und

Lasersysteme durch eine hohe Reichweite gekennzeichnet. In der Regel geht eine große Reichweite auch mit einer höheren Lokalisierungsgenauigkeit einher. Knapp über der Hälfte der RTLS, die eine Reichweite von über 40 m aufweisen, sind auch für eine Palettenortung (Genauigkeit unter 50 cm) geeignet. Es gibt jedoch auch Systeme, die zwar eine hohe Reichweite vorweisen, dafür aber nur eine geringe Lokalisierungsgenauigkeit erreichen und somit nicht für eine Palettenortung oder indirekte Warenortung geeignet sind. Zu diesen Systemen zählen etwa die Bluetooth-Systeme von Jungheinrich (Genauigkeit bis zu 3 m) und Onyx (Genauigkeit bis zu 5 m), sowie das Satellitensystem von Symeo und die Systeme von AeroScout und Zebra. Im Gegensatz zu diesen Systemen punkten wiederum die RFID-Bodentransponder von Jungheinrich und das Ultraschallsystem LogTrek mit einer sehr hohen Genauigkeit, trotz geringer Reichweite.

Diese Studie lässt außerdem einen Zusammenhang zwischen der Systemarchitektur und der Flexibilität eines Systems erkennen. Systeme der Fremdortung und indirekten Fremdortung sind i.d.R. durch ein mittleres Flexibilitätsniveau gekennzeichnet, da bei einer Erweiterung der Gabelstaplerflotte zusätzliche aktive Location Tags oder Sensoren installiert werden müssen. Das Fremdortungssystem MarLo weist als einziges System in dieser Studie - dank der passiven Marker am Gabelstaplerdach - ein hohes Flexibilitätsniveau auf. Eine Erweiterung der Staplerflotte kann bei MarLo dadurch ohne großen Installationsaufwand erfolgen. Systeme der Eigenortung sind meist durch ein geringes oder mittleres Flexibilitätsniveau gekennzeichnet, da bei dieser Systemarchitektur der Gabelstapler mit einem Location Sensor oder einem aktiven Tag ausgestattet wird. Es muss somit mit einem höheren Installationsaufwand gerechnet werden.

Hinsichtlich der Skalierbarkeit der RTLS ist zu erkennen, dass die Systemarchitektur die Skalierbarkeit maßgeblich beeinflusst. Zu den Systemen mit einer vorteilhaften Kostenverteilung zählen die Systeme der Fremdortung und hybriden Ortung, da bei diesen Systemen die Gabelstapler mit Location Tags ausgestattet sind und somit eine nachträgliche Erweiterung der Staplerflotte kostengünstiger ausfällt, als bei den Systemen der Eigenortung und indirekten Fremdortung. Bei Letzteren müssen die Stapler nämlich mit den kostenintensiveren Location Sensoren ausgestattet werden.

7 Schlusswort

Bei der Umsetzung des Konzepts „Industrie 4.0“ erhoffen sich Logistikverantwortliche mit Hilfe von Echtzeitlokalisierungssystemen eine zeitnahe Verfolgung von Warenströmen auf dem Betriebsgelände. Die vollkommene Transparenz und zunehmende Automatisierung der Logistikprozesse steht dabei im Vordergrund. Mit Hilfe von Cyber-Physischen Systemen werden die Logistikräume intelligent gestaltet und optimiert, sodass die Ortung, Identifikation und Zustandsüberwachung von Objekten zu jedem Zeitpunkt möglich ist. Aufgrund der Komplexität der Prozesse und des damit verbundenen erhöhten Kommunikationsaufwandes steigt auch die ausgetauschte Datenmenge an (sog. Big Data). Um die Umsetzung des „Internet der Dinge“ voranzutreiben werden heutzutage vermehrt Auto-ID-Systeme eingesetzt, die den Warenfluss direkt mit dem Informationsfluss koppeln. In der Intralogistik spielen dabei vor allem optische Verfahren (z.B. Barcodes) und RFID-Verfahren eine wichtige Rolle. Sie unterscheiden sich hinsichtlich zahlreicher Anforderungskriterien, wie z.B. Datenkapazität, Lesbarkeit durch Personen, Störanfälligkeit und Möglichkeit der Pulkerfassung.

Um eine Warenortung in der Intralogistik zu ermöglichen, können die Module des Ortungssystems entweder an der Ware selbst (direkte Warenortung) oder am Transportträger (indirekte Warenortung) angebracht werden. Die indirekte Warenortung über den Gabelstapler bietet viele zusätzliche Vorteile, wie z.B. die Reduzierung von Leerfahrten, die Wegoptimierung sowie die Vermeidung von Verschwendungen. Um den Industrie-4.0-Standard zu erreichen, wird der Gabelstapler mit künstlicher Intelligenz ausgestattet, sodass er die Logistikprozesse autonom steuern und organisieren kann.

In der Intralogistik wird im Indoor- und Outdoor-Bereich heutzutage auf funkbasierte (RFID, WLAN, BLE oder UWB), aber auch auf optische (Laserscan, Kameras) und akustische Verfahren (Ultraschall) gesetzt. Vor allem UWB- und RFID-Ortungssysteme sind sehr stark am aktuellen Logistikmarkt vertreten. Im Outdoor-Bereich kann des Weiteren eine Staplerortung mittels GPS erfolgen, wobei die Ortungsgenauigkeit mittels Differential-GPS verbessert werden kann. Zu Signalabschattungen kann es bei GPS-Systemen beispielsweise kommen, wenn der Stapler vom Außenbereich in ein Gebäude fährt oder er sich in einem hohen Blocklager fortbewegt. In solchen Fällen bieten sich kombinierte Systeme an, die neben Satellitensignalen auch andere Signale empfangen können (z.B. kombiniertes LPR-2D/D-GPS Ortungssystem von Symeo). Auch bei Indoor-Ortungssystemen werden immer häufiger neue Technologien intelligent kombiniert um sich der Vision einer autonomen und gleichzeitig transparenten Lagerhalle anzunähern. Eine Kombination von WLAN-Signalen mit Infrarot- bzw. RFID-Signalen wird beispielsweise von den RTLS-Anbietern Ekahau und AeroScout angeboten um eine bessere Ortungsgenauigkeit zu erreichen. Der kombinierte und vernetzte Einsatz

unterschiedlicher Ortungstechnologien könnte auch für viele andere RTLS-Anbieter neue Möglichkeiten eröffnen.

Die meisten Staplerortungssysteme erfordern das Anbringen von Referenzpunkten in regelmäßigen Abständen auf dem Betriebsgelände. Das sorgfältige Vermessen dieser Referenzpunkte ist für die Ortungsgenauigkeit ausschlaggebend, da die Position des Staplers relativ zum Referenzpunkt angegeben wird. Da das Umfeld im Lager oft sehr rau ist, und die Transponder unterschiedlichen äußeren Störeinflüssen ausgesetzt sind, sollten diese so gut wie möglich gegen diese Störungen geschützt werden. Bei RFID-Ortungssystemen ist dies beispielsweise durch das Einlassen der Transpondern im Boden möglich.

Doch nur eine präzise und wiederholgenaue Positionsbestimmung des Staplers reicht nicht aus, um eine Warenstromanalyse in der Intralogistik durchführen zu können. Dafür sind eine eindeutige Identifikation der transportierten Ware sowie eine Verknüpfung der Position der Ware mit der des Staplers notwendig. Die Identifikation der Ware erfolgt vorzugsweise mit Auto-ID-Systemen wie Barcodes, RFID-Tags oder Etiketten mit OCR-Schrift. Der volle Nutzen eines Staplerortungssystems ergibt sich erst, wenn die Warenstromanalyse automatisch erfolgen kann, dh. Ein-, Um- und Auslagerungen dank moderner Identifikations- und Lokalisierungssysteme automatisch erfasst werden können.

Echtzeitlokalisierungssysteme unterscheiden sich hinsichtlich ihrer technischen Parameter und kundenrelevanten Fähigkeiten. Mit manchen dieser Systeme kann eine stellplatzgenaue Verfolgung bzw. das Dokumentieren und Melden der Warenbewegungen auf dem Betriebsgelände erfolgen. In einem Palettenlager ist die Bestimmung des genauen Lagerplatzes bzw. des Lagerhilfsmittels möglich, wenn die Genauigkeit des Ortungssystems zwischen 50 und 30 cm liegt. Bei einer Ortungsgenauigkeit unter 40 cm ist auch eine indirekte Warenortung möglich. Vor allem Systeme, die mit Frequenzen über 2.4 GHz arbeiten sind für eine solche Warenortung geeignet. Andere RTLS, wie z.B. BLE- und WLAN-Systeme, können wiederum nur für die Staplerortung und aufgrund der schlechteren Ortungsgenauigkeit nicht für eine indirekte Warenortung eingesetzt werden. Mit diesen Systemen kann die Ware nur einem Lagerbereich oder Lagergang zugeordnet werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Anforderungsanalyse liefert eine bisher nicht dagewesene Transparenz auf dem aktuellen RTLS-Markt. Logistikverantwortliche erhalten einen Überblick hinsichtlich der für sie relevanten Systemeigenschaften und -fähigkeiten. In Abhängigkeit von den unternehmensspezifischen Einsatzbedingungen wird somit die Wahl für das am besten geeignete Staplerortungssystem erleichtert.

8 Expertengespräche

Gesprächsleitfaden:

1. Name des Staplerortungssystems
2. Welche Technologie wird zur Lokalisierung des Objekts verwendet?
 - Satelliten (GPS)
 - Radiofrequenz (RFID)
 - Ultraweitband (UWB)
 - WLAN
 - Bluetooth
 - Kamera
 - Laserscan
 - Ultraschall
 - Andere
3. Wo wird der Transponder/Laserscanner angebracht?
 - am Gabelstapler
 - an einem Referenzpunkt in der Infrastruktur
4. Wo befindet sich der Server (Location Engine) zur Auswertung der Messdaten und Berechnung der Position des Lokalisierungsobjekts?
 - Die Location Engine ist zentral angeordnet. Sie ist für die Auswertung der Messdaten zahlreicher Gabelstapler zuständig.
 - Die Location Engine ist dezentral angeordnet, d.h. sie ist auf dem Gabelstapler angebracht und ist für die Positionsbestimmung von nur diesem einem Gabelstapler zuständig.
5. In welchem Frequenzbereich arbeitet das Ortungssystem? Angabe z.B. in Hz
6. Mit welchem Lokalisierungsverfahren wird die Position des Objekts berechnet?
 - Cell-of-Origin-Verfahren (CoO)
 - Winkelberechnungsverfahren (Angle of Arrival)
 - Signallaufzeitverfahren
 - Time of Arrival (ToA)
 - Time Difference of Arrival (TDoA)
 - Roundtrip time-of-flight (RToF)
 - Signalstärkeverfahren
 - Receive Signal Strength Indicator (RSSI)
 - Andere:
7. Wie groß ist die maximale Reichweite des Transponders/Laserscanners?
Angabe in m

8. Wie wird die Position der vom Gabelstapler transportierten Ware angegeben?

- 2D
- 3D

9. Welche Ortungsgenauigkeit kann erreicht werden? Angabe in m

10. Für welchen Einsatzbereich ist Ihr Lokalisierungssystem primär konzipiert?

- Indoor (z.B. Lagerhalle)
- Outdoor (z.B. Freilager)
- Indoor & Outdoor gleichermaßen
- Indoor & Outdoor mit Fokus auf Indoor
- Indoor & Outdoor mit Fokus auf Outdoor

11. Gegenüber welchen äußeren Störeinflüssen ist Ihre System anfällig?

- Hitze
- Feuchtigkeit
- Elektromagnetische Störungen
- Akustische Störungen
- Lichtverschmutzung
- Schmutz, Abdeckung
- Metallische Oberflächen
- Andere
- Keinen

Durchgeführte Experteninterviews

Unternehmen	Person	Funktion	Art	Datum
IdentPro GmbH	Hr. Drolshagen Paul	Leiter der Unternehmens- kommunikation	Email	12.06.2017
insoft GmbH	Hr. Winkler Thomas	Product Management & HR	Telefonat	12.06.2017
Symeo GmbH	Hr. Zinkl Fabian	International Sales Manager	Telefonat	19.06.2017
Fraunhofer- Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Bereich Lokalisierung Vernetzung	Fr. Loidl Karin	Technology Advisor 5G/IIoT/Industrie 4.0/Cognitive Sensors	Email	01.08.2017

9 Literaturverzeichnis

Die verwendeten Internetquellen sind unter dem Unterpunkt **Internetquellen** gesondert angegeben.

Bai Y.B., Wu S., Wu H., Zhang K.:
Overview of RFID-Based Indoor Positioning Technology
Review Paper- Geospatial Science Research_2, RMIT University, 2012

Beetz J.:
E=mc²: Physik für Höhlenmenschen
Springer-Verlag, 2014

Bienert R., Kovács N., Oehlmann H., Schmidt E., Schuermann J., Walk E.:
RFID-Standardisierung im Überblick
Beuth Verlag, 1. Auflage 2012

Bolle, Malchow, Wagenknecht:
Indoor-Ortung
Referat im Fach ONTD – TM13 – WS13/14
Technische Hochschule Wildau (FH)

Borrmann A., König M., Koch C., Beetz J.:
Building Information Modeling : Technologische Grundlagen und industrielle Praxis
Springer Verlag, 2015

Bräkling E., Lux J., Oidtmann K.:
Logistikmanagement: Mit Logistik-Power schnell, schlank und fehlerfrei liefern
Springer Verlag, 2014

Deak G., Curran K., Condell J.:
A survey of active and passive indoor localisation systems
Computer Communications (Peer Reviewed Journal), 2012

Decker M. :
Modellierung ortsabhängiger Zugriffskontrolle für mobile Geschäftsprozesse
KIT Scientific Publishing, 2011

Disha A.:
A Comparative Analysis on indoor positioning Techniques and Systems
International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 3, Issue 2,
March -April 2013, pp.1790-1796

Dünkler R.:

Industrie 4.0: Drahtlose Kommunikation, Lokalisierung und RFID als Basistechnologie
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Nürnberg
Vortrag auf der Veranstaltung "Industrie 4.0 meets IT-Sicherheit" der Industrie und
Handelskammern in Nordbayern am 09.07.2015 in Coburg

Ehrlich I.:

Indoor Localization

Vortrag Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Wirtschaftsinformatik,
2006

Ehrnböck M.:

Die Technologie der Radio Frequency Identification: Anwendung der RFID in der
Unternehmenslogistik, Diplomica Verlag, 2014

Elkhouly E.A.:

UWB Precise Indoor Localization System Performance, Limitations and its Integration
Doctoral Dissertation, University of Tennessee, Knoxville, 2014

Fiabelkorn R., Handrich J., Kerger B.:

Referat zum Thema Indoor-Ortung

TH-Wildau, Studiengang: Telematik TM15, Kurs: Ortung und Navigation in
Telematikdiensten, 2015

Finkenzeller K.:

RFID- Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern,
kontaktlosen Chipkarten und NFC

Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 7. Auflage, 2015

Gädeke T.:

Präzise und skalierbare Lokalisierung in drahtlosen ad-hoc Netzwerken

Tredition GmbH, 1. Auflage, Hamburg, 2014

Geiger F.:

System zur wissensbasierten Maschinenbelegungsplanung auf Basis
produktspezifischer Auftragsdaten

Band 311 von Forschungsberichte IWB

Herbert Utz Verlag, 2016

Gessler R., Krause T.:

Wireless-Netzwerke für den Nahbereich: Eingebettete Funkssysteme: Vergleich von
standardisierten und proprietären Verfahren

Springer-Verlag, 2. Auflage, 2015

Goswami S.:
Indoor Location Technologies
Springer Verlag, New York, 2013

Grote K.-H., Feldhusen J.:
Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau
Springer Verlag, 24. Auflage, 2014

Günthner W., ten Hompel M.:
Internet der Dinge in der Intralogistik
Springer Verlag, 2010

Großmann U.:
Innovative mobile Technologien und Anwendungen
Band 6 von Markt, Kommunikation, Innovation
LIT Verlag Münster, 2009

Heinrich M.:
Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von
Systemen der Intralogistik
Springer Vieweg, 9. Auflage, 2014

Hohenstein F.:
Vortrag - Vielfältigkeit der Lokalisierung von Flurförderzeugen in der Intralogistik
Fachforum „Neue Technologien in der Intralogistik“, Logimat 2011

Hohenstein F., Günthner W.A.:
Anforderungen und Fähigkeiten gegenwärtiger Stapler – Lokalisierung
9. Hamburger Staplertagung, 19. Juni 2012

Hristov H.:
Wireless Sensor Networks for Wearable Devices
Bachelorarbeit Technische Universität München, Fachgebiet Verteilte Multimodale
Informationsverarbeitung, 2010

Jacob M.:
Management und Informationstechnik: Eine kompakte Darstellung
Springer Verlag, 2012

Jedamzik S.:
Optimierungspotenziale durch RFID: Fallbeispiel – Umsetzung einer RFID-gestützten
Arzneimittel-Supply-Chain
Disserta Verlag, 2014

Karimi H. A.:

Indoor wayfinding and navigation
Boca Raton. CRC Press, 2015

Klaus P., Krieger W., Krupp M.:

Gabler Lexikon Logistik, Management logistischer Netzwerke und Flüsse
Springer-Verlag, 5. Auflage, Wiesbaden, 2012

Köppe E.:

Lokalisierung sich bewogender Objekte innerhalb und außerhalb von Gebäuden
Dissertation Freie Universität Berlin, 2014

Lee P.:

Approximative Indoor-Lokalisierung von RFID-Transpondern
Diplomarbeit Technische Universität Dortmund, Fachbereich Informatik, 2008

Löhle S.:

Smarte Produktkennzeichnung von Elektro- und Elektronikgeräten mittels RFID für ein
gezieltes Stoffstrom- und Informationsmanagement. Nutzenpotenziale für und
Implementierung in die Entsorgungswirtschaft
Kassel University Press GmbH, 2013

Luoh L.:

ZigBee-based intelligent indoor positioning system soft computing
Soft Computing, März 2014, Volume Nr. 18, 3. Ausgabe, S. 443–456

Mautz R.:

Indoor Positioning Technologies
Habilitationsschrift ETH Zürich, 2012

Mautz R., Tilch S.:

Survey of optical indoor positioning systems
IPIN, 2011

Menz M.:

RFID-basierte Positionsbestimmung
Studienarbeit an der Humboldt Universität zu Berlin, Institut für Informatik, Lehrstuhl
für Rechnerorganisation und Kommunikation, 2005

Möhlmann S.:

Visuelle Positionsbestimmung auf mobilen Endgeräten
Bachelorarbeit an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fakultät
für Technik und Informatik, 2012

Novrianto R.:

Methoden zur Lokalisierung von drahtlosen Endgeräten

Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik,
2012

Örün I.:

RFID im Supply Chain Food Management: Analyse und Anwendungsszenarien

Diplomica Verlag, Hamburg, 2012

Retscher G., Kistenich M.:

Vergleich von Systemen zur Positionsbestimmung und Navigation in Gebäuden

Zfv, 131 Jahrgang, 1. Heft, 2006

Röhrig C.:

Lokalisierungsverfahren für drahtlose Sensornetzwerke

Eprint, In: Wireless Communication and Information, VWH-Verlag, 2009, S. 81-97

Röhrig C., Lategahn J., Müller M., Kolibius R.:

Anwendung von Real Time Locating Systems (RTLS) in der Sicherheitstechnik –
Verfahren und Technologien von Bluetooth Low Energy (BLE) bis Ultra Wide Band
(UWB)

Preprint für Tagungsband Innosecure 2015

Schelewsky M., Jonuschat H., Bock B., Stephan K.:

Smartphones unterstützen die Mobilitätsforschung: Neue Einblicke in das
Mobilitätsverhalten durch Wege-Tracking

Springer-Verlag, 2014

Schenk M.:

Produktion und Logistik mit Zukunft- Digital Engineering and Operation

Springer Verlag, 2015

Schill A, Springer T.:

Verteilte Systeme: Grundlagen und Basistechnologien

Springer-Verlag, 2. Auflage, 2012

Schmidt M.:

Positionsbestimmung in Gebäuden

Proseminar Technische Informatik Freie Universität Berlin, Januar 2010

Schulte C.:

Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain

Vahlen Verlag, 7. Auflage, 2016

Skoog D.A., Leary J.L.:
Instrumentelle Analytik: Grundlagen - Geräte – Anwendungen
Springer-Verlag, 2013

Spur G.:
Handbuch Fügen, Handhaben und Montieren
Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2013

Strassner M.:
RFID im Supply Chain Management: Auswirkungen und Handlungsempfehlungen am
Beispiel der Automobilindustrie
Springer Verlag, 2015

Sucky E., Asdecker B., Dobhan A., Haas S., Wiese J.:
Logistikmanagement- Herausforderungen, Chancen und Lösungen, Band 2
University of Bamberg Press, 2011

Tamm G., Trobowski C.:
RFID
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010

Teker U.:
Realisierung und Evaluation eines Indoor-Lokalisierungssystems mittels WLAN
Diplomarbeit Universität Bremen, Fachbereich Informatik, 2005

Theel S.:
Kommissionierung im 21. Jahrhundert: Von Pick-by-Voice bis RFID
Diplomica Verlag, 2015

Theißen S.:
Risiken informations- und kommunikationstechnischer (IKT-) Implantate im Hinblick
auf Datenschutz und Datensicherheit
Band 11 von Schriften des Zentrums für Angewandte Rechtswissenschaft, Zentrum
für Angewandte Rechtswissenschaft
KIT Scientific Publishing, 2009

Werner H.:
Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling
5. Ausgabe, Springer-Verlag, 2013

Williamowski B.M., Irwin J.D.:
Industrial Communication Systems
CRC Press, 2016

Wölfle M:

Kontextsensitive Arbeitsassistenzsysteme zur Informationsbereitstellung in der Intralogistik, Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München, 2014

Xiong Z., Song Z., Scalera A., Ferrera E., Sottile F., Brizzi P., Tomasi R., Spirito M.:
Hybrid WSN and RFID indoor positioning and tracking system
EURASIP Journal on Embedded Systems, 2013, Vol.2013(1), pp.1-15

Zsifkovits H.E., Altendorfer-Kaiser S.:

Management logistischer Informationsflüsse: 3. Wissenschaftlicher Industrielogistik-Dialog in Leoben (WiLD)
Rainer Hampp Verlag, 2015

Internetquellen

Intralogistik-Studie 16: Bedürfnisse der Intralogistik- Wie schätzen die Branchenprofis den Markt ein und was bedeutet das?

<https://www.iwl.de/intralogistikstudie>, veröffentlicht am 29.01.2016, Zugriff am 18.05.2016, PDF 1

Faszination Logistik – Entwicklungen in der Intralogistik Branche

<http://www.ssi-schaefer.de/blog/intralogistik-trends/intralogistik-entwicklung/>, veröffentlicht am 10.10.2014, Zugriff am 18.05.2016, PDF 2

Industrie 4.0- Die Transportlogistik im Wandel

<http://intralogistik.tips/industrie-40/>, veröffentlicht am 31.12.2014, Zugriff am 18.05.2016, PDF 3

Intralogistik: Warenstrom und Informationsstrom im Inneren verbinden

<http://www.etiscan.de/service-und-support/glossar/i-l/intralogistik.html>, Zugriff am 18.05.2016, PDF 4

(Echtzeit)-Lokalisierung

<http://iwi.wifa.uni-leipzig.de/iwi/im/forschung/forschungsgruppe-fuba/rtls.html>, Zugriff am 18.05.2016, PDF 5

Das Internet der Dinge

<http://neocosmo-next.piipe.de/digital-lifestyle/das-internet-der-dinge>, veröffentlicht am 18.02.2016, Zugriff am 18.05.2016, PDF 6

Definition WMS / LVS- Was ist ein WMS bzw. LVS?

<http://www.warehouse-logistics.com/de/definition-wms-lvs.html>, Zugriff am 05.06.2016, PDF 7

Sensorik und Aktorik

<https://www.vde.com/de/fg/dgbmt/arbeitsgebiete/projekte/intelligente-implantate/sua/Seiten/sua-start.aspx>, Zugriff am 06.06.2016, PDF 8

Compliance

<http://www.duden.de/rechtschreibung/Compliance>, Zugriff am 18.05.2016, PDF 9

Was ist RFID?

<http://www.tagtechnology.com/rfid/was-ist-rfid.html>, Zugriff am 18.05.2016, PDF 10

Was sind Cyber-Physische Systeme?

<http://www.ideen2020.de/de/1906/> (10.05.2016), Zugriff am 19.05.2019, PDF 11

Definition Access Point

<http://www.searchnetworking.de/definition/Access-Point-AP> , Zugriff am 19.05.2016, PDF 12

Begriff Intralogistik

http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=I&title=Intralogistik, Zugriff am 19.05.2016, PDF 13

Das ist Intralogistik

<http://www.intralogistik-bw.de/die-branche/das-ist-intralogistik/>, Zugriff am 19.05.2016, PDF 14

Ausblick auf zukünftige Anforderungen sowie Trends der Intralogistik

<http://telematik-markt.de/telematik/ausblick-auf-zuk%C3%BCnftige-anforderungen-sowie-trends-der-intralogistik#.VxC-qDCLShc>, veröffentlicht am 20.10.2014, Zugriff am 19.05.2016, PDF 15

Megatrends: Die Zukunftsstudie 2020- Welche Megatrends für die Zukunft der Intralogistik zu erwarten sind und welche Anforderungen daraus entstehen...

<http://www.still.de/15039.0.0.html>, Zugriff am 19.05.2016, PDF 16

Automatische Identifikation und Echtzeitortung

http://www.sps-magazin.de/?inc=artikel/article_show&nr=87354, veröffentlicht am 02.07.2014, Ausgabe SPS Magazin 7 2014, Zugriff am 23.05.2016, PDF 17

Digital Business: Internet der Dinge: Keine Vision mehr, sondern Realität

<http://www.digitalbusiness-cloud.de/fachartikel/internet-der-dinge-keine-vision-mehr-sondern-realitaet>, veröffentlicht am 04.08.2015, Zugriff am 18.05.2016, PDF 18

Das Unvernetzte vernetzen – das Internet der Dinge in der Logistik

<https://www.delivering-tomorrow.com/connecting-the-unconnected-the-internet-of-things-in-logistics/>, veröffentlicht am 19.05.2015, Zugriff am 19.05.2016, PDF 19

Die 4. industrielle Revolution – Autarke Produktionsverbunde durch clevere Logistik aufbauen

<http://www.ifs-gmbh.com/#{9}> /, veröffentlicht am 31.07.2014, Zugriff am 19.05.2016, PDF 20

Industrie 4.0- Gebt den Maschinen das Kommando

<http://www.wiwo.de/technologie/cebit-spezial/industrie-4-0-gebt-den-maschinen-das-kommando/9594706.html>, veröffentlicht am 13.03.2014, Zugriff am 20.05.2016, PDF 21

Wichtige Begriffe für die digitale Transformation in der Wasserwirtschaft

<http://www.hst.de/aktuell/aktuelles/artikel/wichtige-begriffe/>, Zugriff am 20.05.2016, PDF 22

LogiMat: Staplerortung mit RFID-Technologie

Messe-News LogiMat 2015

<http://www.rfid-ready.de/201502063589/logimat-staplerortung-mit-rfid-technologie.html>, Zugriff am 15.09.2017, PDF 24

Identifikationssystem

http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=I, Zugriff am 23.05.2016, PDF 23

Laboratory- RFID-Technologie

<http://www.hli-consulting.de/laboratory/rfid-technologie.html>, Zugriff am 24.05.2016, PDF 25

Einführung in die Funklokalisierung

http://www.fh-dortmund.de/de/fb/4/einrichtungen/laboratorien/imsI/Projekte/einf_lok..php, Zugriff am 29.05.2016, PDF 26

MarLO® – Markerbasierte Lokale Ortung für Betriebsmittel, Güter und Waren

<http://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/materialflusstechnik/markerbasierte-lokale-ortung-marlo.html>, Zugriff am 12.05.2016, PDF 27

Fahrzeugortung- Optische Ortung im Innenbereich

<http://www.zenotrack.com/index.php?id=48> (30.05.2016) , Zugriff am 30.05.2016, PDF 28

ZenoTrack: 3D-Lagerortung am Beispiel Holzhandel – Der sehende Stapler

http://www.zenotrack.com/fileadmin/Files/1204_Bericht_Dispo_ZenoTrack.pdf, Zugriff am 30.05.2016, PDF 29

Warehouse Management- Staplerortung und –navigation

http://www.zenotrack.com/fileadmin/Files/IT_Logistics_Januar_Ausgabe.pdf , Zugriff am 30.05.2016, PDF 30

Lokalisierung mit Bluetooth- Jungheinrich entwickelt System zur Indoor-Ortung von Flurförderzeugen

Das Logistik-Magazin, Ausgabe 06/2017

https://www.fm-online.de/PDF/2017/FM_6_17/Kommunikationstechnik_6.pdf, Zugriff am 14.09.2017, PDF 31

Definition Flexibilität

<http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/flexibilitaet/flexibilitaet.htm>, Zugriff am 21.03.2017, PDF 32

Sie suchen die optimale Lösung zur Effizienzsteigerung? Wir kennen den Königsweg: Lagernavigation im Schmalgang.

http://www.jungheinrich.de/uploads/jh_importer/assets_product_27897_de-DE_vl_____download___link---

2/Kompendium_Lagernavigation_im_Schmalgang.PDF, Zugriff am 31.05.2016, PDF 33

LogTrek

<http://www.logtrek.de/auslastungs-und-wegeanalyse/>, Zugriff am 31.05.2016, PDF 34

Ubisense, Neue Transparenz für Fertigungsprozesse- Hochpräzise Indoor-Ortung mit RTLS

[http://elearning.hs-](http://elearning.hs-koblenz.de/wincheringer/gps1/Freigegebene%20Dokumente/Literatur/2014%20Ubisense%20MES%20Neue_Transparenz_f%C3%BCr_Fertigungsprozesse%20Indoor-Ortung%20mit%20RTLS.pdf)

[koblenz.de/wincheringer/gps1/Freigegebene%20Dokumente/Literatur/2014%20Ubisense%20MES%20Neue_Transparenz_f%C3%BCr_Fertigungsprozesse%20Indoor-Ortung%20mit%20RTLS.pdf](http://elearning.hs-koblenz.de/wincheringer/gps1/Freigegebene%20Dokumente/Literatur/2014%20Ubisense%20MES%20Neue_Transparenz_f%C3%BCr_Fertigungsprozesse%20Indoor-Ortung%20mit%20RTLS.pdf), Zugriff am 01.06.2016, PDF 35

LPR®-2D Präzise Positionserfassung im Innen- und Außenbereich,

http://www.symeo.com/cms/upload/pdf/de/Datenblaetter/Symeo_Datenblatt_LPR-2D.pdf, Zugriff am 02.06.2016, PDF 36

Dart UWB Technology

<https://www.zebra.com/content/dam/zebra/product-information/en-us/brochures-datasheets/location-solutions/dartuwb-tech-datasheet-en-us.pdf>, Zugriff am 02.06.2016, PDF 37

Flächendeckende Genau Ortung – die Königsdisziplin in der Lokalisierung und Navigation

<http://www.solconia.de/genau-ortung/>, Zugriff am 02.06.2016, PDF 38

Fahrzeugortung – ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Ihre Produktivität
<http://www.solconia.de/fahrzeugortung/>, Zugriff am 02.06.2016, PDF 39

Das Ekahau EchtzeitLokalisierungssystem. (RFID-over-Wi-Fi) Business Intelligence durch Lokalisierung.
https://at.bechtle.com/assets/Uploads/Portfolio/PDFs/Ekahau_DINA4_8Seiter_160225.pdf, Zugriff am 02.06.2016, PDF 40

Getting Started with ZigBee and IEEE 802.15.4- Daintree Networks Inc.
<http://www.science.smith.edu/~jcardell/Courses/EGR328/Readings/Zigbee%20GettingStarted.pdf>, Zugriff am 21.03.2017, PDF 41

AeroScout T2 Tag- Wi-Fi-basierte Active RFID Tags für die Verfolgung von Objekten (Asset Tracking), Echtzeitortung, Telemetrie und mehr, <http://www.AeroScout.com/files/DE-T2DataSheet.pdf>, Zugriff am 02.06.2016, PDF 42

WGP-Standpunkt Industrie 4.0
http://www.ipa.fraunhofer.de/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Pressinformationen/2016/Juni/WGP_Standpunkt_Industrie_4.0.pdf, Zugriff am 19.03.2017, PDF 43

Indoor Ortung- Mehr Effizienz und Sicherheit im Lager,
<http://www.jungheinrich.de/analyse-und-optimierung/indoor-ortung/>, Zugriff am 03.06.2016, PDF 44

Zebra technologies
<https://www.zebra.com/content/dam/zebra/product-information/en-us/brochures-datasheets/location-solutions/zebra-ls-brochure-en-us.pdf>, Zugriff am 15.01.2016, PDF 45

Tracking von Flurförderzeugen und Gütern in der Logistik
<https://www.infsoft.de/anwendungsbeispiele/ArticleId/177/tracking-von-flurfoerderzeugen-und-guetern-in-der-logistik>, Zugriff am 15.12.2016, PDF 46

Übertragungstechnologien
<http://indoor-ortung.de/technik/uebertragungstechnologien/>, Zugriff am 14.12.2016. PDF 47

Identplus- 3D Inventory Tracking
<http://identplus.net/>, Zugriff am 31.05.2016, PDF 48

Positionsgenauigkeit
<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Positionsgenauigkeit-location-accuracy.html>, Zugriff am 17.05.2016, PDF 49

Indoor location technologies compared,

<http://lighthouse.io/indoor-location-technologies-compared/>, Zugriff am 06.06.2016, PDF 50

Wi-Fi Location Beacon for Ultra-High Accuracy

http://www.ekahau.com/userData/ekahau/documents/datasheets/Ekahau_RTLS_LB2_DS.pdf, Zugriff am 08.12.2016, PDF 51

RFID-Standards und Datenschutzeempfehlungen

<http://www.eurosecglobal.de>, Zugriff am 24.05.2016, PDF 52

Was, Wo und Wie - Intelligenter Gabelstapler erkennt genauen Standort

<http://innovisions.de/beitraege/was-wo-und-wie/>, Veröffentlicht am 13.05.2014, Zugriff am 23.06.2016, PDF 53

Fahrzeugortung und -verfolgung / differential GPS

<http://www.abf.at/de/technologien/fahrzeugortung-und-verfolgung-differential-gps>, Zugriff am 24.06.2016, PDF 54

Outdoor- und Indoor-Ortungssystem ermöglicht die lückenlose Ortung und Verfolgung von Warenströmen

<http://www.rfid-ready.de/201001281214/outdoor-und-indoor-ortungssystem-ermoglicht-die-lueckenlose-ortung-und-verfolgung-von-warenstroemen.html>, Veröffentlicht am 28.01.2010, Zugriff am 24.06.2016, PDF 55

Interne Transportprozesse mittels Staplerortung und Staplerleitsystem optimieren

<http://www.logistik-xtra.de/interne-transportprozesse-mittels-staplerortung-und-staplerleitsystem-optimieren>, Zugriff am 28.06.2016, PDF 56

Indoor Ortung

<http://indoor-ortung.de/allgemein/indoor-ortung/>, PDF 57, Zugriff am 28.06.2016, PDF 57

Warum ist für Unternehmen Informationslogistik wichtig?

<http://www.pentadoc-consulting.com/2013/05/16/warum-ist-fur-unternehmen-informationslogistik-wichtig/>, Veröffentlicht am 16.05.2013, Zugriff am 06.07.2016, PDF 58

Definition Informationsfluss

<http://www.enzyklo.de/Begriff/Informationsfluss>, Zugriff am 06.07.2016, PDF 59

Ein intelligentes Staplerleitsystem als SCM-Baustein für Industrie 4.0, Dr. Franz Demmelmeier

<http://docplayer.org/15395977-Lokale-aufgabenverteilung-optimierung-aus-globalem-datenpool-agen-ohren-stimme-fuehlen-baustein-4-0-in-unserem-leben.html>, Zugriff am 06.07.2016, PDF 60

Optische Echtzeitortung,

http://www.aim.de/index.php?option=com_content&view=article&id=835&Itemid=78, Zugriff am 11.07.2016, PDF 62

Definition von Ortsbestimmung

<http://wörterbuchdeutsch.com/de/ortsbestimmung>, Zugriff am 06.07.2016, PDF 63

Tracking

<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Tracking-tracking.html> Zugriff am 16.07.2016, PDF 64

ISO/IEC 19762-5:2008 Information technology -- Automatic identification and data capture (AIDC) techniques -- Harmonized vocabulary -- Part 5: Locating systems

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=50718 , Zugriff am 11.08.2016, PDF 65

Gyrosensor

<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Gyrosensor-gyro-sensor.html>, Zugriff am 13.08.2016, PDF 66

Spark-Finalist - Ist das der heilige Gral der Intralogistik?

<http://www.handelsblatt.com/adv/digitalatscale/spark-finalist-ist-das-der-heilige-gral-der-intralogistik/13865516.html> , Veröffentlicht am 15.07.2016, Zugriff am 15.08.2016, PDF 67

The Sky-Trax-System – Vehicle Tracking and Fleet Management,

<http://www.totaltraxinc.com/smart-forklift-solutions/the-sky-trax-system/>, Zugriff am 15.08.2016, PDF 68

Datenblatt SAT/SAT-D,

http://www.symeo.com/cms/upload/pdf/de/Datenblaetter/Symeo_Datenblatt_SAT_SA_T-D.pdf, Zugriff am 17.08.2016, PDF 69

Echtzeitortung

<http://www.solcon-systemtechnik.de/loesungen/ortung-und-rfid/>, Zugriff am 05.12.2016, PDF 70

RFID zur Warenidentifikation und Staplerortung Positionier- und Identifikationssystem mit Bodentranspondern,
http://www.solcon-systemtechnik.de/fileadmin/pdf/RFID_Staplerortung.pdf, Zugriff am 18.08.2016, PDF 71

Flurförderzeug
<https://logistikknowhow.com/flurforderzeug/>, Veröffentlicht am 10.07.2014, Zugriff am 22.08.2016, PDF 72

LogTrek RTLS
<http://www.logtrek.de/logtrek-rtls/>, Zugriff am 25.08.2016, PDF 73

Lagernavigation für Schmalgangfahrzeuge Die Basis: RFID
http://www.jungheinrich.at/uploads/jh_importer/assets_product_27897_de-AT_vl_download_link---1/Lagernavigation_im_Schmalgang.pdf, Zugriff am 02.12.2016, PDF 74

RFID – Einsatzmöglichkeiten und Potentiale in logistischen Prozessen
http://www.opal-holding.com/newsletter/newsletter_sap_2_07/pdf/RFID_Einsatzmoeglichkeiten.pdf, Zugriff am 26.08.2016, PDF 75

Staplerleitsystem- Automatisierter Warenfluss durch Lasertechnologie
<http://motorzeitung.de/news.php?newsid=335600>, Zugriff am 01.12.2016, PDF 76

Was ist eigentlich Intralogistik?
<https://foerd.vdma.org/article/-/articleview/11195643>, Zugriff am 08.11.2016, PDF 78

infsoft GmbH- Indoor Positionsbestimmung und Navigation
<https://www.infsoft.de/portals/0/images/solutions/basics/whitepaper/de-indoor-navigation-indoor-positionsbestimmung-infsoft-ebook.pdf>, Zugriff am 21.11.2016, PDF 79

BLE Beacons in asset tracking- precision, cost reduction and efficiency
<http://www.onyxbeacon.com/ble-beacons-bring-precision-and-costs-reduction-for-asset-tracking-in-many-verticals>, Zugriff am 30.11.2016, PDF 80

Transparenz „auf Knopfdruck“- Ortungsbasierte Auftragsverfolgung in der manuellen Montage
http://demofabrik-aachen.rwth-campus.com/wp-content/uploads/sites/14/2015/06/VDI-Z_05_2016_Seiten34-36.pdf, Zugriff am 23.11.2016, PDF 81

Sky-Trax System
<http://www.baxtek.com/products/skytrax/index.php>, Zugriff am 28.11.2016, PDF 82

WhereTag™ IV ST

<https://www.zebra.com/content/dam/zebra/product-information/en-us/brochures-datasheets/location-solutions/wheretag-iv-st-datasheet-en-us.pdf>,
Zugriff am 29.11.2016, PDF 83

Precise UWB-based real time location system

<http://www.eliko.ee/products/kio-rtls/>, Zugriff am 29.11.2016, PDF 84

Datenblatt Symeo Positioning Unit SPU (-L, -S, -SD, -LS)

http://www.symeo.com/cms/upload/pdf/de/Datenblaetter/Symeo_Datenblatt_Symeo_Positioning_Unit__SPU.pdf, Zugriff am 30.11.2016, PDF 85

Introduction of Sewio Real Time Location System

<http://www.sewio.net/technology/rtls/>, Zugriff am 30.11.2016, PDF 86

Beacons? iBeacons? Eddystone? Wie es funktioniert.

<http://www.onyxbeacon.de>, Zugriff am 30.11.2016, PDF 87

Sewio RTLS platform

<https://www.sewio.net/rtls-tdoa/>, Zugriff am 07.01.2018, PDF 88

Video Staplerleitsystem- Identpro

<http://identplus.net/video-staplerleitsystem/>, Zugriff am 01.12.2016

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bedeutung des Konzepts „Industrie 4.0“ laut Intralogistik-Studie 2016 .	1
Abbildung 2: Aufgaben der Intralogistik	8
Abbildung 3: Die vier Stufen der industriellen Revolution	10
Abbildung 4: Vernetzte Produktions- und Logistikfaktoren in der intelligenten Fabrik	11
Abbildung 5: Technologiefelder der Industrie 4.0	13
Abbildung 6: Intralogistik im Informationsfluss	15
Abbildung 7: Logik von Auto- ID- Systemen	17
Abbildung 8: Grundstrukturen der Identifikationstechnik	19
Abbildung 9: Aufbau eines Barcodes	20
Abbildung 10: Optische Eigenschaften von Barcodes	21
Abbildung 11: OCR-Schriften	22
Abbildung 12: Bestandteile eines RFID-Systems	23
Abbildung 13: Einteilung von RFID-Systemen nach der Reichweite	26
Abbildung 14: RFID zwischen Informations- und Objektebene	30
Abbildung 15: Anwendungsgebiete und Ortungsgenauigkeiten	33
Abbildung 16: Funktionsweise lokaler funkbasierter Ortung, Empfänger an mobilen Objekten (a) und Sender an mobilen Objekten (b)	36
Abbildung 17: Komponenten eines RTLS und ihre Aufgaben	37
Abbildung 18: Lokalisierungsverfahren	38
Abbildung 19: Triangulation	40
Abbildung 20: Trilateration	41
Abbildung 21: Optische und akustische Ortungsverfahren	45
Abbildung 22: Beispiele für optische Marker	46
Abbildung 23: Technische Ansätze zur bildbasierten Ortung von Betriebsmitteln, Analyse des bewegten Objekts (a) und Analyse der Umgebung (b)	47
Abbildung 24: Aktuelle Trends aus der Logistik mit Einfluss auf die Stapler-Lokalisierung	52
Abbildung 25: Schematische Darstellung für die Integration zahlreicher Sensoren zur automatischen Lagerplatzidentifikation	52
Abbildung 26: Jungheinrich RFID - Transponder System	68
Abbildung 27: Solcon TDoA-Lokalisierung	69
Abbildung 28: WhereNet Systemaufbau	72
Abbildung 29 AeroScout Visibility System Systemaufbau	75
Abbildung 30: Clientseitige und serverseitige Positionsbestimmung	80
Abbildung 31 Serverseitige Positionsbestimmung infsoft	81
Abbildung 32 infsoft-Warenortung mit kombinierter UWB/RFID Technologie	82
Abbildung 33 Ubisense RTLS Komponenten	84
Abbildung 34 Kombiniertes LPR-2D/D-GPS Ortungssystem	85

Abbildung 35 Typische LPR®-2D-Anwendung	86
Abbildung 36: Dart UWB Systemaufbau	87
Abbildung 37: Sewio RTLS-TDoA	90
Abbildung 38 Markierter Stapler	92
Abbildung 39: a) Marker-Tracking b) Feature-Tracking	93
Abbildung 40: Automatisierter Warenfluss durch Lasertechnologie	96
Abbildung 41: Verknüpfung von Koordinaten und ID-Nummer bei Absetzen der Ladung	97
Abbildung 42: Sky-Trax System	98
Abbildung 43: Technologie und Lokalisierungsverfahren der berücksichtigten Systeme	102
Abbildung 44: Erforderliche Lokalisierungsgenauigkeiten für die indirekte Warenortung durch die direkte Ortung des Gabelstaplers	104
Abbildung 45: Lokalisierungsgenauigkeit in Abhängigkeit des Frequenz- und Einsatzbereiches	105
Abbildung 46: Flexibilität der RTLS in Abhängigkeit der Systemarchitektur	108
Abbildung 47: Skalierbarkeit in Abhängigkeit der Systemarchitektur	110

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eigenschaften ausgewählter Barcodes	20
Tabelle 2: Vergleich unterschiedlicher Transpondertypen	24
Tabelle 3: RFID- Frequenzbänder und ihre Eigenschaften	25
Tabelle 4: Qualitativer Vergleich von Auto-ID-Systemen	29
Tabelle 5: Vor- und Nachteile relevanter Lokalisierungsverfahren	39
Tabelle 6: Vergleich der Eigenschaften der Lokalisierungstechnologien	50
Tabelle 7: Varianten der Systemarchitektur eines Lokalisierungssystems	55
Tabelle 8: Liste der berücksichtigten RTLS	64
Tabelle 9: Anforderungsanalyse Symeo Absolute Positioning SAT-D	66
Tabelle 10: Anforderungsanalyse Jungheinrich Schmalgangnavigation.....	68
Tabelle 11: Anforderungsanalyse Solcon Bodentransponder.....	70
Tabelle 12: Anforderungsanalyse Track + Race LS	71
Tabelle 13: Anforderungsanalyse WhereNet RTLS ISO 24730.....	72
Tabelle 14: Anforderungsanalyse Ekahau.....	74
Tabelle 15: Anforderungsanalyse AeroScout Visibility System.....	76
Tabelle 16: Anforderungsanalyse Jungheinrich Indoor Ortung.....	77
Tabelle 17: Anforderungsanalyse Onyx Beacon.....	78
Tabelle 18: Anforderungsanalyse infsoft Beacon	80
Tabelle 19: Anforderungsanalyse infsoft UWB	83
Tabelle 20: Anforderungsanalyse Ubisense	84
Tabelle 21: Anforderungsanalyse Absolute Positioning LPR-2D	87
Tabelle 22: Anforderungsanalyse Dart UWB	88
Tabelle 23: Anforderungsanalyse Solconia UWB-Genauortung	89
Tabelle 24: Anforderungsanalyse KIO RTLS.....	89
Tabelle 25: Anforderungsanalyse Sewio RTLS	90
Tabelle 26: Anforderungsanalyse MarLo.....	92
Tabelle 27: Anforderungsanalyse Pilot Pro von Zenotrack.....	95
Tabelle 28: Anforderungsanalyse identplus.....	97
Tabelle 29: Anforderungsanalyse Sky-Trax.....	98
Tabelle 30: Anforderungsanalyse LogTrek.....	99
Tabelle 31: Vergleich der technischen Parameter aktueller RTLS	100
Tabelle 32: Vergleich der kundenrelevanten Parameter aktueller RTLS	101

12 Abkürzungsverzeichnis

AoA	Angle of Arrival
Auto-ID	Automatische Identifizierung
BDE-System	Betriebsdatenerfassungssystem
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CCD	charge-coupled device
cm	Zentimeter
CMS	Content Management System
CoO	Cell of Origin
CPS	Cyber-physische Systeme
engl.	englisch
EO	Eigenortung
ERP	Enterprise-Resource-Planning
FO	Fremdortung
GHz	GigaHertz
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
Hz	Hertz
i.d.R.	In der Regel
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFF	Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
IoT	Internet of Things
IR	Infrarot
ISM-Band	Industrial, Scientific and Medical Band
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
k.A.	keine Angabe
kbps	Kilobite pro Sekunde
kHz	KiloHertz
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
km/h	Kilometer/ Stunde
KV	Kostenverteilung
LPR	Local Positioning System
LTE	Long Term Evolution
LVS	Lagerverwaltungssystem
nm	Nanometer
m	Meter
m ²	Quadratmeter
MF	Materialfluss
M2M	Maschine zu Maschine

OCR	Optical Character Recognition
RFID	Radiofrequenzidentifikation
RSSI	Receive Signal Strength Indicator
RTof	Roundtrip time-of-flight
RTLS	Real Time Location System
s	Sekunde
sog.	sogenannt
SLS	Staplerleitsystem
SQL	Structured Query Language
TDoA	Time Difference of Arrival
ToA	Time of Arrival
u.a.	unter anderem
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
usw.	und so weiter
UWB	Ultraweitband
VoIP	Voice over Internet Protocol
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer
WLAN	Wireless Local Area Network
WMS	Warehouse Management System
z.B.	Zum Beispiel
µm	Mikrometer