

# TRACK AND TRACE TECHNOLOGIEN IM ÜBERBLICK

Kurzstudie zur Potenzialanalyse digitaler Objekterkennungs-Technologien im Anwendungsfeld Logistik





AUTORINNEN UND AUTOREN:  
MANUELA BAUER, BERND BIENZEISLER, MELANIE ROHM

# TRACK AND TRACE TECHNOLOGIEN IM ÜBERBLICK

Kurzstudie zur Potenzialanalyse digitaler Objekterkennungs-Technologien  
im Anwendungsfeld Logistik

Die Erstellung der Studie wurde vom Ministerium für Wirtschaft,  
Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg gefördert.



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



## Vorwort

Baden-Württemberg genießt als High-Tech-Industrie- und Dienstleistungsstandort weltweit einen ausgezeichneten Ruf. Das Land belegt sowohl im nationalen als auch internationalen Vergleich bei vielen wirtschaftlichen Indikatoren Spitzenpositionen. Aufgrund seiner starken Industrie ist Baden-Württemberg auch einer der wichtigsten Logistikstandorte in Deutschland. Rund 10 Prozent der deutschen Top-Logistikdienstleister mit einem Jahresumsatz von über 50 Millionen Euro haben ihren Stammsitz im Südwesten, zudem verfügt nahezu jeder bedeutende Logistikdienstleister über eine oder mehrere große Niederlassungen innerhalb Baden-Württembergs.



Wie in vielen Bereichen verändern sich die Anforderungen derzeit auch für die Logistik rapide. Früher stand hinter dem Stichwort Logistik noch das klassische Anforderungsprofil Transport, Umschlag und Lagerung. Heute hat der Logistikbereich eine starke Querschnittsfunktion. Die Logistik ist mittlerweile ein elementarer Bestandteil von industriellen Produktions- und Handelsprozessen, weshalb sie auch immer mehr von komplexen Serviceanforderungen und -angeboten geprägt ist.

In diesem Zusammenhang gewinnt die Verwendung des Innovationsbegriffes innerhalb der Logistik zunehmend an Bedeutung. Themen wie Automatisierung, Digitalisierung und vor allem auch künstliche Intelligenz werden immer häufiger diskutiert. Dabei ist die Digitalisierung in der Logistik kein komplett neues Feld. Insbesondere im Themenfeld Objekterkennung liegen bereits seit mehreren Jahrzehnten intelligente Lösungen vor.

Allerdings verändern sich Technologien sehr schnell. Das Spektrum möglicher digitaler Lösungen zur Objekterkennung ist inzwischen enorm vielfältig. So fällt es auch Unternehmen der Logistikbranche schwer, geeignete Technologien zu identifizieren. Diese Tatsache hat das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg gemeinsam mit LOGWERT – dem Kompetenzzentrum für Logistik und Wertschöpfung – aufgegriffen. Mit der Kurzstudie „Track and Trace Technologien im Überblick – eine Potenzialanalyse digitaler Objekterkennungs-Technologien im Anwendungsfeld Logistik“ wurde eine umfassende Bewertung der Vor- und Nachteile aktueller Object Tracking Technologien vorgenommen und damit deren mögliche Anwendungsfelder in der Logistik beleuchtet. Nun halten Sie als Ergebnis eine für den Anwender verständliche Bewertungsmatrix in den Händen.

Bei der Lektüre wünsche ich viele spannende neue Erkenntnisse und Anregungen.

A handwritten signature in black ink that reads "Nicole Hoffmeister-Kraut". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut MdL  
Ministerin für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau des Landes Baden-Württemberg



# Inhalt

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>8</b>
<b>1      <b>Ausgangssituation und Ziele der Studie .....</b></b>	<b>10</b>
1.1 <i>Ausgangssituation</i> .....	10
1.2 <i>Zielsetzung</i> .....	12
<b>2      <b>Technologieradar und Definitionen .....</b></b>	<b>13</b>
<b>3      <b>Objekterfassungsmethoden im Detail .....</b></b>	<b>15</b>
3.1 <i>Optoelektronische Verfahren</i> .....	15
3.1.1   Funktionsweise und Charakteristika von Barcodes .....	15
3.1.2   Barcodes im Anwendungsfeld Logistik.....	18
3.2 <i>Sender-Empfänger-Systeme</i> .....	20
3.2.1   Funktionsweise und Charakteristika von RFID-Systemen .....	21
3.2.2   RFID-Systeme im Anwendungsfeld Logistik .....	26
3.3 <i>Real Time Location Systeme</i> .....	29
3.3.1   Funktionsweise und Charakteristika von RTLS-Systemen.....	29
3.3.2   RTLS-Systeme im Anwendungsfeld Logistik .....	35
3.4 <i>Blockchain-Technologien</i> .....	37
3.4.1   Funktionsweise und Charakteristika der Blockchain .....	38
3.4.2   Blockchain-Technologie im Anwendungsfeld Logistik .....	40
<b>4      <b>Fazit und Ausblick .....</b></b>	<b>42</b>
4.1 <i>Bewertung von Object Tracking Technologien für die Logistikwirtschaft</i> .....	42
4.2 <i>Schlussfolgerungen und Ausblick</i> .....	45
<b>Glossar.....</b>	<b>47</b>
<b>Literatur.....</b>	<b>49</b>
<b>Bildquellen.....</b>	<b>55</b>

## Zusammenfassung

Das **Ziel der Kurzstudie »Track and Trace Technologien im Überblick«** ist die Identifikation, Strukturierung, Darstellung und Bewertung technologischer Ansätze der digitalen Objekterkennung. Darunter werden all jene Technologien gefasst, die darauf abzielen, Objekte zu erkennen, über eine Strecke zu verfolgen bzw. eine Kommunikation zwischen Objekten und anderen Objekten oder Menschen herzustellen. Von besonderer Bedeutung ist die Beantwortung der Frage, welchen Reifegrad diese Technologien haben und welche Implikationen sich daraus für die Neugestaltung/Weiterentwicklung logistischer Liefer- und Zustellprozesse ergeben. Ein solcher Technologieüberblick ist nicht allein für klassische Logistikunternehmen von Bedeutung, sondern nahezu für jede Branche interessant, in der Waren- und Teile bewegt und transportiert werden müssen.

In der Studie wird eine umfassende **Charakterisierung** der aktuellen Track and Trace Technologien vorgenommen und mögliche Anwendungsbeispiele in der Logistik beschrieben. Dabei werden die folgenden vier Verfahren unterschieden:

**Optoelektronische Verfahren** wandeln digitale Daten in Lichtsignale um – und umgekehrt. Diese Verfahren sind in fast allen Bereichen des täglichen Lebens zu finden: Jeder Bildschirm, Laser und optischer Speicher funktioniert mittels optoelektronischer Verfahren. Ein klassisches Einsatzfeld ist beispielsweise die Kennzeichnung von Waren mit Barcodes, die automatisiert an Supermarktkassen erfasst werden. Das Objekt muss sich hierzu in engem Abstand zum Lesegerät befinden bzw. über Sichtkontakt eindeutig abgelesen werden.

**Sender-Empfänger-Systeme** basieren auf einem digitalen Signal, das zwischen einem Sender und einem Empfänger ausgetauscht wird. Mittels verschiedener Verfahren werden die auf dem Sender gespeicherten Daten an den Empfänger übertragen. Solche Systeme werden klassischerweise bei Türschließenanlagen verwendet (Transponder) oder bei der Diebstahlsicherung im Einzelhandel. Das Objekt muss sich hierzu in gewissem Abstand zur Leseinheit befinden, direkter Sichtkontakt ist nicht erforderlich.

**Real Time Location Systems (RTLS)** ermöglichen die Objektverfolgung in Echtzeit. Sie sind nicht auf die Registrierung von Ereignissen angewiesen, wie das bei optoelektronischen Verfahren und Sender-Empfänger-Systemen der Fall ist. Das Objekt muss dabei nicht mit Sichtkontakt ausgelesen werden, muss aber in kontinuierlichem Austausch zum empfangenden System stehen. Durch RTLS wird es möglich, die Bewegung von Objekten kontinuierlich in Echtzeit nachzuverfolgen. Die Navigation über GPS und Mobilfunkdaten ist ein bekanntes Beispiel für RTLS-Systeme.

**Blockchain-Technologien** basieren auf einer Liste von Datensätzen, die chronologisch und verschlüsselt miteinander verknüpft sind. Aufgrund des Netzwerkcharakters einer Blockchain ist eine Veränderung der gespeicherten Daten nicht möglich, ohne dass auch die folgenden Datensätze verändert werden. Über die Speicherung von Prozess-Ereignissen in den Datensätzen ist die Blockchain-Technologie auch für Logistikzwecke interessant, befindet sich hier jedoch noch im Anfangsstadium der Anwendung. Die Objekte stehen dabei in kontinuierlichem Informationsaustausch zu sämtlichen Akteuren



der Blockchain. Bisher ist die Blockchain-Technologie vor allem im Zusammenhang mit der Kryptowährung Bitcoin bekannt.

Die **Technologieübersicht** der vier funktional unterschiedlichen Verfahren zeigt, dass es eine große Palette an Möglichkeiten gibt, Objekte zu erfassen und deren Position zu bestimmen. Dabei eignen sich jedoch nicht alle Methoden für dieselben Aufgabenstellungen und Umweltaforderungen. Die Studie beinhaltet deshalb eine Bewertung der Technologien anhand ausgewählter Kriterien, die für die Logistikbranche relevant sind (z.B. Verbreitungsgrad der Technologie, Flexibilität des Einsatzes, Kosten, Anwendbarkeit indoor/outdoor). Diese **Bewertungsmatrix** ist ein zentrales Ergebnis der Studie, das für die Unternehmen der Logistikbranche als Orientierung und Bewertungsgrundlage dienen kann. Hier wird deutlich, dass jede Technologie ihre Vor- und Nachteile aufweist, die jeweils von dem spezifischen Anwendungsfall diskutiert werden müssen.

Aufgrund ihrer Divergenz in Bezug auf die Charakteristika und die möglichen Einsatzfelder ist den Unternehmen der Logistikwirtschaft daher zu raten, zunächst die **Rahmenbedingungen und Zielsetzungen des Einsatzes** so exakt wie möglich zu beschreiben. Erst dann sollten Informationen zu möglichen Technologien eingeholt werden, dann nur mit konkreten Vorgaben zum Anwendungsfall geeignete Angebote eingeholt und Erfahrungen ausgetauscht werden können. Aktuell herrscht jedoch noch große Skepsis bei den Unternehmen der Logistikbranche in Bezug auf den Einsatz neuer digitaler Technologien. Die größten Hindernisse sind dabei zum einen die Investitionskosten, die mit der Installation, Wartung und Nutzung einhergehen. Zum anderen ist aber auch die fehlende Kenntnis zu den Einsatzmöglichkeiten bzw. zu den Technologien und deren Entwicklungsstand selbst ein Grund dafür, dass die Systeme nicht zum Einsatz kommen. Dies gilt sowohl für die in der vorliegenden Studie analysierten Object Tracking Technologien, als auch für andere innovative Techniken.

Daraus ergeben sich **Ansatzpunkte für künftige Forschungsarbeiten**: Mit der Verbreitung des Wissens über Möglichkeiten und Anwendungsfelder, mit dem Offenlegen der Chancen, aber auch der Nachteile der Technologien könnte auch deren Anwendung in der Logistikwirtschaft erhöht werden. Um dies zu erreichen, müssten jedoch mehr Informationen zu den einzelnen Technologien, insbesondere zum Thema Datennutzung und Datenschutz, sowie möglichen Anwendungsfeldern vorliegen. Denkbar sind hierfür verschiedene Studien bzw. Forschungsprojekteprojekte im Themenkomplex „Digitalisierung, künstliche Intelligenz und Logistik“, z.B. in Bezug auf die Fragestellung, wie BigData-Lösungen mit dem Wettbewerbsprinzip in der Logistik vereinbar sind oder wo die Grenzen der Gestaltbarkeit von Logistiksystemen in Zeiten von künstlicher Intelligenz liegen.

# 1 Ausgangssituation und Ziele der Studie

## 1.1 Ausgangssituation

Die Bedeutung eines innovativen und leistungsfähigen Wirtschaftsverkehrs kann für einen Wirtschaftsstandort wie Baden-Württemberg mit einem starken produzierenden Gewerbe kaum überschätzt werden. Denn erst eine leistungsfähige Logistik ermöglicht eine hohe Arbeitsteilung und Vernetzung der wirtschaftlich tätigen Akteure. Dabei eröffnen digitalisierte Logistikkonzepte auch für das verarbeitende Gewerbe völlig neue Möglichkeiten, z.B. durch Realisierung von »Industrie 4.0« Produktionskonzepten, die darauf abzielen, auch kleine Losgrößen hochproduktiv zu fertigen. Gleichzeitig bilden innovative Logistiksysteme die Grundlage für neue Handels- und Konsummuster bzw. für die Versorgung der Bevölkerung mit Gütern und Waren aller Art zur richtigen Zeit, am richtigen Ort bei gleichzeitig minimiertem Ressourceneinsatz.

Unter der Digitalisierung der Logistik wird in dieser Studie die Spiegelung sämtlicher logistischer Abläufe im virtuellen Raum verstanden. Damit dies gelingt, muss eine hohe Transparenz über die zu befördernden Pakete, Waren, Ersatzteile, Verbrauchsmaterialien etc. entlang der logistischen Kette sichergestellt werden. Erst wenn einzelne Objekte über den gesamten Logistikprozess identifiziert und lokalisiert werden können, ist die Gestaltung nahtloser und digitaler Daten- und Informationsprozesse möglich.

Für die Logistik ist die Digitalisierung kein neues Phänomen. Die Logistikbranche hat frühzeitig die Potenziale digitaler Technologien erkannt. So werden bereits an unterschiedlichen Stellen digitale Technologien zur Prozesssteuerung und Prozesskontrolle eingesetzt. Insbesondere die Kommissionierung ist heute ohne digitale Technologien kaum mehr vorstellbar. Dabei werden Objekte, Paletten und Pakete gescannt und die so eingelesenen Informationen in digitalen Informationssystemen verarbeitet. Auch bei der Sendungsverfolgung sind digitale Technologien nicht mehr wegzudenken, die regelmäßig dem Sender und Empfänger Informationen über den aktuellen Aufenthaltsort bzw. Abwicklungsstatus der Sendung liefern (Schmid & Brockmann 2006). Zielsetzungen für den Einsatz solcher digitalen Werkzeuge in der Logistik sind allen voran Effizienz- und Produktivitätssteigerung, Qualitätsverbesserung und Steigerung des Servicelevels (Kille, Schmidt & Stölzle 2018, 28).

Im Zuge der Digitalisierung sind in jüngerer Zeit in unterschiedlichen Branchen und Bereichen neue Technologien zur Identifikation und zur Nachverfolgung von Objekten entwickelt worden, die auch unter den englischsprachigen Begriffen »Object Tracking« bzw. »Tracking and Tracing« zusammengefasst werden. Der Begriff Tracking steht dabei für die Identifikation bzw. Nachverfolgung des aktuellen Aufenthaltsortes eines Objektes, der Ausdruck Tracing spiegelt die Verarbeitung, Analyse und Archivierung dieser Information wider (Schmid & Brockmann 2006). Neben QR-Codes ist hier z.B. die RFID-Technologie oder die sogenannte »Nearfield-Communication« (NFC) zu nennen. Auch durch digitale Bilderkennung können heute Objekte vergleichsweise sicher erkannt werden.

Die technologische Entwicklung zur Identifikation, zur Erkennung und zur Verfolgung von Objekten und Warenströmen hat sich in den vergangenen Jahren massiv beschleunigt (Kümmerlen 2018b). Neben den Entwicklungen neuer technologischer Verfahren ist hervorzuheben, dass gleichzeitig die Kosten für den Technologieeinsatz sinken, so dass sich sukzessive neue Einsatzmöglichkeiten und Applikationsfelder für diese Technologien eröffnen. Damit einhergehend könnte die Digitalisierung der Logistik eine neue Stufe erreichen.

Diese Entwicklung geht damit einher, dass der Einsatz von Technologien zur Identifikation von Objekten sich längst nicht mehr auf hochspezialisierte Unternehmen beschränkt, sondern heute auch im Konsumentenbereich weit verbreitet ist. Bahnfahrkarten und Flugtickets werden beispielsweise seit längerem standardmäßig über QR-Codes eingelesen, wofür nicht einmal spezielle Lesegeräte erforderlich sind – ein gewöhnliches Smartphone genügt. Mit dem Einsatz der Technologie im Kundensegment ergeben sich wiederum völlig neue Skalierungsmöglichkeiten, weshalb die Kosten kontinuierlich sinken. In diesem Zusammenhang eröffnen sich für Technologien zur digitalen Erkennung von Objekten neue Applikations- und Einsatzfelder, die weit über die Güterlogistik im engeren Sinne hinausreichen. So haben z.B. Maschinenbauunternehmen ein Interesse daran, die verbauten Komponenten einer Anlage eindeutig identifizieren zu können, um zu erkennen, wann welches Teil wo getauscht oder gewartet wurde. Unter dem Stichwort »Serialisierung« werden dabei Erkennungs- und Identifikationsstrukturen entwickelt und eingeführt, die darauf abzielen, verbaute Ersatzteile und Komponenten eindeutig zu bestimmen – so wie heute schon Pharmaunternehmen jede einzelne Medikamenten-Verpackung mit einer eindeutigen Seriennummer ausstatten. Die dafür notwendige Hard- und Software stammt inzwischen nicht selten aus dem Konsumenten-Bereich und wird im Sinne eines »Ubiquitous Computing« zunehmend in die Arbeitsabläufe integriert.

Neben der Technologie und den Anwendungsfeldern verändert sich aber auch die Art und Weise, wie die Technologie im Arbeitsprozess eingesetzt und verwendet wird: Es macht einen Unterschied, ob ein Lagerarbeiter mit einem Handscanner die Regale ausliest oder ob eine elektrisch betriebene Flugdrohne diese Tätigkeit übernimmt. Mit der zunehmenden Technikentwicklung könnten sich mittelfristig neue und weitreichende Automatisierungspotenziale bzw. Arbeitsabläufe ergeben. Die Unternehmen müssen abwägen, welche Technologien jeweils vor dem Hintergrund der Anwendungsfelder und Geschäftsmodelle einen Mehrwert bieten (Kümmerlen 2018b).

Bei der Vielfalt und der Dynamik der existierenden Technologien zur digitalen Objekterfassung fällt es jedoch schwer, einen Überblick zu behalten und zu erkennen, welche Potenziale die einzelnen Technologien für das Anwendungsfeld Logistik bereitstellen. Mit der vorliegenden Untersuchung soll ein Beitrag zur Schließung dieser Lücke geleistet werden.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel der Studie »Track and Trace Technologien im Überblick« ist die Identifikation, Strukturierung, Darstellung und Bewertung technologischer Ansätze der digitalen Objekterkennung. Darunter werden die Technologien gefasst, die darauf abzielen, Objekte zu erkennen, über eine Strecke zu verfolgen bzw. eine Kommunikation zwischen Objekten und anderen Objekten bzw. Menschen herzustellen. Von besonderer Bedeutung ist die Beantwortung der Frage, welchen Reifegrad diese Technologien haben und welche Implikationen sich daraus für die Neugestaltung bzw. die Weiterentwicklung logistischer Liefer- und Zustellprozesse ergeben.

Ein solcher Technologieüberblick ist nicht allein für klassische Logistikunternehmen von Bedeutung, sondern nahezu für jede Branche interessant, in der Waren- und Teile bewegt und transportiert werden müssen. Konkret werden in der Studie folgende Teilziele verfolgt:

- Identifikation unterschiedlicher Objekt-Tracking Technologien
- Beschreibung der Technologien und deren Vor- und Nachteile
- Aufzeigen von potenziellen Bedarfs- und Anwendungsfeldern
- Entwicklung von Kriterien zur Strukturierung der technologischen Ansätze
- Abschätzung der Effekte auf unterschiedliche Logistik-Bereiche

## 2 Technologieradar und Definitionen

Die digitalen Technologien zur Objekt-Erkennung lassen sich zunächst in vier Bereiche untergliedern, die sich hinsichtlich ihrer Funktionsweise unterscheiden (Abb. 01):



**Optoelektronische Verfahren** wandeln digitale Daten in Lichtsignale um – und umgekehrt. Diese Verfahren sind in fast allen Bereichen des täglichen Lebens zu finden: Jeder Bildschirm, Laser und optischer Speicher funktioniert mittels optoelektronischer Verfahren. Ein klassisches Einsatzfeld ist beispielsweise die Kennzeichnung von Waren mit Barcodes, die automatisiert an Supermarktkassen erfasst werden. Das Objekt muss sich hierzu in engem Abstand zum Lesegerät befinden bzw. über Sichtkontakt eindeutig abgelesen werden.



**Sender-Empfänger-Systeme** basieren auf einem digitalen Signal, das zwischen einem Sender (meist als »Tag« bezeichnet) und einem Empfänger ausgetauscht wird. Mittels verschiedener Verfahren werden die auf dem Sender gespeicherten Daten an den Empfänger übertragen. Solche Systeme werden klassischerweise bei Türschließenanlagen verwendet (Transponder) oder bei der Diebstahlsicherung im Einzelhandel. Das Objekt muss sich hierzu in gewissem Abstand zur Leseinheit befinden, direkter Sichtkontakt ist nicht erforderlich.



**Real Time Location Systems (RTLS)** ermöglichen die Objektverfolgung in Echtzeit. Sie sind nicht auf die Registrierung von Ereignissen angewiesen, wie das bei optoelektronischen Verfahren und Sender-Empfänger-Systemen der Fall ist. Das Objekt muss dabei nicht via Sichtkontakt ausgelesen werden, muss aber in kontinuierlichem Austausch zum empfangenden System stehen. Durch RTLS wird es möglich, die Bewegung von Objekten kontinuierlich in Echtzeit nachzuverfolgen. Die Navigation über GPS und Mobilfunkdaten ist ein bekanntes Beispiel für RTLS-Systeme.



**Blockchain-Technologien** basieren auf einer Liste von Datensätzen, die chronologisch und verschlüsselt miteinander verknüpft sind. Aufgrund des Netzwerkcharakters einer Blockchain ist eine Veränderung der gespeicherten Daten nicht möglich, ohne dass auch die folgenden Datensätze verändert werden. Über die Speicherung von Prozess-Ereignissen in den Datensätzen ist die Blockchain-Technologie auch für Logistikzwecke interessant, befindet sich hier jedoch noch im Anfangsstadium der Anwendung. Die Objekte stehen dabei in kontinuierlichem Informationsaustausch zu sämtlichen Akteuren der Blockchain. Bisher ist die Blockchain-Technologie vor allem im Zusammenhang mit der Kryptowährung Bitcoin bekannt.

**Abb. 01: Übersicht der vier zentralen Technologien zur digitalen Objekterkennung. Eigene Darstellung.**

Innerhalb dieser vier Basis-Verfahren existieren unterschiedliche Varianten zur Objekterkennung. So lassen sich optoelektronische Verfahren über die sogenannte Optical Character Recognition sowie 1D-, 2D- und 3D/4D Barcodes abbilden. Sender-Empfänger-Systeme sind entweder an eine RFID- oder NFC-Technologie geknüpft. Zu den Real Time Location Systems zählen z.B. Bluetooth, Wifi, GPS und Mobile Phone Tracking. Die Blockchain stellt dabei eine Sonderform dar, da sie nicht per se als Methode zur Objekterfassung, sondern vielmehr als Softwarelösung zur Objektverfolgung bezeichnet werden kann.

Um die Anwendungsfelder und die Vor- und Nachteile des Einsatzes der unterschiedlichen Technologien und Varianten beurteilen zu können, bedarf es zunächst einer Strukturierung und Gliederung der verschiedenen Möglichkeiten der digitalen Objekterkennung. Hierbei ist zum einen zu beachten, wie weit die Entwicklung der jeweiligen Technologie bis heute vorangeschritten ist bzw. inwieweit sie bereits in der

Logistik zum Einsatz kommt (Zeithorizonte 2000, 2010 und 2020). Zum anderen wird die Basistechnologie zur Strukturierung herangezogen, da diese für das jeweilige Einsatzfeld bzw. den Anwendungsfall entscheidend ist (Abb. 02).

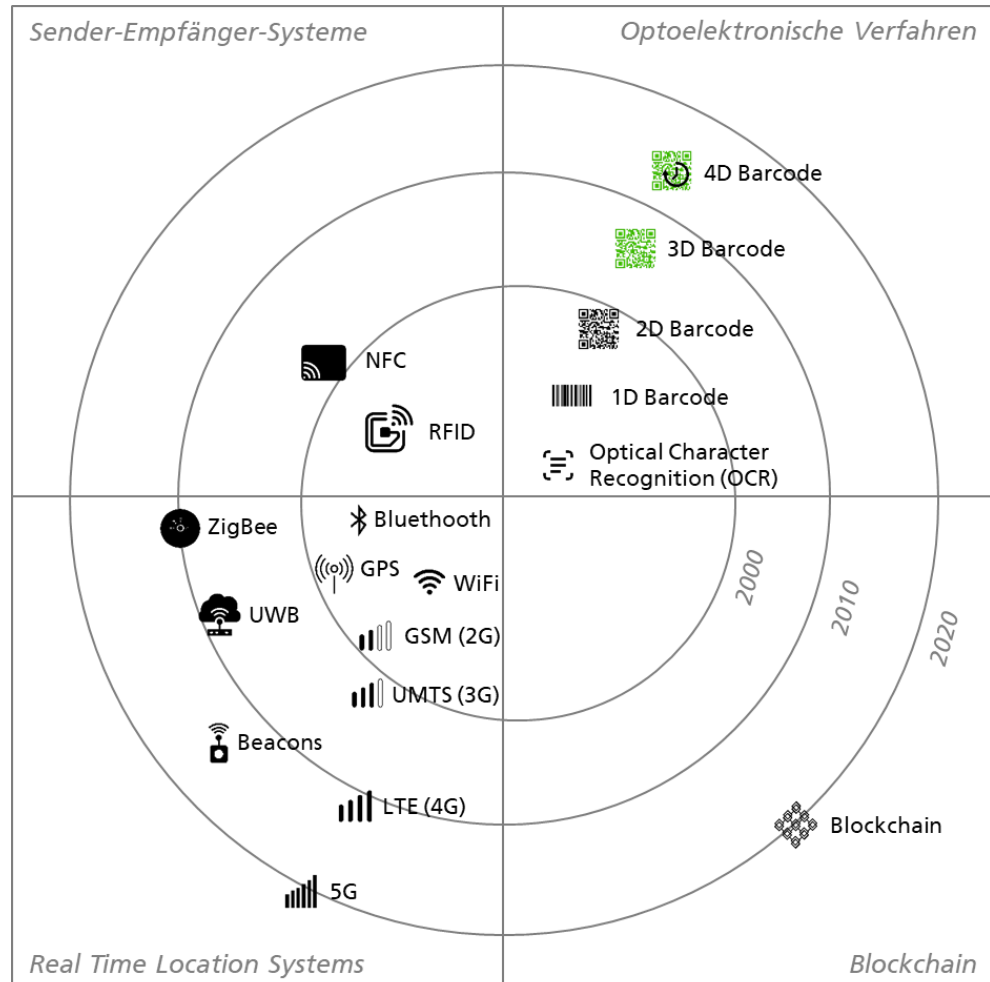


Abb. 02: Technologie-Radar zu bestehenden und potenziellen Möglichkeiten für die Erkennung von Objekten im Kontext logistischer Anwendungen. Eigene Darstellung.

Im Folgenden werden die einzelnen Technologien und deren Varianten näher erklärt, Anwendungsfälle beschrieben sowie Vor- und Nachteile aufgezeigt. So kann schließlich die jeweilige Technologie für unterschiedliche Nutzungen im Anwendungsfeld Logistik bewertet werden.

## 3 Objekterfassungsmethoden im Detail





Für die Objekterfassung stehen unterschiedliche Technologien zur Verfügung, die jeweils in unterschiedlichen Umgebungen und Situationen zum Einsatz kommen. Ziel dieses Kapitels ist es, die für die Logistikbranche relevanten technischen Funktionsweisen zu erklären, deren Vor- und Nachteile aufzuzeigen sowie typische Anwendungsfälle darzustellen.

### 3.1 Optoelektronische Verfahren

Im Allgemeinen ist die Optoelektronik das »Anwendungsgebiet aller elektronischen Bauelemente, die Licht in ein elektrisches Signal umformen bzw. die umgekehrte Funktion ausüben« (Böhmer et al. 2010, 276). Beispiele für konventionelle Bauteile der Optoelektronik sind Fotodioden, Anzeigebausteine oder Bildröhren. Die Bauteile und Methoden der Optoelektronik kommen u.a. auch bei der Erfassung und Nachverfolgung von Objekten zum Einsatz. Diese optoelektronischen Identifikationssysteme nutzen entweder die Umrisse eines Objektes oder Markierungen aus Farbe, Reflexmarken, Schriften, Symbolen, Strich- oder Punktcodes, um Informationen zu speichern bzw. zu erkennen. Zur Erkennung werden bestimmte Lesegeräte wie Scanner oder Kameras eingesetzt. Diese beleuchten das Objekt und empfangen das reflektierende Licht. Dadurch werden die Zeichen (z.B. Symbole, Strichcodes) decodiert und die dahinterliegenden Informationen sichtbar gemacht. Derartige visuelle Systeme eignen sich vor allem dann, wenn die Objektivität, die Geschwindigkeit und die Genauigkeit eine große Rolle spielen (Hesse & Schnell 2009). Das gängigste Verfahren ist dabei die Text- und Bilderkennung über Barcodes.

#### 3.1.1 Funktionsweise und Charakteristika von Barcodes

Der Einsatz von Barcodes in der Kennzeichnung und Erfassung von Objekten ist gegenwärtig (noch immer) die meistgenutzte Object-Tracking Methode im Anwendungsfeld Logistik. Entwickelt wurde die Technologie bereits Ende der 1920er Jahre. Im Jahr 1949 wurde das erste Strichcode-System zum Patent angemeldet (Hesse & Schnell 2009). Es existieren – gestaffelt nach Speicherdichte – heute unterschiedliche Arten von Barcodes (Abb. 03).



	<p>Einzeilige bzw. lineare (1D-) Barcodes, in der nach einer Kodierungsvorschrift eine Sequenz paralleler dunkler Striche auf hellem Hintergrund abgebildet ist, wobei in Abstand und Breite der Striche die Informationen gespeichert sind. Je nach Art des Codes (z.B. Code 39, CODABAR, Code 93 FULL ASCII) können verschiedene Arten von Zeichen (Klein-, Großbuchstaben, Zahlen, Sonderzeichen) codiert werden.</p>
	<p>2D-Barcodes, entweder in Form von Stapel- oder Matrixcodes, in denen die Informationen nicht als Linien, sondern anhand Algorithmen in eine Matrix aus schwarzen und weißen Flächen umgerechnet werden. Für das Generieren und Lesen der Matrixcodes wird ein Bildverarbeitungssystem benötigt. Die Speichermenge beträgt das bis zu 15fache im Vergleich zu den 1D-Barcodes bei gleichzeitig geringerem Platzbedarf. Außerdem erlauben Matrixcodes durch die Möglichkeit der Erzeugung redundanter Zeichen eine gewisse Fehlerkorrektur im Falle beschädigter oder verschmutzter Label. Der bekannteste Stapelcode ist der gängige PDF417, die am häufigsten eingesetzten Matrixcodes sind QR-Code, Aztec und MaxiCode.</p>
	<p>In 3D-Barcodes stellen beispielsweise der Farbton, die Farbsättigung oder die Farbhelligkeit die dritte Dimension dar. Sie werden hauptsächlich im Bereich von Mobile Commerce und Mobile Business eingesetzt.</p>
	<p>4D-Barcodes wurden im Jahr 2007 von deutschen Forschern entwickelt. Die vierte Dimension ist eine zeitliche Komponente, sodass diese Barcodes animiert erscheinen. Sie werden in der Praxis jedoch noch kaum eingesetzt.</p>

**Abb. 03: Übersicht über verschiedene optisch lesbare Barcodes. Quelle: Eigene Darstellung nach Hesse & Schnell 2009, 338ff.; EFS GmbH 2011, o.S.**

Um einen Barcode lesen zu können, muss das Lesegerät mindestens so lange an diesen gehalten werden, bis der Abtastvorgang abgeschlossen ist. Das Objekt kann hierbei auch weiterbewegt werden, jedoch muss sich immer der gesamte Barcode inklusive so genannter vor- und nachgelagerter »Ruhezonen« innerhalb des Lesebereiches befinden (Hesse & Schnell 2009, 338). Je nach Lage, Transportrichtung, Geschwindigkeit und Verschmutzungsgrad sind entsprechend andere Lesegeräte (z.B. verschiedene Arten von Laserscannern, Bildsensoren/Kamerasysteme) zu wählen, die auf die jeweiligen Rahmenbedingungen angepasst sind (Hesse & Schnell 2009). Mittlerweile können auch handelsübliche Smartphones – ausgestattet mit der richtigen Soft- und ggf. Hardware – als Lesegeräte dienen. Über die Kamera des Smartphone wird der jeweilige Code gelesen und erfasst (Scandit 2016). Diese Technik entwickelt sich zunehmend weiter, sodass vermehrt auch kaputte, weit entfernte, kontrastarme oder verwinkelte Codes identifiziert werden können.

Für die offizielle und gewerbliche Nutzung der Barcode-Technologie ist eine Registrierung bei den verantwortlichen öffentlichen Standardisierungsstellen (z.B. UPC, EAN) notwendig. Die Kosten der Nutzung hängen von der Anzahl der zu identifizierenden Objekte und den Umsatzerlösen ab. Schließlich wird für den Einsatz der Technologie eine Barcode-Generierungssoftware benötigt, ein Barcode-Drucker, ein Lesegerät sowie das nötige Verbrauchsmaterial (Abb. 04).



	 <b>1D-Barcodes</b>	 <b>2D-Barcodes</b>
Geeignete Drucker	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direct Thermal Printer, spezielles Papier</li> <li>• Thermal Transfer Printer, spezielle Folie, zu bedruckender Untergrund</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Handelsübliche Drucker</li> <li>• Druck direkt in die Oberfläche des Bauteils über z.B. Laser, Nadelprägung oder elektrochemische Ätzung</li> </ul>
Geeignete Lesegeräte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laser-Scanner (Single Scan Line oder Omnidirectional; stationär oder handheld; kabelgebunden oder kabellos; Verbindung über USB und Bluetooth; Kompatibilität mit iOS und Android)</li> <li>• CCD-Scanner (Beleuchtung mit LED)</li> <li>• 2D-Image-Scanner (Kamera mit Software bzw. App für Smartphone)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• z.T. CCD-Scanner (Beleuchtung mit LED)</li> <li>• 2D-Image-Scanner (Kamera mit Software bzw. App für Smartphone)</li> </ul>
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prüfgerät zur Kontrolle der Druckqualität (optional)</li> <li>• Bei Verwendung eines 2D-Imagers wird Notwendigkeit eines hohen Schwarz-Weiß-Kontrastes und Notwendigkeit für hohe Kantenschärfe reduziert: Druck auch mit herkömmlichen Druckern möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klebstoff oder andere Art der Aufbringung, falls nicht bereits auf selbst klebende Folie oder Labels gedruckt wird</li> </ul>

**Abb. 04: Notwendige und optionale Komponenten für den Einsatz von 1D- und 2D-Barcodes.**  
**Quelle: Eigene Darstellung nach BarcodesInc 2018.**

Neue Entwicklungen in der 2D-Barcode-Technologie erlauben den Einsatz auf sehr kleinen Flächen (»Micro-QR-Code«), die Verschlüsselung von Barcodes, die das Lesen erst mit einem speziellen Entschlüsselungsgerät ermöglichen (»Secure QR-Code«), sowie die Verdichtung von Informationen auf derselben benötigten Fläche (»iQR-Code«) (Denso Wave Incorporated 2018). Für die 2D-Barcodes ist außerdem hervorzuheben, dass diese – je nach Fläche und Maximalzahl kodierbarer Zeichen – 7% (Low) bis 30% (High) Datenverlust, z.B. in Form fehlender Teile, überzeichneter Stellen oder leicht verschwommener Oberflächen, rekonstruieren können. So werden 2D-Barcodes z.T. von Unternehmen sogar »missbraucht«, um die Codes mit Firmenlogos oder Abbildungen zu personalisieren (»Design-QR-Code«) (DataGenetics 2013).

Jedoch ergeben sich bei 2D-Codes insbesondere im Hinblick auf zu schwache Kontraste, falscher Beleuchtung bei reflektierendem Untergrund und Hintergrundrauschen auch heute noch oftmals Probleme mit der Lesbarkeit. Für 1D-Codes sind zusätzlich Fehler beim Druck (z.B. Unvollständigkeit, Verschwommenheit, Helligkeit), Beschädigung, Verschmutzung sowie Verformung oder der falsche Winkel bzw. die falsche Ausleuchtung des Scanners dafür ausschlaggebend, dass diese nicht vom Lesegerät erfasst werden können (BarcodesInc 2018; Jodin & ten Hompel 2012). Derartige Ausfälle müssen manuell korrigiert werden, was den Einsatz der Barcode-Technologie in automatisierten Prozessen erschwert (McCathie 2004). Auch das Aufkleben der

(typischerweise 1D-) Barcodes auf Waren und Objekte führt teilweise zu Lesbarkeits-Problemen, beispielsweise wenn runde Verpackungen eingesetzt werden. Der Druck auf Papier-Etiketten macht Barcodes zudem empfindlich gegen Umwelteinflüsse, z.B. durch Nässe, Verbleichen und Beschädigung.

Technisch gesehen haben 1D-Barcodes nur einen begrenzten Informationsgehalt, was deren Einsatzmöglichkeiten einschränkt. Mit den 2D-Barcodes ist diese Herausforderung jedoch passé. Dennoch ist die Programmierung der Barcodes – welcher Dimension auch immer – nicht veränderlich, sodass Korrekturen nur durch einen neuen Barcode angepasst werden können. Die 2D-Barcodes können darüber hinaus dem sogenannten »Atagging« zum Opfer fallen, indem Matrixcodes mit schädlicher Software von Hackern manipuliert werden, um sensible Daten auf dem Smartphone auszulesen.

Neben diesen Nachteilen und Herausforderungen des Einsatzes von Barcodes zur Objekterfassung liegen die Vorteile auf der Hand: Barcodes basieren auf einer breiten Basis von Anwendern und Anwendungsfällen. Dies hat zu einer Standardisierung der Barcode-Technologie geführt, die heute noch Vorteile durch die allgemeingültige, weltweite Lesbarkeit bzw. Generierung der Barcodes bietet. Darüber hinaus ist die Barcode-Technologie einfach zu handhaben, schnell einsatzbereit und die Label sind kleiner und leichter im Vergleich zu anderen Technologien. Die gespeicherten Daten in den Barcodes sind hochaktuell und mit durchschnittlichen Kosten von unter 1 Cent pro Label ist der Einsatz von Barcodes zur Objekterfassung vergleichsweise günstig (McCathie 2004). Trotz der Probleme, die beim Lesevorgang auftreten können, ist die ausgereifte Technologie der optoelektronisch lesbaren Barcodes in der Gesamtbetrachtung sehr genau und mit einer nur geringen Fehlerrate behaftet.

### 3.1.2

#### Barcodes im Anwendungsfeld Logistik

Barcodes werden in der Logistik vielfältig zum Zweck des Object-Tracking eingesetzt. Sie ermöglichen eine günstige und einfache Identifikation und Nachverfolgung von Waren und Teilen. 1D-Barcodes in Kombination mit einer Unique Identifying Number sind beispielsweise in der Paketzustellung das gängigste Verfahren zur Speicherung von Objektdaten wie Inhalt, Versandart und -ort. Ausgerüstet mit diesem Code können die Pakete identifiziert und deren Wege nachvollzogen werden (Post CH AG 2018). Auch die Rücksendung von Brief- und Paketsendungen kann mithilfe von Barcodes auf Rücksendeetiketten einfach gestaltet werden. Neben der Paketzustellung ist ein typisches Einsatzfeld von 1D-Barcodes in der Logistik und Industrie das Tracking von teurem Spezialwerkzeug, von Industrieausstattung, Computerhardware und Büroausstattung zur Vorbeugung von Diebstahl und Verlust. Die Informationen der Barcodes können in einer Datenplattform gespeichert werden, die schließlich dem Unternehmen Auskünfte über die Aktivposten liefert (McCathie 2004). Darüber hinaus werden Barcodes zur Qualitätskontrolle eingesetzt – vor dem Hintergrund, dass in Zeiten der »Just in Time« und »Total Quality Control« Logistik die exakte Angabe über Ort und Zeit der Lieferungen ein entscheidender Wettbewerbsvorteil ist. Mit der Speicherung von Informationen wie Fertigungsdatum, Seriennummer und verwendetes Material in den Barcodes wird die Prüfung der Qualität der jeweiligen Objekte und deren Lieferung vereinfacht (McCathie 2004). Bei der Wahl des verwendeten Codes muss jeweils darauf

geachtet werden, welche Geometrie (z.B. Breite, Kompaktheit, Liniendichte), Druckbarkeit (z.B. Fehldrucktoleranz, Material) und Sicherheit (z.B. Prüfziffer) erreicht werden sollen.

Auch 2D-Barcodes kommen in der Identifikation und dem Tracking von Objekten in der Logistik zum Einsatz, hauptsächlich in den Bereichen Lagerlogistik, Inventarisierung, Dokumentennachverfolgung sowie dem Ticketing. Der zentrale Vorteil von 2D-Barcodes im Vergleich zu ihren eindimensionalen Vorgängern liegt im höheren Informationsgehalt. So können viel mehr Informationen zu Objekten und Prozessen in den 2D-Barcodes gespeichert werden und sie sind selbst wie eine kleine Datenbank zu sehen (McCathie & Michael 2005). Dies ist beispielsweise im Anwendungsfeld der Lagerlogistik von großer Bedeutung, da hier durch den höheren Informationsgehalt die Produktivität der Mitarbeitenden erhöht und der Lagerflächenbedarf minimiert werden können. Dies bringt Kosteneinsparungspotenziale mit sich (McCathie 2004). Für das Lesen der 2D-Barcodes werden zwar aufwändigere Lesegeräte (2D- Sensoren, wie CCD-Kameras) benötigt, die noch vor wenigen Jahren als teuer und kompliziert galten – heute sind sie jedoch bereits in vielen Geräten, wie Smartphones integriert und können z.T. auch Fehler (z.B. Schiefe, Entfernung, Verschmutzungen) auf 1D-Barcodes ausgleichen (Jodin & ten Hompel 2012). Neben der Auswahl der geeigneten Geometrie (z.B. Fläche, Kompaktheit) muss für den Einsatz von 2D-Barcodes im Vorfeld ebenso die mögliche Druckbarkeit (z.B. Auflösung), die nötige Sicherheit (z.B. Prüfziffer, Fehlerkorrektur), die benötigte Datenmenge und die optimale Lesegeschwindigkeit festgelegt werden.

Das Barcode-basierte Object Tracking wird stetig weiterentwickelt und an die speziellen Bedürfnisse von Logistikdienstleistern angepasst. Es existiert mittlerweile beispielsweise ein Pilotfahrzeug, in das ein Kamerasystem und eine lernende Software integriert ist. Ziel dieses Systems ist es, KEP-Dienstleister bei der Beladung, Sortierung und Auslieferung der Pakete zu unterstützen. Mit technischer Hilfe soll die Beladung beschleunigt und die Suchzeiten innerhalb des Fahrzeuges verkürzt werden (Bennühr 2018): Das Kamerasystem erkennt Pakete automatisch über die an der Außenseite angebrachten Barcodes, unabhängig vom Winkel und der Art, wie der Fahrer das Paket in den Laderaum trägt – solange es für eine kurze Zeitspanne durch das Kamerasystem erfasst werden kann. Im Fahrzeug wird über ein visuell blinkendes Signal ein optimaler Platz für das Paket vorgeschlagen («Pick-to-Light»). Orientierungspunkte hierfür sind die Auslieferdaten (z.B. Tour, Adresse). Auch während der Fahrt wird die Position der Pakete kontinuierlich überwacht, sodass auch im Falle des Verrutschens beim Ausladen die korrekte Position des Paketes über aufblinkende LED mitgeteilt werden kann («Pick-by-Light»). Mithilfe dieses Systems sollen sowohl die einzelnen Schritte für den Fahrer vereinfacht werden, als auch der gesamte Zustellprozess verkürzt werden. Zudem sollen die Daten aus dem im Fahrzeug integrierten System auch in Echtzeit über eine Plattform zur Verfügung gestellt werden, sodass eine höhere Transparenz in der KEP-Zustellung erreicht werden kann.

Auch in anderen Anwendungsfeldern wie der Lagerlogistik werden mittels neuer technischer Möglichkeiten Objekterfassungssysteme auf Basis der Barcode-Technologie weiterentwickelt. Kamerasysteme in Lagerhallen, die Barcode-Scans als Referenzpunkte nutzen, ermöglichen neben einer Kontrolle der Standorte und einem einfacheren Auffinden von Paletten im Lager ebenfalls eine Abmessung des Volumens einzelner Packstücke. So können Vertragsverstöße eindeutig dokumentiert und Probleme schnell

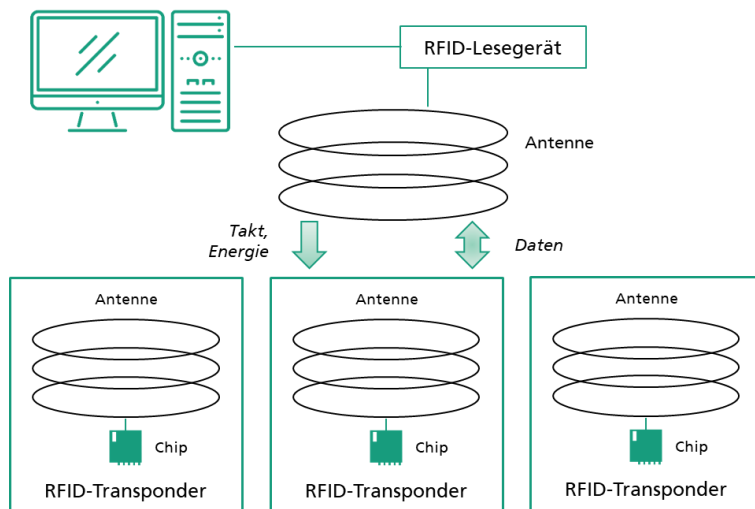
erkannt werden (Walter 2018a). Neben klassischen Kamerasystemen wird auch »Augmented Reality« dazu genutzt, Objekte im Lager zu finden. Für diese »Pick-by-Vision« Technik werden entweder Datenbrillen oder Smartphones eingesetzt: Die Kommissionierungsliste wird als digitale Datei auf das jeweilige Endgerät geladen. Die Informationen zum nächsten Objekt auf der Liste erscheinen nun digital in der Brille oder auf dem Smartphone und leiten den Lagermitarbeiter an. Das Ausdrucken der Listen auf Papier entfällt und Fehler werden durch die direkte Kommunikation und den unmittelbaren Scan der »Picks« reduziert. Im Vergleich zu Smartphones liegt der Vorteil von Datenbrillen darin, dass die Mitarbeiter ihre Hände frei haben. Und im Gegensatz zur Pick-by-Light-Technik, in der aufleuchtende Displays zur Orientierung der Mitarbeiter eingesetzt werden, bietet das Pick-by-Vision System insgesamt eine kostengünstigere und flexibel einsetzbare Alternative im Lager (Reif & Günthner 2009). Neben Datenbrillen kommen auch Kommissionierungshandschuhe oder Ringscanner (Lesegerät wird als Ring am Finger getragen) bereits in der Praxis zum Einsatz (Kümmerlen 2018c; Stölzle et al. 2018). Trotz der Vorteile, die diese tragbaren digitalen Arbeitsmittel – auch »Wearables« genannt – bieten, müssen sie zunächst umfassend getestet und ihre Auswirkungen auf die physische und psychische Gesundheit der Arbeitnehmer analysiert werden (Falkenstein 2018, 15).

Das optoelektronische Verfahren der Objekterfassung via Barcodes findet sowohl im Alltag, z.B. beim Einkauf im Supermarkt, als auch in Nischenmärkten und in Verbindung mit neuen technischen Systemen wie der »Augmented Reality« Anwendung. Trotz seiner Schwächen, wie dem notwendigen Sichtkontakt zwischen Barcode und Lesegerät sowie der fehlenden Möglichkeit der stetigen Objektverfolgung ohne die Bindung an punktuelle Ereignisse, sind Barcodes heute noch immer das meistgenutzte Verfahren des Object Tracking im Anwendungsfeld Logistik. Die Vorteile der Standardisierung, der geringen Kosten und der breiten Anwendungsmöglichkeiten tragen dazu bei, dass optoelektronisch lesbare Barcodes auch zukünftig in den Prozessen nicht wegzudenken sind. Neue technische Entwicklungen, wie z.B. der Einsatz von »Augmented« oder »Virtual Reality« können zudem dazu beitragen, noch mehr Anwendungsfelder zu erschließen bzw. die Barcode-Technologie für verschiedene Nutzergruppen noch interessanter zu machen.

## 3.2 Sender-Empfänger-Systeme

Sender-Empfänger-Systeme basieren auf dem Austausch von Informationen über elektromagnetische Wellen. Für die auch als Transponder- bzw. Tag- (»Label, Etikett«) oder RFID-Systeme (Radiofrequenz-Identifikation) bezeichneten Verfahren werden Mikrochips und Antennen auf oder in Objekten angebracht (Hesse & Schnell 2009; EFS GmbH 2011). Der Datenaustausch zwischen dem Sender und dem Empfänger erfolgt entweder induktiv über elektromagnetische Felder oder über elektromagnetische Wellen (Günthner o.J.). Im klassischen Fall verfügt der Transponder selbst über keine eigene Stromquelle. Der Mikrochip im Transponder löst einen Lesevorgang aus, sobald er sich in Reichweite eines Empfängergerätes befindet und über dieses drahtlos Energie empfängt (Hesse & Schnell 2009; Abb. 05). Die Erfassungsreichweite ist dabei abhängig von der Umgebung (z.B. Einschränkungen in Wasser) und der Art des Transponders

(Strassner 2005). Im Unterschied zum Barcode ist bei RFID-Systemen die Maschinenlesbarkeit auch ohne Sichtkontakt gewährleistet (Tamm & Tribowski 2010).



**Abb. 05: Bestandteile und grundlegende Funktionsweise eines RFID-Systems. Quelle: Eigene Darstellung nach Tamm & Tribowski 2010, 13.**

### 3.2.1

#### Funktionsweise und Charakteristika von RFID-Systemen

Die ersten Vorläufer der kommerziellen RFID-Technologie wurden in den 60er Jahren zur Identifikation von Eisenbahnwagen genutzt, nachdem die britische Armee bereits im Zweiten Weltkrieg Sender-Empfänger-Systeme zur Identifikation von Flugzeugen und Panzern eingesetzt hatte (EFS GmbH 2011; Tamm & Tribowski 2010). In den 1970er Jahren kamen dann RFID-Systeme mit 1 Bit Speicherkapazität zur Warensicherung bzw. Diebstahlsverhinderung zum Einsatz – ein noch heute beliebtes Anwendungsfeld der Technologie. Durch den Einsatz von RFID-Systemen in Mautsystemen in den USA und Skandinavien sowie die Nutzung der Technologie für Zutrittskontrollen, bargeldlosem Bezahlen oder elektronischen Wegfahrsperrern erhielt RFID ein immer größeres Interesse in immer mehr Anwendungsfeldern (Tamm & Tribowski 2010). So wurde schließlich im Jahr 1999 ein internationaler Standard zur Warenidentifikation entwickelt (Electronic Product Code (EPC)). Dieser war Ausgangspunkt für eine voranschreitende Massenproduktion, die die Preise für die benötigten Komponenten deutlich senken lies: Heute werden RFID-Tags auch in Verbrauchsgegenständen angebracht (EFS GmbH 2011) und es besteht ein sehr großes Angebot unterschiedlicher Optionen für unterschiedlichste Nutzergruppen und Anwendungsfelder (Finkenzeller 2015).

Im Prinzip basieren RFID-Systeme auf der Übertragung von auf einem Sender (»Tag«, Transponder) gespeicherte Daten über ein Lesegerät an eine Software bzw. ein IT-System, durch das die Daten verarbeitet werden (Abb. 05). Der Transponder ist ein Computerchip, der eine Antenne besitzt und eine Identifikationsnummer senden kann (Strassner 2005). Auf Basis dieser grundsätzlichen Funktionsweise existieren verschiedene Arten von RFID-Systemen, die sich nach ihren Eigenschaften, z.B. in Bezug auf die Energieversorgung, die Programmierbarkeit oder ihren Frequenzbereich

unterscheiden (Finkenzeller 2015). Die Auswahl der jeweiligen Systeme hängt stark vom jeweiligen Einsatzzweck ab. Im Folgenden werden die wesentlichen Unterschiede kurz skizziert.

Betriebsart: RFID-Systeme lassen sich hinsichtlich der Betriebsart in Voll- und halbduplex Systeme (FDX) sowie sequentielle Systeme (SEQ) unterteilen. Bei den Duplex-Systemen werden die auf dem Transponder gespeicherten Daten bei eingeschaltetem Hochfrequenzfeld des Lesegerätes übertragen. Im Falle sequentieller Systeme wird das Feld des Lesegerätes für kurze Zeit abgeschaltet. Erstere benötigen bestimmte, z.T. aufwändige Übertragungsverfahren, um die Signale von Transponder und Lesegerät unterscheiden zu können. Letztere bringen den Nachteil mit sich, dass die Energieversorgung des Transponders kurzzeitig ausfällt, was durch den Einbau von zusätzlichen Batterien ausgeglichen werden muss (Finkenzeller 2015).

Datenmenge: Die auf den Transpondern gespeicherte Datenmenge reicht normalerweise von wenigen Bytes bis zu mehreren Kilobytes. 1-Bit-Transponder stellen eine Ausnahme dar und werden für sehr einfache («Null-Eins») Übertragungen angewandt, z.B. zur Diebstahlsicherung im Einzelhandel (Finkenzeller 2015).

Energieversorgung und Programmierbarkeit: RFID-Transponder werden laut EPC in fünf Klassen unterteilt, wobei grundsätzlich zwischen passiven Transpondern – ohne Eigenenergieversorgung bzw. Energiegewinnung aus dem elektromagnetischen Feld des Lesegerätes – und aktiven Transpondern – mit integrierter Energieversorgung – unterschieden wird (Tamm & Tribowski 2010, 15f.):

Klasse 0: passive Transponder, in denen die Seriennummer bereits zum Zeitpunkt der Herstellung auf dem Chip aufgebracht ist und die daher nicht mehr geändert werden kann.

Klasse 1: passive Transponder, die einmalig beschrieben werden können, sodass die Seriennummer auch nach der Herstellung vergeben werden kann.

Klasse 2: passive Transponder, die wiederbeschreibbar sind und auf denen somit die Seriennummer oder benutzerdefinierte Daten mithilfe eines Lesegerätes gespeichert bzw. geändert werden können.

Klasse 3: semi-aktive Transponder, die mit einer internen Batterie ausgestattet sind, mit der sie ihren Mikrochip versorgen. Zum Senden der Daten wird aber die Energie des Lesegerätes genutzt. Ohne Lesegerät sind diese Transponder wie die passiven Transponder inaktiv.

Klasse 4: aktive Transponder, die ihre eigene Energieversorgung zum Betrieb des Mikrochips und zum Senden der Daten einsetzen, die jedoch nicht mit passiven Transpondern kommunizieren können. Durch Batterieunterstützung können die aktiven Tags bis zu 100 m weit senden und mit dieser hohen Sendeleistung sinkt die Beeinträchtigung durch Umgebungseinflüsse. Wiederholtes Senden mit maximaler Leistung verkürzt jedoch die Lebensdauer der Batterie (Strassner 2005).

Klasse 5: aktive Transponder, die ihre eigene Energieversorgung zum Betrieb des Mikrochips und zum Senden der Daten einsetzen und die mit passiven Transpondern kommunizieren können. Diese Transponder werden aufgrund des Aussendens eines eigenen elektromagnetischen Feldes auch als Telemetriesender bezeichnet.

Datenübertragung und Antwortfrequenz: Die Kopplung zwischen Lesegerät und Transponder funktioniert auf drei physikalisch unterschiedliche Arten:

- a) Kapazitive Kopplung, indem zwischen zwei benachbarten elektrischen Leitern ein elektrisches Feld entsteht, über das Ladungen von einem zum anderen Leiter verschoben werden. Das elektrische Feld ist von der Frequenz, der Geometrie und der Spannung abhängig und bietet daher wenig Toleranz bezüglich Abstand und relativer Position.
- b) Induktive Kopplung, bei der eine stromdurchflossene Spule im Lesegerät ein Magnetfeld erzeugt, welches in der Spule des Transponders eine Wechselspannung generiert. Über das elektromagnetische Feld können Daten ausgetauscht werden. Dabei ist die Datenübertragung abhängig von Strom bzw. Stromänderung. Die höchste Leistungsübertragung wird bei mittleren Frequenzen generiert.
- c) Elektromagnetische Wellen, die in der Antenne des Lesegeräts erzeugt werden und im Transponder eine Wechselspannung hervorrufen. Elektromagnetische Wellen sind einfach gesagt »abgelöste Feldlinien des [Magnet-] Feldes« (Günthner o.J., 13). Diese Art der Kopplung ist für größere Entfernungen geeignet. Die Datenübertragung erfolgt durch Modulation der eintreffenden Welle und deren Rückstreuung an das Lesegerät. Hierbei lassen sich wiederum drei Arten unterteilen: 1) Reflexion (Backscatter/Lastmodulation) der übertragenen elektromagnetischen Wellen auf der gleichen Frequenz (1:1). 2) Anwendung von Subharmonischen, indem durch digitale Teilung der Sendefrequenz die Antwortfrequenz des Transponders resultiert (1:n). 3) Erzeugung von Oberwellen durch Vervielfachung der Sendefrequenz im Transponder (n-fache) (Finkenzeller 2015).

Frequenzbereich: Der Frequenzbereich ist eines der wichtigsten Merkmale von FRID-Systemen, da damit die übertragbare Datenrate sowie die Reichweite der Signale zusammenhängt. Als Betriebsfrequenz wird der Sendebereich des Lesegeräts bezeichnet. Grundsätzlich werden bei passiven Tags die Frequenzbereiche low frequency (LF, 30-300 kHz), high/radio frequency (HF, RF, 3-30 MHz), ultra high frequency (UHF, 300 MHz-3 GHz) und Mikrowelle (>3GHz) bzw. super high frequency (SHF) unterschieden. Handelsübliche RFID-Frequenzen liegen bei den Frequenzen 12,5 kHz, 134,2 kHz, 13,56 MHz, 868 MHz (EU)/915 MHz (USA), 2,45 GHz und 5,48 GHz (Schmid & Brockmann 2006; Strassner 2005). Damit ergibt sich hinsichtlich der Reichweite der passiven RFID-Systeme eine Einteilung zwischen close coupling (unter 1 cm), remote coupling (bis zu 1 m) und longrange (über 1 m) (Finkenzeller 2015, 15). Je nach Sendefrequenz ist die Übertragung einer Datenrate zwischen 10kBit/s (LF) bis zu 2 Mbit/s (Mikrowelle) möglich. Aktive RFID-Systeme senden meist im UHF- oder Mikrowellenbereich. Im Zusammenhang mit der Sendefrequenz steht auch die Beeinflussung durch Umwelteinflüsse: Im Niedrigfrequenzbereich ist beispielweise bereits ein hoher Lärmpegel, z.B. durch Motorengeräusche, ein Störfeld für die Signalübertragung. Metallische Umgebungen stören ebenfalls die Sendeübertragung, insbesondere im HF-Bereich. Dafür sind LF und HF Frequenzen relativ unempfindlich gegenüber Flüssigkeiten (Günthner o.J.). UHF- und Mikrowellenübertragung werden dagegen vor allem durch Reflexionen und Flüssigkeiten gestört (Strassner 2005). Bei der Auswahl des geeigneten RFID-Systems muss also ein Augenmerk auf den Frequenzbereich gelegt werden (Abb. 06).

Frequenz	Art des Transponders	Kopplung	Einsatzbeispiel	Lesereichweite	Pulkfähigkeit	Format	Kosten*
LF	passiv	kapazitiv	Türschließanlagen	bis zu 1 cm	nein	dicke Spule	höher als HF
		induktiv	Werkzeugidentifikation, Wegfahrsperre, Tieridentifikation	bis zu 50 cm	nein		
HF	passiv	induktiv	Chipkarte mit Zahlungsfunktion, Bücherausleihe	bis zu 1,5 m	ja	dünne Spule	ca. 0,3 €
UHF	passiv	Backscatter	Supply Chain	bis zu 10 m	ja	flach, ca. 0,1 mm	ca. 0,11 €
	semi-aktiv		k.A.	bis zu 6 m	ja	k.A.	k.A.
	aktiv	Transmitter	Container Tracking, Funkautoschlüssel	bis zu 100 m	ja	groß	ca. 20 bis 80 €
Mikrowelle/ SHF	passiv	Backscatter	k.A.	bis zu 4,5 m	nein	kleiner als UHF	höher als UHF
	semi-aktiv		Paletten Tracking, Autobahnmaut, Flotten-erkennung	bis zu 30,5 m	k.A.	k.A.	k.A.
	aktiv	Transmitter	Real Time Location Systems (RTLS)	bis zu 230 m	ja	groß	k.A.

**Abb. 06: Quelle: Eigene Darstellung nach Finkenzeller 2015; Günthner o.J.; Kern 2007; RFID4U 2018**

\* Die Kosten setzen sich zusammen aus den Herstellungskosten für den Mikrochip und die Spule bzw. Antenne sowie den Kosten für das Zusammensetzen und das Aufbringen des RFID-Transponders auf dem gewünschten Material (Tamm & Tribowski 2010). Die aktiven Systeme sind teurer als die passiven, wobei aber die passiven Transponder eine längere Lebensdauer haben (passiv über 20 Jahre, (semi-)aktiv 2-7 Jahre). Dafür ist der Datenspeicher und die Datenaustauschgeschwindigkeit bei aktiven Systemen wesentlich höher als bei passiven (RFID4U 2018).

RFID-Transponder werden je nach Einsatzzweck in unterschiedlichste Bauformen integriert: Beispielsweise werden Transponder bei der Identifikation von Tieren in kleinen Glasröhrchen mit 12-32 mm Länge unter die Haut injiziert. Glas bietet einen hohen Schutz vor Feuchtigkeit und wird deshalb häufig in Kombination mit der LF-Frequenz verwendet. In Plastikgehäusen (»Hard-Tags«) sind RFID-Transponder geeignet für Anwendungen mit hohen mechanischen Anforderungen, wie z.B. Vibrationen. Plastikgehäuse bieten u.a. auch Vorzüge bei der Aufbringung der Transponder auf metallischen Oberflächen (Günthner o.J.). Außerdem besteht die Möglichkeit, RFID-Transponder in Disks und Münzen aus Spritzguss mit einem Durchmesser von wenigen Millimetern bis zu 10 cm zu integrieren. Bei höheren Temperaturanforderungen ist auch der Einsatz von Polystyrol oder Epoxidharz möglich (Günthner o.J.). Auch in Schlüssel, Schlüsselanhänger oder Uhren können Transponder für Zugangssysteme integriert werden (Tamm & Tribowski 2010). Eine weitere Form stellen Inlays, auch bekannt als »Smart Label«, dar. Das sind »papierdünne Transponder, die durch Ätztechnik oder



Siebdruck auf einer 0,1 mm dicken Plastikfolie aufgebracht werden« (Günthner o.J., 45). Sie werden beispielsweise zur Gepäckkennzeichnung am Flughafen genutzt. Diese Smart Label sind in der Praxis gerade deshalb beliebt, da das parallele Bedrucken mit einem Barcode möglich ist und damit der Übergang zwischen Barcode- und RFID-Identifikation vereinfacht wird (Günthner o.J.).

Aufbauend auf der RFID-Technologie wurde die Near Field Communication (NFC) Technologie entwickelt, die die Nutzung durch Personen in den Fokus stellt (Kern 2007). Diese drahtlose Datenschnittstelle ähnelt der Funktionsweise von Infrarot- oder Bluetooth-Signalen, jedoch basiert die Datenübertragung auf einem internationalen Standard, der im vereinfachten Sinne der Funktionsweise eines RFID-Systems mit streng festgelegten Rahmenbedingungen entspricht (Kern 2007). Zur Datenübertragung werden bei NFC hochfrequente magnetische Wechselfelder (13,56 MHz) genutzt (Finkenzeller 2015). Die maximale mögliche Reichweite liegt bei ca. 10 cm. Die Lesedistanz ist bewusst sehr kurz gewählt, damit eine eindeutige und willentliche Zuordnung zwischen Leser – Transponder bzw. Leser – Leser gewährleistet ist. Dadurch werden datenschutzrechtliche Diskussionen minimiert, da »der Benutzer stets derjenige ist, der die Kontrolle ausübt« (Kern 2007, 209). Im Vergleich zu den RFID-Systemen existiert bei der Übertragung über NFC kein eindeutiger Tag bzw. kein eindeutiges Lesegerät: Jedes Gerät kann wechselweise die Funktion eines Senders bzw. Lesegerätes einnehmen. Zur Datenübertragung wird das von einem NFC-Gerät ausgesendete magnetische Wechselfeld in der Amplitude moduliert, so wie es auch bei der klassischen RFID-Datenübertragung der Fall ist. Im Unterschied zu klassischen RFID-Systemen muss jedoch der Transponder nicht zusätzlich mit Energie versorgt werden, da diese Energie durch das elektronische Gerät geliefert wird, in dem das NFC-System verbaut ist. In der Regel können NFC-fähige Geräte auch über RFID-Lesegeräte ausgelesen werden, wenn diese auf die NFC-Frequenz ansprechen (Finkenzeller 2015). Die NFC-Technologie ist somit besonders gut geeignet für die Zutrittskontrolle zu Gebäuden, die Datenübertragung zwischen zwei Geräten, den Geldtransfers oder das Herunterladen von Internet-Links über RFID-Etiketten (Kern 2007).

Der größte Vorteil der RFID-Technologie im Vergleich zur Objekterkennung über Barcodes liegt darin, dass keine direkte Sichtverbindung zwischen Lesegerät und Transponder nötig ist. Der Sender bzw. Transponder kann sich beispielsweise im Innern eines Kunststoffbehälters befinden oder sogar im Objekt selbst verbaut sein – beim Lesen müssen die Objekte weder separiert noch speziell ausgerichtet werden (Tamm & Tribowski 2010). Dadurch ist eine komplette Automatisierung der Prozesskette möglich, da per se kein manuelles Eingreifen nötig ist. Außerdem entfallen aufwändige und fehleranfällige manuelle Prozesse, wie das Drehen und händische Scannen der gekennzeichneten Objekte (Strassner 2005). Auch im Pulk ist generell eine Objekterfassung mittels RFID-Technologie möglich (Tamm & Tribowski 2010). Weitere Vorteile bieten die Bauweise sowie die Datencharakteristik der RFID-Systeme: Sie sind in den verschiedensten Formen und Größen zu erwerben, was die Flexibilität ihres Einsatzes erhöht. Im Vergleich zu den Barcodes können auf RFID-Tags größere Datenmengen gespeichert werden, sodass nicht nur Informationen zur jeweiligen Produktklasse, sondern zu jedem einzelnen Produkt selbst abrufbar sind (Tamm & Tribowski 2010). Zudem können die gespeicherten Daten nicht nur gelesen (read only), sondern auch verändert werden (read-write), wenn der Transponder dafür ausgerüstet wurde (Hesse

& Schnell 2009). Zusammenfassend bieten RFID-Systeme die Vorteile, extrem flexibel einsetzbar zu sein und Lösungen für nahezu jede Fragestellung zu bieten. Die Datenintegrität wird gewährleistet und eine Verschlüsselung der Daten bzw. der Datenübertragung ist ebenfalls möglich (Kern 2007). Zudem bieten die ca. 130 verschiedenen Normen und Standards aus dem RFID-Umfeld (z.B. Schnittstellenstandards, Anwendungsstandards, Datenschutzrichtlinien (Günthner o.J.)) ein großes Spektrum standardisierter Lösungen und sorgen damit für eine breite Einsetzbarkeit und gute Übertragbarkeit der Technologie.

Die RFID-Technologie bietet jedoch auch einige Nachteile. Die wohl größte Herausforderung liegt in der Vielfalt und damit auch Unüberschaubarkeit der Möglichkeiten und Angebote. Oftmals sind auch die Informationen zur Technik und deren Einsatz unvollständig und daher verwirrend. Die größte technische Herausforderung steckt in der Beeinflussung der Datenübertragung von äußeren Störfaktoren: Generell haben unterschiedliche Materialien bzw. reflektierende Oberflächen (z.B. Störfrequenzen oder Feuchtigkeit), elektrisch leitende Oberflächen (z.B. mehrere RFID-Systeme in der Umgebung, auch abhängig von der Temperatur), absorbierende Materialien (z.B. Salzgehalt in der Luft) sowie elektrostatische Aufladung (Chemikalien, Schmiermittel) einen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der RFID-Systeme. Eine Verstimmung der RFID-Signale kann beispielsweise zu einer Verschlechterung der Ansprechempfindlichkeit des Transponders auf der Sendefrequenz und damit zu einer Verringerung der Lesereichweite führen. Im Falle einer Reflexion kann es beispielsweise zu Feldauslöschungen kommen, die in der näheren Umgebung des Transponders dessen Funktionsfähigkeit einschränken (Günthner o.J., 20). Aufgrund der hohen Komplexität der Einflussfaktoren kommen – je nach Einsatzzweck – unterschiedliche spezifische Lösungen zum Einsatz, wie z.B. On-Metal-Tags oder der Einsatz eines Abstandmaterials. Beispielsweise kann so bei passiven Transpondern auch auf Metall eine Lesereichweite von bis zu 4 m erreicht werden (Schmid & Brockmann 2006). Außerdem können mit speziellen Verfahren temperaturunempfindliche RFID-Transponder zum Eingießen in metallische Bauteile hergestellt werden (EFS GmbH 2011). Trotz verschiedener Möglichkeiten zur Einsatzerweiterung existieren jedoch physikalische Grenzen für den Einsatz von RFID-Systemen. Neben Oberflächenmaterialien sind auch andere RF-Quellen und Umgebungszustände (mechanische, chemische, thermische und witterungsbedingte Einflüsse) als mögliche Störquellen zu berücksichtigen und dementsprechend zu analysieren (Günthner o.J.). Das gegenseitige Beeinflussen der Signale bzw. das Abschirmen durch Überlagerung sind weitere Nachteile, die vor allem die – theoretisch mögliche – Erfassung mehrerer Objekte gleichzeitig verfälscht (Günthner o.J.; Strassner 2005). Neben der Anfälligkeit des Systems für solche Störfaktoren sind unter anderem die vergleichsweise höheren Kosten (Strassner 2005), der hohe Aufwand für Entsorgung bzw. Recycling (VDI/VDE Innovation + Technik GmbH 2007), die eingeschränkte Reichweite insbesondere bei passiven (Strassner 2005), jedoch auch bei aktiven Transpondern und die damit einhergehende Einschränkung der Anwendungsfelder (Schulze 2018) als Nachteile zu nennen.

### 3.2.2

#### RFID-Systeme im Anwendungsfeld Logistik

Im Anwendungsfeld Logistik kommt die RFID-Technologie zur Unterstützung und effizienteren Gestaltung logistischer Prozessketten zum Einsatz, insbesondere zur

Kennzeichnung von Waren (v.a. auf der Paletten-Ebene) und Ladehilfsmitteln. Die Möglichkeit der automatischen Datenerfassung mittels RFID ermöglicht den Unternehmen die Gewinnung von Prozessinformationen mit geringen Grenzkosten. Die damit einhergehende Verfügbarkeit einer Vielzahl von Daten erleichtert schließlich das Projektmanagement und -controlling (Strassner 2005). Gängig ist bisher vor allem der unternehmensinterne Einsatz von RFID-Lösungen, unternehmensübergreifende Potenziale werden dagegen noch nicht vollends ausgeschöpft (Gille 2010; Günthner 2011; Strassner 2005): In der unternehmensübergreifenden Nutzung von RFID-Systemen stellen die Integration der Technologie in die bestehenden Geschäftsprozesse und IT-Infrastrukturen, Widerstände von Zulieferern/Abnehmern, Datenschutzbedenken sowie die Frage nach der Kostenübernahme die größten Hürden dar. In folgenden Logistik-Bereichen werden RFID-Systeme aber bereits erfolgreich angewendet (u.a. Franke & Dangelmaier 2006):

In der **Produktionslogistik** dienen RFID-Systeme der Identifikation von Bauteilen, Werkzeugen oder Waren, der Optimierung des Behältermanagements und der Mengenkontrolle. In der Ersatzteilelogistik wird die Technologie darüber hinaus zum Auffinden passender Teile und zur Unterscheidung zwischen Original und Fälschung angewendet. Beispielsweise können RFID-Transponder als elektronische Warenbegleitscheine eingesetzt werden, die der Automatisierung der Montagelinie dienen, indem sie eine eindeutige Identifizierung von optisch schwer unterscheidbaren Produktvarianten erlauben. In der Kombination mit speziellen Sammelbehältern und vollautomatisierten Magazinen geht mit dem Einsatz der RFID-Technik eine Verringerung der Komplexität und eine hohe Ausfallsicherheit einher (Mucha & Müller 2007a). Die Automobilbranche nutzt RFID beispielsweise zur Überwachung des Produktionsfortschritts, indem ein RFID-Tag am fertig zu stellenden Fahrzeug angebracht wird und automatisch an den einzelnen Fertigungsstationen identifiziert wird (Strassner 2005). Darüber hinaus wird die RFID-Technologie auch zur Unterstützung von Wartungsarbeiten eingesetzt, indem an Anlagen und Aggregaten RFID-Tags angebracht werden, die Störmeldungen weitergeben und den Zustand der Anlagen speichern, sodass der Maschinenzustand jederzeit abrufbar ist (Mucha & Müller 2007b).

RFID-Systeme in der **Lagerlogistik** werden u.a. für Kommissionierungsvorgänge, zur Identitätsprüfung von Lagereinheit und Lagerplatz, zur Buchung von Lagervorgängen und in der Lagerplatzverwaltung eingesetzt. So können beispielsweise durch in den Boden eingelassene Transponder auf Lagerplätzen in Kombination mit an Gabelstaplern montierten Lesegeräten Lagerplätze und Waren eindeutig zugewiesen werden. Zusätzlich können Fahraufträge und Warnungen generiert und direkt im Gabelstapler angezeigt werden, wodurch eine elektronische Führung der Fahrzeuge zu den Lagerplätzen erfolgen kann. Insbesondere in witterungsbeeinflussten Lagerstätten ist die RFID-Technologie dabei von Vorteil (Mucha & Müller 2007c). Für die Kommissionierung entfällt durch den Einsatz von RFID-Systemen das Ausdrucken von Pick-Listen bzw. das handschriftliche Anfertigen von Listen. Außerdem werden Fehler in der Kommissionierung reduziert sowie Warte- und Wegezeiten der Kommissionierer durch die intelligente Steuerung verkürzt (Walter 2018b). Insbesondere das mit RFID-Systemen mögliche Bulk-Reading, die Erfassung mehrerer Artikel zur gleichen Zeit, erleichtert die Arbeit in der Lagerlogistik erheblich. Dies bietet wiederum auch für Inventuren und das Bestandsmanagement ein großes Potenzial (Siepenkort & Dukino 2009). Werden RFID-

Tags mit Sensoren versehen oder in Kombination mit unterschiedlichsten internetfähigen Geräten bzw. »Wearables« genutzt, so entstehen sogenannte »Smart Warehouse« Systeme, ein Anwendungsfeld des »Internet of Things« (IoT). Hier sind die Technologien »Pick-by-Vision«, »Pick-to-Light« oder »Pick-by-Voice« eine Möglichkeit zur Effizienzsteigerung in der Lagerlogistik. So kann bspw. über die Signalübertragung des RFID-Systems ein Aufblinker von LED-Lampen hervorgerufen werden, an dem sich die Lagermitarbeiter orientieren können (Budiac 2018).

Für den Bereich der **Distributions- und Beschaffungslogistik** finden RFID-Systeme beispielsweise bei der Kennzeichnung von Waren und Ladehilfsmitteln und der Prüfung des Wareneingangs- und -ausgangs, der Tourenplanung, Sendungsverfolgung und Überwachung der Transportgüter Anwendung, letzteres z.B. zur Erfassung von Temperaturschwankungen während des Transports (Franke & Dangelmaier 2006). Mit dem Einsatz von RFID-Systemen kann beispielsweise auch die Vollständigkeitskontrolle auf Behälter- oder Packstückebene automatisiert erfolgen. Dadurch wird die Wareneingangsbuchung beschleunigt und Bestandsabweichungen im Lagermanagement werden vermieden (Stölzle et al. 2018; Strassner 2005). Mit einer speziellen Software und dem Einsatz der nötigen Sensorik besteht daneben die Möglichkeit, jederzeit den Standort der RFID-Tags zu bestimmen – was neben der Erhöhung der Transparenz von Liefervorgängen und Warenbewegungen auch zu einer Optimierung von unternehmenseigenen Ressourcen führen kann (Strassner 2005).

Die Praxistauglichkeit der RFID-Systeme wird in kleinen Schritten stetig verbessert. Dennoch ist die RFID-Technologie, entgegen aller Prognosen, noch nicht sehr stark in der Logistikbranche verbreitet (Stölzle et al. 2018). Die größte Hürde für den Einsatz der RFID-Technologie liegt nach wie vor in der schwierigen Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Systeme. Insbesondere wenn mehrere Unternehmen im Logistikprozess zusammenarbeiten stellt sich die Frage nach dem Return on Invest – obwohl die Vorteile des Einsatzes der RFID-Technologie zur Optimierung logistischer Prozesse auf der Hand liegen. Ziel sollte es für Unternehmen der Logistikbranche daher sein, die RFID-Technologie als strategisches Instrument zu sehen, um die Produktivität und Effizienz der unternehmensinternen und -übergreifenden Prozesse zu erhöhen. Mit den sich kontinuierlich weiterentwickelnden technischen Möglichkeiten, wie z.B. der Kombination von RFID-Systemen mit (Echtzeit-)Karteninformationen oder der Verknüpfung mit Satellitenkommunikation (Schmid & Brockmann 2006) wird das Anwendungsspektrum der Technologie erweitert und damit auch für bisher zögernde Nutzer zunehmend interessant.

## 3.3 Real Time Location Systeme

Optoelektronische Tracking and Tracing Verfahren sowie Sender-Empfänger Systeme eignen sich für den Informationsaustausch zwischen Sende- und Leseinheiten in räumlicher Nähe bzw. bei gezielten Begegnungen von Sendern und Empfängern. Daneben besteht die Möglichkeit, über digitale Plattformen *kontinuierlich* Daten auszutauschen und damit Informationen zu Standorten und Eigenschaften von Objekten *jederzeit in Echtzeit* zur Verfügung zu stellen (Real Time Location Systems – RTLS). Das Spektrum der RTLS-Systeme ist sehr breit gefasst, was durch die zugrundeliegenden Technologien auf Basis von Licht-, Ton- und Funksignalen oder Magnetfeldern und elektromagnetischen Wellen zu erklären ist. Die derzeit am häufigsten eingesetzten RTLS-Systeme zur Positionsbestimmung sind Mobile Phone Tracking, GPS, WiFi, Bluetooth, Ultra Wide Band (UWB) und ZigBee.

### 3.3.1 Funktionsweise und Charakteristika von RTLS-Systemen

RTLS lassen sich anhand ihres Einsatzortes untergliedern. So werden Mobile Phone Tracking und GPS hauptsächlich im Outdoor-Bereich eingesetzt. Im Indoor-Bereich sind WiFi, Bluetooth, UWB und ZigBee – so genannte Indoor Positioning Systems (IPS) – besser geeignet. Typische Einsatzfelder von Mobile Phone Tracking und GPS sind die Ortsbestimmung von Fahrzeugen sowie die Navigation und Einsatzplanung von Fahrzeugflotten. IPS werden hingegen für eine kleinräumigere Objektverfolgung eingesetzt und finden oftmals auch Anwendung in der Indoor-Navigation (von z.B. Museumsbesuchern) oder im sozialen Bereich (z.B. Unterstützung älterer Menschen im täglichen Leben, Optimierung medizinischer Prozesse in Krankenhäusern) (Alarifi et al. 2016). Die unterschiedlichen Möglichkeiten werden im Folgenden kurz skizziert.

#### 3.3.1.1 Mobile Phone Tracking

Beim Mobile Phone Tracking erfolgt die Ortsbestimmung über ein Endgerät, i.d.R. ein Mobiltelefon, das auf ein Funknetz zugreift. Die aktuell zur Verfügung stehenden Mobilfunkstandards in Deutschland hierfür sind das Global System for Mobile Communications (GSM, 2G), GPRS (2.5G), UMTS (3G), LTE (4G) und LTE Advanced (SH Telekommunikation Deutschland GmbH 2018). Das 5G Netz in Deutschland wird aktuell entwickelt, wobei sehr kurze Latenzzeiten, Übertragungsraten von über zehn GBit/Sekunde in Verbindung mit einem geringeren Strombedarf im Fokus stehen. Die Verwendung des 5G-Netzes wird ab dem Jahr 2020 erwartet (Niemann 2018).

Zur Ortung über das Mobile Phone Tracking stehen unterschiedliche Verfahrensweisen zur Verfügung (Liu et al. 2013; Zhao 2000):

- die Ermittlung des nächst gelegenen Funkmasten (Cell ID),
- die Ermittlung des Schnittpunktes der Signale von zwei oder mehr benachbarten Funkmasten über die Laufzeiten der Signale (Time of Arrival),

- die Trilateration, d.h. die Ermittlung der Time Difference of Arrival von mehreren benachbarten Basisstationen,
- die netzwerkbasierte Triangulation über eine Winkelberechnung des Signaleingangs über mehrere Antennen (Angle of Arrival).

Das Tracking über Mobilfunkverbindungen zielt derzeit hauptsächlich darauf ab, große Datenmengen zu Populationen zu generieren, die z.B. Hinweise auf die Bewegungsströme von Passanten oder Fahrzeugen geben. So werden in der Fahrzeugnavigation neben GPS- auch Mobilfunkdaten zur Ermittlung und Darstellung von Echtzeitinformationen der Verkehrssituation herangezogen. Über die Bestimmung von Geschwindigkeiten und Fahrzeugtypen können dann bspw. auch Erkenntnisse zur Emissionsbelastung in bestimmten Räumen über Datenmodellierung gewonnen werden (Liu et al. 2013).

Ein zentraler Vorteil des Mobile Phone Tracking liegt darin, dass die Nutzung von GSM-Daten eher wenig Energie benötigt und dass das Netz weltweit verbreitet ist. Die Genauigkeit der Verortung ist jedoch geringer als mit anderen Ortungsverfahren. Eine Ungenauigkeit von 45 Metern ist keine Seltenheit. In Räumen mit ausreichendem Netzempfang ist die Genauigkeit von GSM-Tracking vergleichbar mit 2-Minuten-Intervallen der GPS-Nutzung (Liu et al. 2013). Das größte Problem stellt dabei die Nicht-Synchronizität des GSM-Netzwerkes dar. So führen nur geringe Abweichungen der Uhrzeit zu hohen Fehlerraten in der Lokalisierung (eine  $\mu$ -Sekunde führt zu rund 300 Metern Abweichung) (Zhao 2000). Neben der Gefahr der Ungenauigkeit liegt ein weiterer Nachteil des Mobile Phone Tracking in den vergleichsweise eher teuren Datenraten (Schulze 2018).

### 3.3.1.2

#### Global Positioning System (GPS)

GPS ist ein globales Satellitensystem, das von der United States Air Force bereitgestellt wird. Es erlaubt den Nutzern, die exakte Position, Geschwindigkeit und Zeit von Objekten überall auf der Welt zu erfassen, wenn diese mit entsprechender Sensorik ausgestattet sind. Neben dem US-amerikanischen GPS System befinden sich auch satellitengestützte Lokalisationssysteme weiterer Länder im Aufbau oder sind bereits im Einsatz, wie z.B. GLONASS (Russland), Compass/Beidou (China), GALILEO (Europäische Union) und NAVIC (Indien). In all diesen Systemen senden Satelliten («Weltraumsegment«, Abb. 07) permanent Radiosignale mit ihrer genauen Position und der exakten Uhrzeit aus. Über entsprechende Empfänger (Sensoren, »Benutzersegment«) werden die Daten empfangen und umgerechnet: So ergibt sich aus der Laufzeit der Signale die jeweils eigene exakte Position (Längen- und Breitengrad), Höhe und Geschwindigkeit. Aus diesen Angaben können weitere Parameter, wie z.B. Geschwindigkeit oder Kurs berechnet werden. Zur Überwachung dieses Systems werden verschiedene Bodenstationen eingesetzt («Kontrollsegment«) (Zogg 2011).

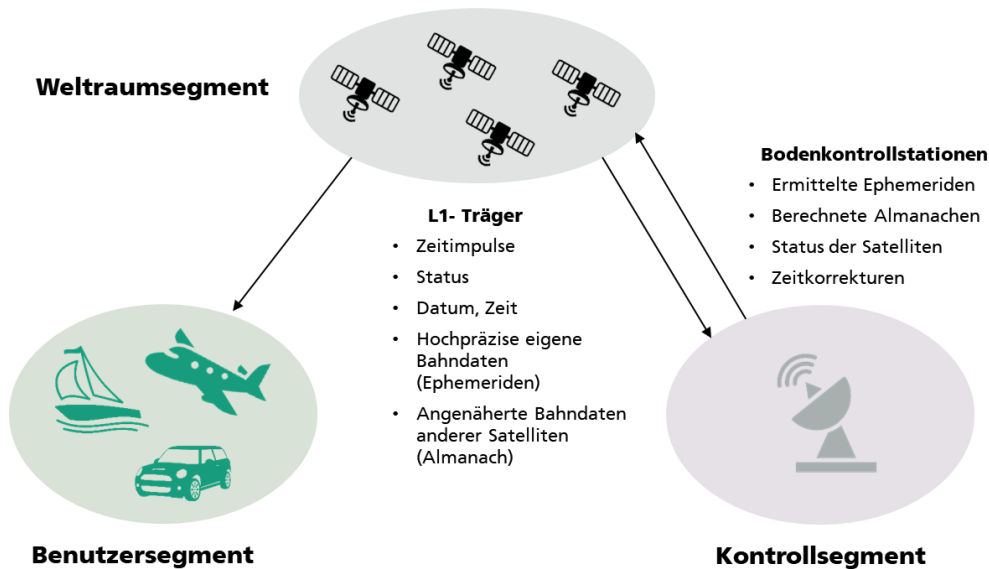


Abb. 07: Die drei Segmente von GPS. Eigene Darstellung nach Zogg 2011, 45.

GPS wurde ursprünglich rein für die militärische Nutzung entwickelt. Mittlerweile wird das GPS-Signal jedoch hauptsächlich für zivile Anwendungen (z.B. Vermessung, Navigation, Objektüberwachung) herangezogen. Die Genauigkeit des GPS Systems beträgt für die zivile Nutzung ca. fünf bis zwölf Meter (Zogg 2011). Diese Ungenauigkeit lässt sich auf Zeitfehler der Satellitenuhren, Ungenauigkeiten in den Satellitenbahnen, Veränderungen der Lichtgeschwindigkeit bei Eintritt in unterschiedliche Sphären, Fehler bei der Laufzeitmessung, Reflexionen oder die Satellitengeometrie zurückführen. Diese Fehler lassen sich jedoch durch geeignete Maßnahmen, wie den Einsatz von Differential-GPS, verringern (Zogg 2011).

Neben der Ungenauigkeit der GPS-Positionierung liegt ein weiterer Nachteil der Technik darin, dass GPS-Systeme nur im Freien funktionieren, dort, wo ein ungehinderter Empfang der Satelliten möglich ist (Zogg 2011). In geschlossenen Räumen ist die Datenübertragung zwischen Satelliten und Empfängern kaum möglich (Lee et al. 2006). Außerdem benötigen eingebaute GPS-Module viel Strom, was eine lange Standzeit bei Batteriebetrieb in elektronischen Geräten verhindert. Dies wiederum ist jedoch hinderlich für einen spontanen Einsatz von GPS-Empfängern, da der Aufbau einer Verbindung zu den Satelliten bzw. die darauf aufbauende Positionsbestimmung erst nach einigen Minuten Wartezeit erfolgen kann. Doch auch hier existieren Lösungsansätze, indem zusätzliche Satelliten-Orbitdaten und weitere Informationen zum System über andere Kommunikationskanäle (z.B. GSM, GPRS, UMTS) übermittelt werden (Assisted GPS) (Zogg 2011). Die GPS-Technik ist darüber hinaus vor allem dazu geeignet, den aktuellen Standort von Objekten festzustellen. Sollen Zusatzinformationen, wie z.B. zum Status oder zur Beschaffenheit von Objekten ebenfalls dargestellt werden, müssen die GPS-Sensoren mit Barcodes oder RFID-Tags kombiniert werden (He et al. 2009).

Ein zentraler Vorteil, der mit der Nutzung von GPS einhergeht, ist die Unabhängigkeit von Telefon-/Mobilfunk- und Internetempfang. So kann GPS überall auf der Welt gleichermaßen eingesetzt werden. Auch die Reichweite des GPS-Signals ist uneingeschränkt, was in Bezug darauf wiederum eine hohe Flexibilität in der Nutzung

mit sich bringt. Aus datenschutzrechtlichen Gründen liefert die Nutzung von GPS ebenfalls Vorteile, da die Nutzer selbst keine Daten an das System übertragen müssen (Alarifi et al. 2016).

### 3.3.1.3 WiFi/WLAN

Das zu Vermarktungszwecken eingesetzte Kunstwort WiFi steht für ein auf WLAN-Technologie basierendes Funknetzwerk. Dieses ist durch die WiFi Alliance nach dem Standard IEEE-802.11 zertifiziert und ermöglicht dadurch die Kompatibilität zwischen verschiedenen Geräten (Alarifi et al. 2016). WLAN – Wireless LAN-Netzwerke – sind Computernetzwerke, in denen das Ethernet-Kabel von einer Funkverbindung ersetzt wird: Die Datenübertragung zwischen den Geräten erfolgt über die Luft (VOIP Informationen 2018). Die Reichweite eines WiFi Netzwerkes liegt bei Verwendung herkömmlicher Router bei 40 Metern (in Gebäuden) bis maximal 300 Metern (im Freien). Diese hängt grundsätzlich von der Umgebung bzw. den Räumlichkeiten, den eingesetzten Antennen und der Sendeleistung des Routers ab (VOIP Information 2018).

Die Positionsbestimmung mittels WiFi kann auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen, wobei immer mehrere Router eingesetzt werden müssen: 1) Mittels der Received Signal Strength (RSS) zwischen Empfänger und WLAN-Signalsender (Network Positioning) oder 2) durch ein aktives Signal, das vom Endgerät gesendet wird (Device Positioning). Bei der Positionsbestimmung über RSS kann eine Genauigkeit von 3 bis 30 Meter erreicht werden (Alarifi et al. 2016).

Der Vorteil des Einsatzes von WiFi zur Positionsbestimmung liegt darin, dass diese innerhalb von Gebäuden meist ohne Verbindungsprobleme möglich ist (Lee et al. 2006). Die Technik ist mittlerweile so weit fortgeschritten, dass WiFi auch gebäudeübergreifend zum Object Tracking eingesetzt werden kann. Zudem vereinfacht die Standardisierung des Netzwerkes und die Integration der entsprechenden Technik in die meisten marktüblichen Endgeräte die umfassende Verwendung des Drahtlosnetzwerkes (Alarifi et al. 2016). Jedoch benötigt WiFi sehr viel Energie, sodass dieses Ortungsverfahren für eine mobile Lösung kaum infrage kommen kann (Schulze 2018). Außerdem ist die Störanfälligkeit sehr hoch, da bereits kleinste Umweltveränderungen, wie z.B. das Schließen einer Tür oder das Verrücken von Gegenständen im Raum einen Einfluss auf die WiFi-Signalstärke haben können (Alarifi et al. 2016). Auch sicherheitsrelevante Probleme können bei der Nutzung von WiFi zur Positionsbestimmung auftreten, da Zugriffe nur schwer kontrolliert werden können (VOIP Informationen 2018).

### 3.3.1.4 Bluetooth

Bluetooth ist ein von der Bluetooth Special Interest Group (SIG) entwickelter Industriestandard gemäß IEEE-802.15.1. Dieser nutzt dieselbe Frequenz wie WiFi-Systeme (2,5 GHz), ist jedoch für die Datenübertragung auf kurzen Strecken optimiert (Brena et al. 2017). Die Idee der Bluetooth-Technologie liegt darin, für den Austausch großer Datenmengen auf kurzen Strecken das Kabel einzusparen – wie z.B. von der Hosentasche



bis zum Ohr (Bluetooth-Kopfhörer) (LinkLabs 2015). Die realistische Bluetooth-Reichweite im Freien liegt daher bei max. 30 Metern (Brena et al. 2017).

Bluetooth Low Energy (BLE) oder auch Bluetooth 4.0 (LinkLabs 2015) ist eine Neuaufgabe der Bluetooth-Übertragungstechnik, mit Reichweiten von rund 10 Metern und einem sehr schnellen Verbindungsaufbau (ca. 5 ms) in Kombination mit einem sehr viel geringeren Stromverbrauch (Batteriereichweite bis zu mehreren Jahren) und geringeren Kosten realisiert werden können (Brena et al. 2017; Burkhart 2015). BLE verfällt im Vergleich zum klassischen Bluetooth bei Nichtnutzung in einen Schlafmodus und benötigt beim Aufwachen nur einen Bruchteil der Zeit zum Verbindungsaufbau. Jedoch können über BLE nicht annähernd dieselben Datenmengen wie beim klassischen Bluetooth übertragen werden (LinkLabs 2015).

BLE wird beispielsweise in der Medizintechnik in Blutdruckmessgeräten eingesetzt, in digitalen Services wie Applikationen des öffentlichen Personennahverkehrs oder im Marketing, indem über die Bestimmung der geographischen Position der Kunden direkte Werbemaßnahmen auf das Smartphone geschaltet werden. Für letzteres werden so genannte Sensor Beacons eingesetzt (LinkLabs 2015). Sensor Beacons sind batteriegetriebene BLE-Signalsender. Dabei ist iBeacon ein spezielles, von Apple entwickeltes Bluetooth-Protokoll für Transmitter, das deren ID und Signalstärke übermittelt. EddyStone ist das Konkurrenz-Protokoll von Google (Anders 2016). Mithilfe der Protokolle kann die ungefähre Position des Empfängers berechnet werden bzw. ob sich dieser sehr nahe (unter 50 cm), nahe (zwischen 0,5 und 2,0 m) oder weiter entfernt (zwischen 2 bis 30 m) zu den einzelnen Beacons befindet (Brena et al. 2017). Die Genauigkeit liegt beim Einsatz der BLE-Beacons bei ca. 1 Meter (Gaudlitz 2015).

Zur Lokalisierung mittels BLE wird hauptsächlich das Bluetooth Distance Measurement eingesetzt, in dem die Position aus der Received Signal Strength (RSS) zwischen Empfänger und vielen Transmittern berechnet wird. Dies wird auch als Fingerprinting bezeichnet (Anders 2016). Eine hohe Anzahl an Transmittern ist dabei aufgrund der geringen Signalreichweite vonnöten, um eine größtmögliche Flächenabdeckung zu erreichen (Larsson 2015). Die Genauigkeit der BLE-Positionsbestimmung über RSS liegt in einem abgegrenzten Raum bei ca. 2 Metern (Brena et al. 2017).

Das größte Problem, das bei der Positionsbestimmung mittels BLE-Beacons auftritt, sind Interferenzen mit anderen Funksignalen, wie bspw. WLAN (Systematic A / S 2018). Zur Lösung dieser Probleme werden jedoch immer bessere Algorithmen entwickelt (Lee et al. 2006). Außerdem ist das System aufgrund der großen Anzahl an Transmittern wartungsintensiv (Systematic A / S 2018). Der Einsatz zusätzlicher Hard- und Software sowie die begrenzte Reichweite von max. 30 Metern sind ebenfalls Gründe, die gegen einen Einsatz von BLE-Beacons sprechen (Gaudlitz 2015).

Doch auch die Vorteile des Einsatzes von BLE-Beacons zu Positionsbestimmung liegen auf der Hand: Die notwendige Bluetooth-Technologie ist als Standard in vielen Endgeräten integriert (Alarifi et al. 2016), die Beacons sind kostengünstig zu erwerben (Systematic A / S 2018), haben eine lange Batteriehaltbarkeit und können flexibel in die bestehende Infrastruktur integriert werden (Gaudlitz 2015). Außerdem ist die Positionsbestimmung im Vergleich zu anderen Technologien sehr viel genauer möglich (ebd.).

### 3.3.1.5 Ultra Wide Band

Ultra Wide Band (UWB) wird in der Nahbereichs-Funkkommunikation eingesetzt, die einen hohen elektromagnetischen Frequenzbereich mit einer Bandbreite von ca. 500 MHz nutzt. Dies ermöglicht eine Datenübertragung in hoher Geschwindigkeit (ca. 100 Mbps) mit nur geringem Energieverbrauch (Alarifi et al. 2016). Klassische Anwendungsfelder für UWB sind Kabel-TV, Radarsysteme, Medizintechnik sowie Lokalisierung und Objekterfassung im industriellen Umfeld (Brena et al. 2017).

Für die Objekterfassung werden Sendergeräte im Raum und entsprechende Sensoren (UWB Transmitter unterschiedlichster Form und Größe) auf den zu trackenden Objekten installiert (Brena et al. 2017). Das System kann jederzeit die Position der Sensoren bezogen auf die Position der Sendergeräte im Raum bestimmen. Hierfür wird entweder die Time of Arrival Methode oder die Time Difference of Arrival berechnet. Eine Genauigkeit von bis zu 15 cm kann damit erzielt werden (Brena et al. 2017).

Die Vorteile der Nutzung von UWB zur Positionsbestimmung liegen in der hohen Genauigkeit (Brena et al. 2017), die v.a. im industriellen Umfeld von großer Relevanz ist. Außerdem treten aufgrund des hochfrequenten Bereiches kaum Interferenzen mit anderen Funksystemen auf (Alarifi et al. 2016) und die Sensoren benötigen nur sehr wenig Energie (Brena et al. 2017). Jedoch muss die teure spezielle technische Infrastruktur zunächst beschafft werden. Darüber hinaus können in metallischen Umgebungen Interferenzen über Signalreflexionen auftreten, die das System negativ beeinflussen und zu einer Abweichung der Genauigkeit führen können (Alarifi et al. 2016).

### 3.3.1.6 ZigBee

ZigBee ist ein von der ZigBee Alliance entwickelter Standard zur kabellosen Kommunikation (Brena et al. 2017). Es ist sozusagen ein drahtloses Netzwerk zur Übertragung eines geringen Datenaufkommens bei begrenzter Reichweite, wie beispielsweise für Sensornetze oder Lichttechnik. Zur Datenübertragung werden lizenzfreie Funkbänder genutzt (2,4 GHz oder 868 MHz) (Donner 2018). ZigBee baut auf dem Standard IEEE-802.15.4 auf, der eine standardisierte Datenübertragung ermöglicht, Sicherheit bietet und Unterstützungsleistungen vorhält (Alarifi et al. 2016).

ZigBee kann als eine Unterform der Low Power Wide Area Networks (LoPWAN/LoRa) gefasst werden. Darunter werden Dateiübertragungsprotokolle verstanden, die eine Reichweite von mehreren Kilometern erreichen, energiesparend arbeiten und permanente Konnektivität ermöglichen. Dies funktioniert, weil die übertragbare Datenmenge sehr klein ist (Schulze 2018). Vom Funktionsprinzip ist ZigBee mit den LoPWAN vergleichbar, allerdings mit eingeschränkter Reichweite von bis zu 100 Metern (Donner 2018). Ursprünglich wurde ZigBee als kostengünstiges WLAN-Netzwerk mit geringen Datenraten und sehr geringem Energiebedarf entwickelt, das z.B. für den Einsatz in der Haustechnik (Smart Home, z.B. Thermostat-Kontrolle), der Verkehrstechnik (Verkehrsüberwachungssysteme) oder der Landwirtschaft geeignet ist (Brena et al. 2017).

In ZigBee-Netzwerken werden drei Gerätetypen mit unterschiedlichen Funktionen unterschieden: a) Der ZigBee Coordinator, der das Netzwerk mit festgelegten Parametern startet; b) der ZigBee Router, der die Datenpakete durch das Netzwerk leitet und c) das ZigBee End Device, meist batteriegetriebene Steuermodule, die über den Router kommunizieren und bei Nichtnutzung in eine Art Schlafmodus fallen (Donner 2018). Mittels ZigBee kann eine Positionsbestimmung von Objekten erfolgen, indem die Router miteinander kommunizieren. Dabei wird die Position der Objekte mittels Received Signal Strength (RSS) bestimmt (vergleichbar mit WiFi und Bluetooth). Neuere, noch in der Entwicklung befindliche Ansätze, nutzen die Phasenverschiebung der reflektierten Signale zur Berechnung der Objektposition (Alarifi et al. 2016).

Eine Konkurrenz zu ZigBee Netzwerken ist das 6LoWPAN. In diesem Akronym sind die neue Version des Internetprotokolls (IPv6) mit Low-Power Wireless Personal Area Networks (LoWPAN) kombiniert. Damit kommt zum Ausdruck, dass mittels 6LoWPAN sogar die kleinsten Objekte mit geringer Prozessorleistung Informationen über ein Internetprotokoll ohne Kabel übertragen können. Dieses Konzept wurde entwickelt, da insbesondere kleine Objekte ohne große Leistungstärke bisher vom Internet of Things ausgeschlossen waren (Ray 2015).

Die Vorteile von ZigBee bzw. generell von LoWPAN/LoRa Netzwerken sind der geringe Energiebedarf und die geringen Kosten im Vergleich zu anderen Ortungssystemen (Alarifi et al. 2016). Allerdings treten auch hier Interferenzen mit anderen Funkssystemen auf (Alarifi et al. 2016), was die Übertragungssicherheit und Genauigkeit einschränkt und datenschutzrechtliche Herausforderungen mit sich bringt.

### **3.3.2**

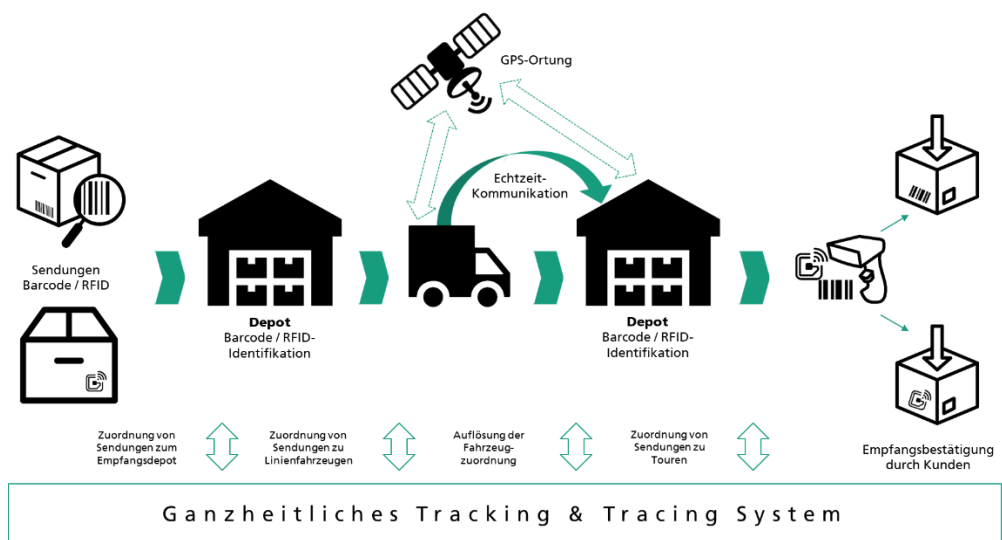
#### **RTLS-Systeme im Anwendungsfeld Logistik**

Aufgrund der Unterschiedlichkeit der einzelnen Real Time Location Systeme (RTLS) ist auch deren Einsatz in der Logistik breit gefächert. Je nach Nutzungsraum (indoor/outdoor), benötigter Reichweite, Umfeld (Abgrenzung, Interferenzen) und Einsatzbereiche eignen sich jeweils andere Techniken zur Objekterfassung.

Das Global Positioning System (GPS) gilt in der Logistikbranche als Standardverfahren für die stetige Sendungsnachverfolgung auf Fahrzeugebene. Die automatische Positionsbestimmung wird hauptsächlich bei bestimmten definierten »Events« übermittelt (z.B. Beladen, Entladen, Fahrzeugstörung) (Schmid & Brockmann 2006). GPS bietet damit die Möglichkeit der Nutzung eines elektronischen Fahrtenbuches, das die Speicherung von Routen und der jeweils benötigten Zeit ermöglicht. Zusätzlich zu den reinen Ortsinformationen können Unternehmen diese Daten durch unternehmenseigene (z.B. Kommissionierungsdaten) oder fahrzeugspezifische Daten (z.B. Kraftstoffverbrauch) erweitern. Sender, Empfänger und Transportunternehmen können somit Bewegung und Statusinformationen ihrer Fahrzeuge in Echtzeit überwachen. Hierdurch wird es möglich, in Problemsituationen sofort einzugreifen, Routen zu optimieren und das Flottenmanagement effizienter zu gestalten (Hajdul & Kawa 2015). Beispielsweise werden Geldtransporter standardmäßig mit GPS ausgestattet: Sobald ein Transporter die vorgeschriebene Route verlässt, wird automatisch ein Alarm ausgelöst (Zogg 2011).

GPS eignet sich sehr gut zur Objektverfolgung im Outdoorbereich auf Fahrzeugebene. Jedoch ist die Positionsbestimmung von GPS nicht ganz exakt, sodass GPS häufig mit Mobilfunkdaten (GSM/GPRS) kombiniert wird, um die Positionsgenauigkeit zu erhöhen (Zogg 2011). Mobile Phone Tracking an sich eignet sich ebenfalls zum Tracking von Flotten in Echtzeit, jedoch wiederum mit eingeschränkter Positionsgenauigkeit. Häufig wird das Mobilfunknetz zur Überwachung der Fracht (z.B. Temperaturkontrolle in Kühlwägen, Übermittlung von Bildern aus Überwachungskameras im Laderaum) genutzt (Westbase Technology Ltd. 2018).

Soll die Position von Objekten nicht nur auf Fahrzeugebene, sondern auf Behälterebene erfasst werden, so bietet beispielsweise die Kombination von GPS mit Barcode/Rfid eine geeignete Lösung zur Optimierung der Prozesse auf der Supply Chain (He et al. 2009; Abb. 08).



**Abb. 08: Theoretischer Aufbau eines quasi-stetigen Sendungsverfolgungssystems mit GPS und RFID/Barcode-Technologie. Quelle: Eigene Abbildung nach Klumpp & Kandel 2012, 80.**

Im Indoor-Bereich werden die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Lokalisierung von Objekten (WiFi, Bluetooth, UWB, ZigBee) in unterschiedlicher Intensität in der Logistik eingesetzt: WiFi wird aufgrund der sehr teuren Tags und des hohen Energieverbrauchs nur selten für das Object Tracking verwendet. Dagegen bieten Bluetooth-Beacons und UWB Systeme vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, jedoch in nur abgegrenzten Räumen. Diese Systeme finden häufig Anwendung in Lager- und Produktionshallen, z.B. zur Ortung von Geräten, Gabelstaplern oder Materialien. Die Vorteile von UWB und Bluetooth liegen im geringen Energiebedarf der Sensoren und der Genauigkeit der Positionsbestimmung, die bei UWB noch exakter ist als bei Bluetooth Low Energy (BLE) Beacons. Problematisch wird der Einsatz von Bluetooth, wenn andere Funkverbindungen im Raum existieren, die die Datenübertragung stören könnten. Dieses Problem existiert bei UWB aufgrund des unterschiedlichen Frequenzbereiches zunächst nicht, jedoch wird von Experten die Gefahr von einer negativen Beeinflussung von anderen Funksystemen (z.B. Fernerkundung) durch UWB geäußert. UWB hat zwar nur eine begrenzte Reichweite, jedoch kann über die sehr hohe Genauigkeit der Ortung zum einen sowohl die Position und Geschwindigkeit von Gegenständen ermittelt werden. Und zum anderen bietet sich UWB-Technologie für Zugangskontrollen und

Kommissionierungsvorgänge, bspw. mittels Pick-by-Light an (Sewio Networks 2018). Letzteres ist vergleichbar mit der Barcode- bzw. RFID-Technologie, bietet jedoch den Vorteil, dass kein direkter Sichtkontakt zwischen Sende- und Empfängergerät existieren muss. Auch ZigBee bzw. LoWPAN Netzwerke eignen sich im Anwendungsfeld Logistik zum Austausch von Sensordaten bzw. zur Übermittlung von Informationen mit geringem Datenaufkommen. Jedoch können schnell bewegende Objekte nicht mittels ZigBee erfasst werden.

Zukünftig wird insbesondere in der in der 5G-Technologie ein großes Potenzial gesehen. Diese bietet für Industrie 4.0- und Automatisierungsprozesse, sowohl in Bezug auf autonomes Fahren als auch für das Internet of Things, große Chancen. Mit 5G wird eine enorme Steigerung der Positionsgenauigkeit bei der Objekterfassung erwartet, sodass beispielsweise auch bei hohen Geschwindigkeiten der Fahrzeuge und einem schnellen Wechsel der Bezugspunkte eine stabile Verbindung existiert. Dies wird über eine Vielzahl kleinerer Antennen an verteilten Standorten sowie die Platzierung von Antennen-Arrays erreicht (Loidl 2018). Aufgrund kurzer Latenzzeiten sollen dann auch sofortige Reaktionen auf Ereignisse oder Gefahrensituationen möglich sein und eine Objekterfassung soll kostengünstig in Echtzeit quasi für jedermann zur Verfügung stehen (Niemann 2018). In Bezug auf das Satellitenbezogene Tracking wird zukünftig vor allem die Verfügbarkeit des europäischen GALILEO-Systems relevant sein, um die Abhängigkeit des amerikanischen GPS-Systems zu reduzieren und die Genauigkeit der Positionsbestimmung in Deutschland zu erhöhen.

### 3.4 Blockchain-Technologien

Vor allem durch den Aufstieg der Digitalwährung »Bitcoin« hat die Blockchain-Technologie in den vergangenen zwei Jahren viel Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit erreicht. Die Blockchain ist überall dort interessant, wo es darum geht, digitale Informationen eindeutig und fälschungssicher zu transportieren. Vor diesem Hintergrund wird der Blockchain-Technologie zugetraut, dass sie das gesamte Finanzsystem revolutionieren kann. Die Technologie ist potenziell aber auch für andere Anwendungsgebiete interessant: Im Prinzip überall dort, wo Informationen in digitalen Netzen weitergeben, gespeichert und für Dritte zugänglich gemacht werden. Dies könnte zur Folge haben, dass intermediäre Organisationen und Unternehmen, die sich heute ausschließlich mit der Abwicklung von Transaktionen beschäftigen, künftig überflüssig werden.

Eine Blockchain ist zunächst einmal eine dezentralisierte und verteilte Datenbank, in der Transaktionen permanent ausgetauscht und sicher gespeichert werden. Die verwendeten Datenblöcke werden unter verschiedenen Parteien aufgeteilt. Eine Blockchain ist also eine Art *Daten-Sharing*, das sowohl öffentlich als auch privat (mit Zugangsrechten) gestaltet sein kann (Heutger 2018). Hierdurch können Fälschungen von Prozessen oder Kontoständen zuverlässig verhindert werden. Entstanden ist die Blockchain-Technologie mit der Entwicklung von Kryptowährungen. Heute löst sie sich jedoch immer mehr von ihrem ursprünglichen Anwendungsfeld und stellt eine Lösung für verschiedene transaktionsbasierende Prozesse dar (Grupp 2018).

Die Blockchain-Technologie nimmt eine Sonderstellung in den bereits vorgestellten Technologien der Objekterfassung ein, da sie nicht mit Sensoren oder Tags physisch greifbar ist, sondern rein im digitalen Raum existiert. Sie basiert jedoch auf den physisch greifbaren Methoden der Objekterfassung, weil jedes Objekt eine digitale Identität vorweisen muss, um in einem Blockchain-basierten Netzwerk registriert zu werden (z.B. Barcode, IoT-Sensorik). Die Blockchain-Technologie ermöglicht somit zwar keine Objekterfassung im eigentlichen Sinne, bietet aber – wenn Transaktionen als Wechsel von Objektzuständen definiert werden (z.B. Ort, Zeit, Besitzverhältnisse) – einen wesentlichen Beitrag bzw. eine Ergänzung zur digitalen Objektverfolgung.

### 3.4.1

#### Funktionsweise und Charakteristika der Blockchain

Die Funktionsweise einer Blockchain lässt sich anhand eines traditionellen unternehmerischen Kontenbuches erklären: Dieses ist im Besitz einer Firma und wird von einem Buchhalter verwaltet. Der Buchhalter kann Veränderungen am Kontenbuch vornehmen, ohne dies allen Firmenbeteiligten mitzuteilen (Heutger 2018). Damit sind gewisse Risiken verbunden, da dem Buchhalter Fehler unterlaufen können oder dieser gar mutmaßlich Fehler begeht. Aus diesem Grund bedarf es einer dritten Partei, die die Arbeit des Buchhalters prüft. Die Blockchain-Technologie setzt an dieser Schwachstelle an, indem sie das Kontenbuch in Stücke zerteilt und diese Teile an die unterschiedlichen Firmenbeteiligten vergibt. Änderungen am Kontenbuch können nur unter Einverständnis und Mitwissenschaft der anderen Firmenbeteiligten vorgenommen werden (Heutger 2018). »Wer jetzt manipulieren möchte, müsste dies bei allen Mitgliedern [...] tun« (Grupp 2018, 48). So kontrolliert sich das System quasi von selbst (Abb. 09).

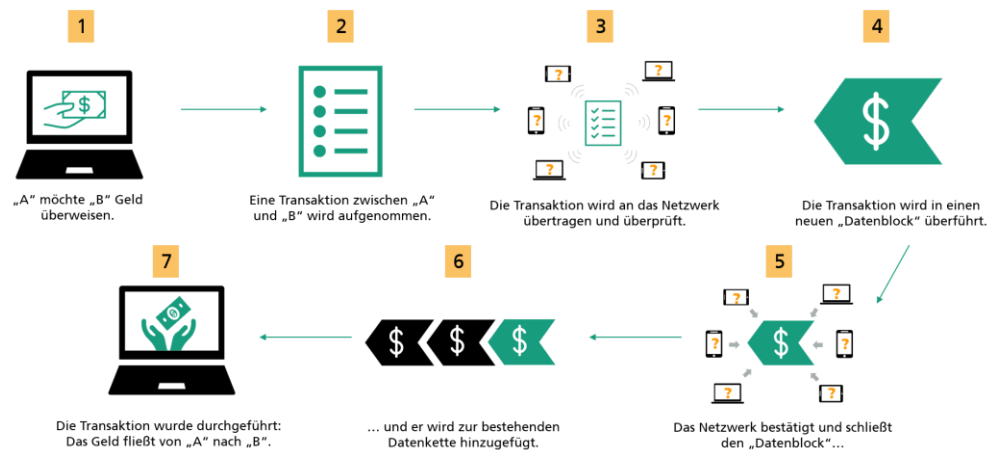


Abb. 09: Schematischer Ablauf einer Blockchain-Transaktion; Quelle: Eigene Abbildung nach Heutger 2018, 5.

Im Detail erzeugt jede Transaktion einen Informationsblock, der in einem Datensatz gespeichert, verschlüsselt und mit einer Prüfsumme versehen wird. Diese Prüfsumme wird in den nachfolgenden Datensatz übertragen, wodurch sich eine konsistente Verkettung der Datensätze ergibt – was den Namen Blockchain erklärt (Grupp 2018, 48).

Eine Veränderung der Informationen eines bestehenden Datensatzes ist nicht möglich, ohne alle nachfolgenden Datensätze ebenfalls zu verändern. Und dies würden alle Teilnehmer des Blockchain-Netzwerkes sofort bemerken. Die Blockchain-Technologien zeichnen sich somit durch drei zentrale Faktoren aus (Gmür & Göbel 2018):

- dezentrale Datenspeicherung und Unveränderbarkeit der Daten,
- Verzicht auf vermittelnde Instanzen,
- garantierte Datenkonsistenz und Authentizität der beteiligten Partner.

Auf diesen Faktoren bauen die Vorteile der digitalen Blockchain-Technologie im Vergleich zu analogen Methoden der Transaktionsabwicklung auf: Transparente, sichere und geprüfte Prozesse, die nicht manipuliert werden können, haben großes Potenzial, um die Komplexität von Unternehmensprozessen zu reduzieren und zu einer Stärkung der Wirtschaftlichkeit beizutragen. Das gesteigerte Vertrauen ist dabei der wesentliche Aspekt (Gmür & Göbel 2018). Durch die dezentrale Speicherung der Daten einer Blockchain besteht zudem kein zentraler Angriffspunkt für Hackerangriffe – Ausfälle bzw. ein Versagen des gesamten Systems werden praktisch unmöglich. Die gesamte Prozesskette wird durch das verteilte System entbürokratisiert, was auch dazu führt, dass jeder Stakeholder zu jeder Zeit über die aktuelle Situation Bescheid weiß. Eine langwierige Dokumentation entfällt. So bietet die Blockchain-Technologie das Potenzial, Lieferverzögerungen zu minimieren, Betrug zu verhindern und die Kosten der Beteiligten zu reduzieren.

Herausforderungen der Blockchain-Technologie liegen u.a. darin, dass der Erfolg von der Anzahl der Nutzer abhängig ist. Je mehr Akteure eine Blockchain nutzen, desto größer ist der Mehrwert, den sie liefert. Je kleiner das Netzwerk, desto zentraler ist die Blockchain angelegt und desto anfälliger ist sie wiederum für Hacker-Angriffe. Aufgrund divergierender rechtlicher Rahmenbedingungen sowie unterschiedlicher Digitalisierungsinteressen gestaltet sich der Aufbau eines Netzwerkes jedoch ggf. zögerlich und muss zunächst im eigenen Unternehmen akzeptiert werden (Heutger 2018). Wird das Netzwerk jedoch sehr groß, wie es das Beispiel Bitcoin deutlich macht, wäre die Nutzung der Blockchain nicht für alle Akteure gleichermaßen möglich: Aufgrund des redundanten Speicherns von Transaktionen in verketteten Datensätzen steigt mit der Größe der Blockchain auch die Anzahl der gespeicherten Daten (Gmür & Göbel 2018). Je länger die Blockchain, desto mehr Speicherkapazität und Rechenleistung eines jeden Knotenpunktes werden benötigt – und diese müssen zunächst bereitgestellt werden (Singh 2018).

Die Datenspeicherung stellt in Bezug auf Datenschutzaspekte eine weitere Herausforderung dar. Aufgrund der dezentralen Datenspeicherung werden auch private Daten geteilt und für alle Mitglieder der Blockchain lesbar. Hier werden bereits Applikationen und entsprechende Hardware entwickelt («Trusted Computing»), die es ermöglichen, private Daten lokal zu speichern und nur die Referenzen an die Blockchain weiterzugeben. Über eine zusätzliche Verschlüsselung wird das Vorhandensein der Daten im Netzwerk sichtbar, nicht jedoch ihre konkreten Inhalte (Gmür & Göbel 2018).

Eine andere Herausforderung liegt in den noch fehlenden Industrie- bzw. Branchenstandards der Blockchain-Technologie. Heute existieren zahlreiche Pilotprojekte und Konsortien, die an Lösungen arbeiten (Gmür & Göbel 2018). Dies kann dazu führen,

dass unterschiedliche und nicht kompatible Systeme entstehen, was den Austausch von Daten zwischen den Systemen erschweren könnte. Außerdem ist zwar durch die Technologie an sich die Fälschungssicherheit der Daten garantiert, jedoch fehlt noch der rechtliche Rahmen für eine Auditierung und Zertifizierung von Blockchain-Technologien (Gmür & Göbel 2018).

Insgesamt liegen bisher nur wenig Erfahrungswerte vor, sodass Schwächen bzw. Herausforderungen der Blockchain-Technologie kaum am konkreten Fall aufzuzeigen sind (Heutger 2018). Das Technologieumfeld der Blockchain ist aktuell sehr sprunghaft (Gmür & Göbel 2018). Diese Technik bedarf deshalb weiterer Entwicklung und dem Einsatz in unterschiedlichen Anwendungsfeldern, um ihr gesamtes Potenzial sowie ihre Schwachstellen zu analysieren.

### 3.4.2

#### **Blockchain-Technologie im Anwendungsfeld Logistik**

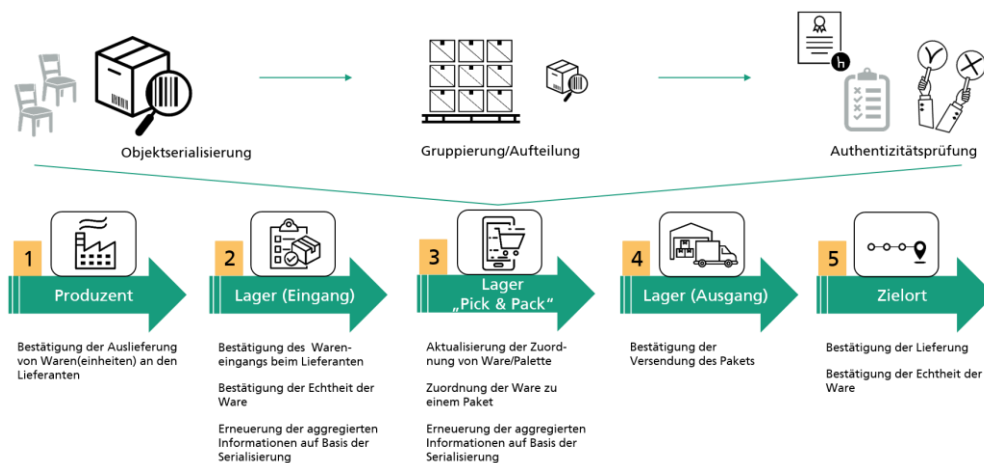
Im Anwendungsfeld Logistik bietet die Blockchain-Technologie die Potenziale der Komplexitätsreduktion sowie der Automatisierung und kann zu einer höheren Transparenz in der gesamten Lieferkette beitragen. Der Einsatz einer Blockchain kann beispielsweise vermittelnde Instanzen zur Verifizierung von Transaktionen ersetzen, indem diese automatisiert abgewickelt und digital bestätigt werden (Gmür & Göbel 2018; Heutger 2018). Dies spart nicht nur finanzielle Mittel, sondern reduziert auch den bürokratischen Aufwand für die einzelnen Akteure. Außerdem ermöglicht die Blockchain-Technologie eine lückenlose Nachverfolgung von Produkten – von deren Entwicklung bis hin zum Verkauf an den Endkunden (Grupp 2018). Zudem können über sichere digitale Transaktionen die Geschäftsbeziehungen zwischen den beteiligten Akteuren auf einer Lieferkette vereinfacht werden, z.B. in Form automatisierter Zahlungen (Heutger 2018) oder über den Aufbau flexibler Ad-hoc Geschäftsbeziehungen zwischen bisher unbekanntem Partnern (Gmür & Göbel 2018).

In der Anwendung sieht ein Einsatz der Blockchain-Technologie beispielsweise so aus, dass ein Einzelhandelskunde über eine Blockchain-basierte Plattform genau nachverfolgen kann, wo und wie nachhaltig ein Produkt hergestellt und transportiert wurde. Über einen Scan des QR-Codes oder ein NFC-Label kann der Kunde die gesamte Logistikkette des jeweiligen Produktes rekonstruieren (Heutger 2018). Dies kann für unterschiedlichste, vor allem emotionale Konsumgüter wie Kleidung, Kaffee oder Kunstgegenstände, einen Vorteil für den Kunden – und damit auch für den Anbieter – darstellen. Auch in produktionsorientierten Industrien, wie beispielsweise dem Maschinenbau, bietet der Einsatz von Blockchain-Technologien ein großes Potenzial durch die Möglichkeit, digitale Abbildungen der einzelnen Komponenten zu speichern. So kann beispielsweise über die in der Blockchain gespeicherten Daten die Funktionsweise von Ersatzteilen lückenlos nachvollzogen werden (Heutger 2018).

Für die zahlreichen beteiligten Akteure einer Supply Chain kann der Einsatz von Blockchain-Technologien zu einer Vereinfachung der Prozesse führen: Oftmals sind die Akteure auf die manuelle Eingabe von Daten oder die (noch) papiergebundene Dokumentation von Prozessen angewiesen. All dies erschwert das Nachvollziehen von Lieferstatus und Funktionsfähigkeit der Güter. Mithilfe der Blockchain wird ein System entwickelt, auf das jeder Stakeholder zugreifen kann, um den Fortschritt der Sendungen



nachzuverfolgen, Rechnungen einzusehen und Unterlagen abzugleichen. So werden Lieferschwierigkeiten frühzeitig erkannt, Betrugsversuche entdeckt und damit schlussendlich Kosten gespart (Heutger 2018; Westerheide 2018; Abb. 10). Mit der Möglichkeit, dass Bedingungen an die Blockchain geknüpft werden können (z.B.: »Hat A genug finanzielle Mittel auf dem Konto, erfolgt automatisiert eine Zahlung an B«), kann auch das Rollen- und Rechtemanagement in Echtzeit geschehen. Hier ist die Rede von »Smart Contracts« (Grupp 2018, 49).



**Abb. 10: Beispielhafter Ablauf einer Blockchain-basierten Objektverfolgung von der Herstellung bis zum Endkunden; Quelle: Eigene Abbildung nach Heutger 2018, 16.**

Insbesondere in Kombination mit den Möglichkeiten einer Weiterentwicklung des Internet of Things für die Logistikwirtschaft ist das zukünftige Potenzial von Blockchain-Technologien in diesem Anwendungsfeld sehr hoch einzuschätzen: Beispielsweise könnten Güter zukünftig selbst ihren Lieferstatus melden. Das System könnte dann automatisch die Lieferung prüfen und die Bezahlung veranlassen (Heutger 2018). Gerade für Lieferketten in der Automobilindustrie würde dies große Vorteile bieten (Grupp 2018). So könnten völlig neue Strukturen in der Logistik entstehen, bei denen über digitale, auch künstlich intelligente Technologien Logistikbedarfe und -angebote über regionale bzw. überregionale Plattformen gesteuert werden. Die Blockchain würde dabei sozusagen die sichere Abwicklung garantieren, da sie Transparenz in Echtzeit zur Verfügung stellen kann. Eine Anwendung von Blockchain-Technologien setzt jedoch voraus, dass das Verfahren von allen Stakeholdern akzeptiert wird und nach einem vorgegebenen Standard abläuft, in dem die Rechte und Pflichten der einzelnen Partner dokumentiert werden (Grupp 2018). Deshalb halten einige potenzielle Anwender die Blockchain-Technologie für noch nicht praxistauglich. Somit bedarf es einer Verdeutlichung der Potenziale und dem Sammeln von Erfahrungswerten, um die Blockchain im Anwendungsfeld Logistik zukünftig breiter einzusetzen (Kümmerlen 2018a).

## 4 Fazit und Ausblick

### 4.1 Bewertung von Object Tracking Technologien für die Logistikwirtschaft

Die Charakterisierung der Object Tracking Technologien im vorherigen Kapitel zeigt, dass es eine große Palette an Möglichkeiten gibt, Objekte zur erfassen und deren Position zu bestimmen. Dabei eignen sich jedoch nicht alle Methoden für dieselben Aufgabenstellungen und Umweltauforderungen. Im Folgenden wird eine Bewertung der Vor- und Nachteile der vorgestellten Technologien geliefert, aus der schließlich abgeleitet werden kann, für welche logistischen Einsatzzwecke die bestehenden Lösungen aktuell geeignet sind und für welche diese zukünftig relevant werden können.

Diese Bewertungskriterien, die insbesondere für die Logistikbranche relevant sind, werden für den Vergleich der Track and Trace Technologien herangezogen:

- der Reifegrad der Technologie: Inwiefern ist diese Technologie bereits entwickelt bzw. wie viel Potenzial bietet deren Weiterentwicklung in Zukunft?
- der Verbreitungsgrad der Technologie: Wie viele Unternehmen/Branchen nutzen bereits die bestehende Technologie?
- der Informationsgehalt: Wie viele Informationen können mit der Technologie übertragen werden?
- die Genauigkeit: Wie genau kann die Positionsbestimmung mit der Technologie erfolgen?
- die Fehleranfälligkeit: Wie häufig muss man mit Fehlern rechnen, die bspw. durch Verschmutzung, Signalüberlagerungen oder anderen Umwelteinflüssen entstehen?
- die Reichweite: Wie nahe müssen Sender und Empfänger beieinander sein, damit die Technologie funktioniert?
- die Flexibilität: Wie flexibel ist die Technologie einzusetzen bzw. wie flexibel sind Bestandteile zu ändern?
- die Kosten: Wie teuer ist die Anschaffung und der Einsatz der Technologie?
- der Automatisierungsgrad: Wie sehr eignet sich die Technologie für die Integration in automatisierte Prozesse?
- die Anwendbarkeit indoor: Wie geeignet ist die Technologie in abgeschlossenen Räumen?
- die Anwendbarkeit outdoor: Wie geeignet ist die Technologie im Außenraum?

Abb. 11 gibt einen Überblick über die analysierten Technologien bezüglich deren Bewertung in den genannten Kriterien.

Technologie	Optoelektronische Verfahren		Sender-Empfänger Systeme			Real Time Location Systems						Blockchain
	1D Barcode	2D+ Barcode	RFID passiv	RFID aktiv	NFC	Mobile Phone	GPS	WiFi	Bluetooth	UWB	ZigBee	
Reifegrad	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Verbreitungsgrad	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Informationsgehalt	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Genauigkeit	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Fehleranfälligkeit	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○
Reichweite	○	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●
Flexibilität	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Kosten	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Automatisierungsgrad	○	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●
Eignung indoor	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●
Eignung outdoor	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Abb. 11: Bewertung der Track and Trace Technologien in Bezug auf logistikrelevante Kriterien. Quelle: Eigene Darstellung.

Unterschiedliche Logistikbereiche sind mit unterschiedlichen Herausforderungen konfrontiert, weshalb sich die aufgezeigten Track and Tracing Technologien je nach Einsatzfeld unterschiedlich eignen. So basiert die **Lagerlogistik** auf Ordnungssystemen, die eine schnelle und korrekte Kommissionierung ermöglichen. Ein zentraler Bestandteil ist dabei das Umladen von Objekten auf verschiedene Behälter bzw. Fahrzeuge. Dieser Prozess ist mit einer hohen Fehleranfälligkeit verbunden. Zudem wird aufgrund steigender Flächenpreise die Optimierung der Lagerbestände immer wichtiger, um unnötigen Flächenverbrauch zu vermeiden. Dahingehend werden auch datenbasierte Kalkulationen, wie das »predictive shipping« zunehmend interessant. Aus diesen Charakteristika heraus sind insbesondere die Kriterien der Genauigkeit, der Fehleranfälligkeit, des Verbreitungsgrades sowie der Eignung für den indoor-Einsatz von besonderer Relevanz. Optoelektronische Methoden (Barcodes) werden in der Lagerlogistik bereits großflächig eingesetzt. Diese werden immer öfter mit digitalen Technologien (z.B. »Pick-by-Light«, »Pick-by-Vision«) verknüpft. Jedoch ist die Fehleranfälligkeit von auf Barcodes basierenden Picking Verfahren relativ hoch, da schon kleine Verschmutzungen oder Unregelmäßigkeiten die Leserlichkeit der Barcodes einschränken. Der Einsatz von RFID-Systemen weist diesen Nachteil nicht auf. Dennoch ist hier wiederum ggf. die Integrität in die gesamte Supply Chain nicht gewährleistet, wenn mehrere Unternehmen beteiligt sind, die nicht dasselbe System einsetzen. Letzteres ist auch (noch) problematisch, wenn der Einsatz von Blockchain-Technologien diskutiert wird. Aufgrund fehlender Standards ist deren Eignung in der Lagerlogistik noch begrenzt, bietet aufgrund der hohen Sicherheits- und Genauigkeitsaspekte aber sehr großes Potenzial in diesem Anwendungsfeld.

In der **Produktions- und Ersatzteillogistik** sind die Prozesse zum einen durch exakte Planung und Lieferung (z.B. Just in Time, Just in Sequence), durch das Funktionieren der Maschinen sowie durch das Produktionsumfeld (ggf. Verschmutzungen oder hohe Temperaturen) gekennzeichnet. Außerdem existieren kaum Lagermöglichkeiten in den Produktionshallen. Hier sind deshalb die Bewertungskriterien der Genauigkeit, der Eignung im indoor-Bereich und des Automatisierungsgrades von hoher Relevanz. Daher bieten insbesondere RFID-Systeme eine geeignete Basis zur Objekterfassung in der Produktionslogistik, da diese unter anderem auch direkt in die Maschinen bzw. in Bauteile integriert werden können. Schwierigkeiten stellen hierbei jedoch die unterschiedlichen Umweltbedingungen in den Fabrikhallen dar, die sich negativ auf die Funktionsweise der Sender und Empfänger auswirken können. Real-Time-Location Systeme, insbesondere Indoor Positioning Systeme, werden aktuell noch wenig in Produktionshallen eingesetzt. Ihr Nutzen scheint jedoch für die spezifischen Belange der Produktionslogistik sehr hoch: Die UWB-Technologie ist beispielsweise kaum fehleranfällig und sehr präzise, wenn es um die Erfassung von Gegenständen im Raum geht. Das Problem besteht hier jedoch (noch) darin, dass UWB-Sensoren nur lohnenswert z.B. auf Fahrzeugen eingesetzt werden können, die Eigentum der Unternehmen sind. Deren Installation auf Bauteilen lohnt sich (noch) nicht, da die einzelnen Bestandteile der Technologie (noch) relativ teuer sind.

Die **Distributionslogistik** ist zum einen charakterisiert durch die Forderung einer pünktlichen und korrekten Lieferung. Zum anderen ist die Kommunikation – mit vor- und nachgelagerten Stellen und an Umschlagpunkten – ein zentraler Bestandteil der Prozesse. Darüber hinaus wird auf die Sicherheit der Fahrer und der transportierten Güter

hohen Wert gelegt. Auf Basis dieser Charakteristika sind insbesondere die Bewertungskriterien des Verbreitungsgrades, der outdoor-Eignung der Technologie und der Informationsgehalt relevant für die Entscheidung, welche Track and Trace Technologie geeignet ist. Zur Lageerfassung der Fahrzeuge werden GPS- und Mobile Phone Tracking bereits breit eingesetzt. Diese Verfahren ermöglichen eine relativ genaue Positionierung der Fahrzeuge und der transportierten Güter auf der Straße. Jedoch ist der vermittelbare Informationsgehalt dieser Technologien – der darin besteht, die exakte Position zu bestimmen – als eher gering einzuschätzen. Es bedarf somit einer Kombination unterschiedlicher Systeme, um sowohl die Informationen zum Bestand bzw. den Charakteristika der transportierten Güter als auch zur Position der Fahrzeuge bzw. der Güter vereinen zu können.

Auch innerhalb der betrachteten Logistikbereiche existieren spezielle Anforderungen, Aufgabenbereiche und Umweltbedingungen, die den Einsatz verschiedener Technologien rechtfertigen. Beispielsweise muss im städtischen Güterverkehr darauf geachtet werden, dass aufgrund fehlender Parkmöglichkeiten ein schnelles Aus- und Einladen erfolgen kann. Hier ist insbesondere die Ordnung im Frachtraum von großer Bedeutung, die durch digitale Technologien wie z.B. »Pick-by-Light«, unterstützt werden kann. Im Fernverkehr hingegen sind die Kosten ein existentieller Faktor. Anders gestaltet sich beispielsweise die Situation auf einem Flughafen oder einer Baustelle, wo durch Interferenzen mit bestehenden Funksystemen Probleme mit verschiedenen Technologien, die auf der Übertragung von Signalen basieren, auftreten könnten.

Somit kann an dieser Stelle keine Empfehlung für den Einsatz bestimmter Track and Trace Technologien in bestimmten Bereichen abgegeben werden. Jedes Unternehmen muss seinen spezifischen Anwendungsfall inklusive Umfeld, internen Anforderungen und Anforderungen der externen Partner einzeln betrachten und die jeweils am besten geeignete Technologie wählen. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass die analysierten Object Tracking Methoden in sehr vielen Fällen Unterstützungsmöglichkeiten für die Prozessoptimierung in den unterschiedlichsten Bereichen der Logistik bieten.

## 4.2 Schlussfolgerungen und Ausblick

In der vorliegenden Studie wurden verschiedene technologische Ansätze der digitalen Objekterkennung identifiziert, strukturiert und anhand für die Logistikwirtschaft relevanter Kriterien bewertet. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass jede Technologie ihre Vor- und Nachteile aufweist, die jeweils von dem spezifischen Anwendungsfall diskutiert werden müssen. Aufgrund ihrer Divergenz in Bezug auf die Charakteristika und die möglichen Einsatzfelder ist den Unternehmen der Logistikwirtschaft zu raten, zunächst die Rahmenbedingungen und Zielsetzungen des Einsatzes so exakt wie möglich zu beschreiben. Erst dann sollten Informationen zu möglichen Technologien eingeholt werden, da nur mit konkreten Vorgaben zum Anwendungsfall geeignete Angebote eingeholt und Erfahrungen ausgetauscht werden können.

Aktuell herrscht noch große Skepsis bei den Unternehmen der Logistikbranche in Bezug auf den Einsatz neuer digitaler Technologien zur Objekterfassung. Die größten

Hindernisse sind dabei zum einen die Investitionskosten, die mit der Installation, Wartung und Nutzung der Technologien einhergehen. Zum anderen ist aber auch die fehlende Kenntnis zu den Einsatzmöglichkeiten bzw. die fehlende Kenntnis zu den Technologien und deren Entwicklungsstand ein Grund dafür, dass die Systeme nicht zum Einsatz kommen. Daraus ergibt sich ein zentraler Ansatzpunkt für Forschung und Politik: Mit der Verbreitung des Wissens über Möglichkeiten und Anwendungsfelder, mit dem Offenlegen der Chancen, aber auch der Nachteile der einzelnen Track and Trace Technologien könnte auch deren Anwendung in der Logistikwirtschaft erhöht werden. Um dies zu erreichen, müssten jedoch mehr Informationen zu den einzelnen Technologien, zum Datenschutz und zu möglichen Anwendungsfeldern vorliegen. Denkbar sind hierfür verschiedene tiefergehende Best-Practice Studien, die am spezifischen Beispiel Vor- und Nachteile sowie Anwendungshinweise und Probleme im Gespräch mit Unternehmensinhabern oder -mitarbeitern aufzeigen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, auf Messen oder Tagungen das Thema zu platzieren und Unternehmen von ihren Erfahrungen berichten zu lassen. So kann gleich der persönliche Kontakt zwischen den Verantwortlichen hergestellt werden.

Darüber hinaus bedarf es zukünftig mehr Grundlagenforschung im Themenkomplex „Digitalisierung, künstliche Intelligenz und Logistik“. Die Themen Digitalisierung und Künstliche Intelligenz sind Bereiche, die für die Unternehmen der Logistikbranche Gewinne und Erleichterungen mit sich bringen werden, aber gleichzeitig auch neue Herausforderungen entstehen lassen. So werden z.B. die Unternehmensprozesse, das Arbeitnehmer-Arbeitgeber Verhältnis und die Wettbewerbssituation dem Einfluss der neuen digitalen Technologien unterliegen. Vor diesem Hintergrund stellen sich beispielsweise die Fragen, wie BigData-Lösungen mit dem Wettbewerbsprinzip in der Logistik vereinbar sind oder wo die Grenzen der Gestaltbarkeit von Logistiksystemen in Zeiten von künstlicher Intelligenz liegen. In derartigen Analysen sollte ein Augenmerk auf die automatisierte Datenerhebung und die Nutzbarkeit dieser Daten für Dritte gelegt werden, um schließlich beispielsweise Planungsprozesse an die logistischen Anforderungen anpassen zu können. Außerdem gilt es zu untersuchen, wie bestehende Datenbestände mit neuen Daten in Beziehung gesetzt werden können – beispielsweise über Algorithmen der Künstlichen Intelligenz –, um schlussendlich Erkenntnisse für zukunftsfähige Geschäftsmodelle in der Logistikwirtschaft zu gewinnen.

Neben der Analyse des Einflusses der digitalen Daten und Technologien ist ein weiteres Augenmerk zukünftig auf deren Weiterentwicklung zu legen. Bei den in dieser Studie analysierten Technologien RFID, RTLS und Blockchain besteht beispielsweise noch großes Entwicklungspotenzial. Dies betrifft zum einen die Forschung zur Übertragbarkeit der Technologien auf unterschiedliche Anwendungsfelder, zum anderen die technologische Weiterentwicklung der Verfahren, z.B. in Bezug auf Genauigkeit, Reichweite oder Kompatibilität mit anderen Systemen. Nur wenn beide Bereiche – Technikentwicklung und Einsatzfelder – parallel betrachtet werden, entstehen digitale Lösungen, die praxistauglich sind und zukünftig einen Beitrag zur Optimierung der Logistikwirtschaft leisten können.

## Glossar

**Augmented Reality:** Die »virtuell erweiterte Realität« wird mithilfe von technischen Geräten, wie Smartphones oder Smart Glasses vermittelt. Ziel ist es, Zusatzinformationen (z.B. Texte, Abbildungen) zur realen Situation mittels digitaler Technik zu liefern. Diese Technologie bietet sich für verschiedenste Anwendungsgebiete an: Sowohl zur Unterstützung der Arbeitnehmer in Produktion und Logistik als auch im Tourismus oder der Freizeitwirtschaft. Ein bekanntes Beispiel der Augmented Reality ist das Smartphone-Spiel »Pokémon Go«, in dem virtuelle Figuren vor den jeweils von der Kamera erfassten realen Hintergrund projiziert werden.

**Barcode:** Als Barcode werden schwarze Linien oder Punkte auf weißem Hintergrund bezeichnet, die durch ihre Anordnung bestimmte Informationen codieren. Diese Informationen kommen durch das maschinelle Einlesen mit Scannern bzw. Kameras zum Vorschein. Es lassen sich unterschiedliche Dimensionen von Barcodes unterscheiden (1D bis 4D).

**Beacon:** Beacons sind kleine Sender oder Empfänger von Bluetooth Low Energy (BLE) Signalen. Sie können flexibel in Räumen oder im Freien angebracht werden, um die Position von Objekten oder Menschen zu bestimmen. Diese ergibt sich über die relative Position der Beacons zu den zu trackenden Gegenständen.

**Blockchain:** Eine Blockchain ist – in einfachen Worten – eine dezentralisierte und verteilte Datenbank, in der Transaktionen permanent ausgetauscht und sicher gespeichert werden. Die verwendeten Datenblöcke werden unter verschiedenen Parteien aufgeteilt. Hierdurch können Fälschungen von Prozessen oder Kontoständen zuverlässig verhindert werden.

**Daten-Sharing:** Das Teilen von Daten in unterschiedlichsten Anwendungsfällen. In dieser Studie wird das Daten-Sharing mit Bezug auf die Anwendung der Blockchain-Technologie in der Logistik betrachtet. Hier führt das Teilen von Daten zu höherer Transparenz in der gesamten Lieferkette, sowohl für Kunden, als auch für Geschäftspartner.

**Internet of Things:** Der Begriff Internet of Things (IoT) beschreibt die Integration der Digitalisierung in das Alltagsleben. Unter IoT wird im Speziellen die virtuelle Vernetzung intelligenter Geräte (z.B. Fahrzeuge, Ladehilfsmittel, Güter) mittels Datenversand und -empfang verstanden.

**LoWPAN:** Die Abkürzung LoWPAN steht für Low-Power Wireless Personal Area Networks. Diese Drahtlosnetzwerke basieren auf der Kombination von niederfrequenter Datenübertragung mit batteriegetriebenen Sendern und Empfängern. Dies ermöglicht einen kontinuierlichen, jedoch langsamen Austausch begrenzter Datenmengen über einen sehr langen Zeitraum. Ein geeignetes Einsatzfeld ist beispielsweise die Übertragung von Sensordaten in Smart City Gebieten.

**Nearfield-Communication (NFC):** NFC ist eine Technologie der drahtlosen Datenübertragung, die auf hochfrequenten magnetischen Wechselfeldern beruht. Die

maximale mögliche Reichweite liegt bei ca. 10 cm. Damit wird eine eindeutige und willentliche Zuordnung zwischen Leser und Sender gewährleistet.

**QR-Code:** Der Quick Response (QR)-Code ist ein spezieller 2D-Barcode, der von handelsüblichen Smartphones und Tablets gelesen werden kann. Die maximale Speicherkapazität eines QR-Codes liegt bei knapp 3.000 Byte.

**Pick-by-Light:** Durch Aufblinken eines auf digitalen Signalen basierenden LED Lichtes wird dem Arbeitnehmer mitgeteilt, wo das entsprechende Objekt (z.B. Paket, Palette) zu finden ist. Die LED Lichter werden meist in Regalsystemen verbaut und finden häufig gemeinsam mit Wearables Anwendung.

**Pick-to-Light:** Durch Aufblinken eines auf digitalen Signalen basierenden LED Lichtes wird dem Arbeitnehmer mitgeteilt, wo das entsprechende Objekt (z.B. Paket, Palette) zu platzieren ist. Die LED Lichter werden meist in Regalsystemen verbaut und finden häufig gemeinsam mit Wearables Anwendung.

**Pick-by-Voice:** Durch eine digitale Ansage bzw. ein akustisches Signal wird dem Arbeitnehmer mitgeteilt, wo das entsprechende Objekt (z.B. Paket, Palette) zu finden ist.

**Pick-by-Vision:** Mittels smarterer Brillen wird dem Arbeitnehmer über entsprechende Anzeigen mitgeteilt, wo das entsprechende Objekt (z.B. Paket, Palette) zu finden ist. Pick-by-Vision funktioniert nur in Kombination mit einer Datenbrille.

**Predictive Shipping:** Eine »vorhersagbare Lieferung« ist im digitalen Zeitalter über die Kalkulation möglichen Bestellverhaltens von Kundinnen und Kunden aus gesammelten historischen Daten möglich. Predictive Shipping befähigt Unternehmen dazu, die Entscheidungen ihrer Kundinnen und Kunden vorhersagen zu können und somit die Effizienz im Unternehmen zu steigern und Lagerplatz einzusparen.

**RFID:** RFID ist die Abkürzung für Radiofrequenz-Identifikation und steht für ein Sender-Empfänger-basiertes System zum Informationsaustausch über elektromagnetische Wellen.

**Smart Warehouse:** Als Smart Warehouse wird ein vollautomatisiertes Lager bezeichnet, in dem alle möglichen Prozesse mittels digitaler Technologien gesteuert werden.

**Virtual Reality:** Das Wahrnehmen der Virtual Reality (VR), der »künstlichen Realität«, wird mittels spezieller VR-Brillen oder in speziellen Räumen ermöglicht: Durch diese kann eine Wirklichkeit betreten werden, in der Bild und Ton computergestützt entwickelt werden. So besteht die Möglichkeit, sich an Orte versetzen zu lassen, die nicht der realen physischen Umgebung entsprechen. Typische Anwendungsfelder von Virtual Reality sind derzeit Aus- und Weiterbildung (z.B. Pilotenausbildung) sowie Freizeit/Unterhaltung (z.B. Fantasy-Welten).

**Wearables:** Als Wearables werden tragbare digitale Gegenstände, wie beispielsweise Handschuhe, Uhren oder Brillen bezeichnet, die auf Basis digitaler Technologien eine Unterstützung der täglichen Arbeit oder des täglichen Lebens darstellen sollen.



## Literatur

- Alarifi, A.; Al-Salman, A.; Alsaleh, M.; Alnafessah, A.; Al-Hadhrami, S.; Al-Ammar, M. & Al-Khalifa, H. (2016): UltraWideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. In: *Sensors*, 16/707. DOI: 10.3390/s16050707.
- Anders, A. (2016): Indoor-Positionsbestimmung mit Hilfe von Bluetooth-Low-Energy-Beacons und Pedestrian Dead Reckoning. Bachelorarbeit an der Otto von Guericke Universität Magdeburg. Online unter: [https://cse.cs.ovgu.de/cse-wordpress/wp-content/uploads/2016/08/BA\\_Anton\\_Anders.pdf](https://cse.cs.ovgu.de/cse-wordpress/wp-content/uploads/2016/08/BA_Anton_Anders.pdf) (Abrufdatum 29.11.2018).
- BarcodesInc (Hrsg.) (2018): Barcoding Frequently Asked Questions (FAQ). Online unter: <https://www.barcodesinc.com/faq/?nav=ftr> (Abrufdatum 16.10.2018).
- Bennühr, S. (2018): Clever sortierte KEP-Transporter. Kamerabasiertes Paket-Tracking von Mercedes-Benz Vans sorgt für Ordnung im Laderaum. In: *Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ*. Nr. 39/2018. Mittwoch, 26. September 2018. S. 8.
- Böhmer E.; Ehrhardt D. & Oberschelp W. (2010): Optoelektronik. In: Böhmer, E.; Ehrhardt, D.; Oberschelp, W. (Hrsg.): *Elemente der angewandten Elektronik*. Wiesbaden. S. 276-283. DOI: 10.1007/978-3-8348-9336-9\_18.
- Brena, R. F.; García-Vázquez, J. P.; Galván-Tejada, C. E.; Muñoz-Rodríguez, D.; Vargas-Rosales, C. & Fangmeyer Jr, J. (2017): Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey. In: *Journal of Sensors*. DOI: 10.1155/2017/2630413.
- Budiac, D. (2018): Eight More Surprising Uses of RFID. In: *RFID Journal*. Online unter: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?17274> (Abrufdatum 07.11.2018).
- Burkhart, M. (2015): Openmatics – mehr als Telematik. Bluetooth Low Energy: Einsatz in der Logistik. Vortrag auf dem Forum Automobil Logistik. 03. Februar 2015. ZF Friedrichshafen AG. Online unter: <https://docplayer.org/59115101-Openmatics-mehr-als-telematik.html> (Abrufdatum 29.11.2018).
- DataGenetics (Hrsg.) (2013): Wounded QR-Codes. Blogbeitrag. Online unter: <http://www.datagenetics.com/blog/november12013/index.html> (Abrufdatum 16.10.2018).
- Denso Wave Incorporated (Hrsg.) (2018): Types of QR Code. Online unter: <http://www.qrcode.com/en/codes/> (Abrufdatum 16.10.2018).
- Donner, A. (2018): Was ist ZigBee? Online unter: <https://www.ip-insider.de/was-ist-zigbee-a-751358/> (Abrufdatum 29.11.2018).
- EFS GmbH (Hrsg.) (2011): Die Geschichte des Barcodes. In: *Ident 6/11*. Online unter: <https://esfgmbh.de/wp-content/uploads/Die-Geschichte-des-Barcodes.pdf> (Abrufdatum 09.10.2018).
- Falkenstein, A. (2018): Helfer mit ungewissen Gefahren. In: *Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ*. Nr. 42/2018. Themenheft Logistik. Mittwoch, 17. Oktober 2018. S. 15.
- Finkenzeller, K. (2015): *RFID Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC*. München.

- Franke, W. & Dangelmaier, W. (Hrsg.) (2006): RFID – Leitfaden für die Logistik. Anwendungsgebiete, Einsatzmöglichkeiten, Integration, Praxisbeispiele. Wiesbaden.
- Gaudlitz, E. (2015): Indoor Navigation & Indoor Positionsbestimmung mit Bluetooth. Online unter: <https://www.infsoft.com/de/blog-de/articleid/87/indoor-navigation-indoor-positionsbestimmung-mit-bluetooth> (Abrufdatum 29.11.2018).
- Gille, D. (2010): Wirtschaftlichkeit von RFID-Systemen in der Logistik. Ex-Ante-Quantifizierung der ökonomischen Effekte allgegenwärtiger Informationsverarbeitung. (= GABLER RESEARCH Markt- und Unternehmensentwicklung / Markets and Organisations). Wiesbaden.
- Gmür, A. & Göbel, A. (2018): Der Teufel steckt im Detail. In: Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ. Nr. 21/2018. Mittwoch, 23. Mai 2018. S. 6.
- Grupp, Michael (2018): Blockchain – eine Verkettung glücklicher Umstände. In: DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): A4 Das DIN-Magazin. 01/2018. S. 47-51. Berlin.
- Günthner, W. A. (Hrsg.) (o.J.): Technikleitfaden für RFID-Projekte. Studie des RFID AnwenderZentrums München. Online unter: [http://www.fml.mw.tum.de/rfid2/images/Downloadportal/RFID-AZM\\_Technikleitfaden.pdf](http://www.fml.mw.tum.de/rfid2/images/Downloadportal/RFID-AZM_Technikleitfaden.pdf) (Abrufdatum 29.10.2018).
- Günthner, W. A. (Hrsg.) (2011): Entwicklung des RFID-Einsatzes in der Logistik. Referenzenbasierte Studie des RFID AnwenderZentrums München. Online unter: <http://www.fml.mw.tum.de/rfid2/images/Downloadportal/Entwicklung%20des%20RFID-Einsatzes%20in%20der%20Logistik%20-%20Studie%202011.pdf> (Abrufdatum 07.11.2018).
- Hajdul, M. & Kawa, A. (2015): Global Logistics Tracking and Tracing in Fleet Management. In: Nguyen, N. T. et al. (Hrsg.): ACIIDS 2015, Part I, LNAI 9011. S. 191-199. DOI: 10.1007/978-3-319-15702-3\_19.
- He, W.; Tan, E. & Lee, E. W. (2009): A solution for Integrated Track and Trace in Supply Chain based on RFID & GPS. In: ETFA'09 Proceedings of the 14th IEEE international conference on Emerging technologies & factory automation. Palma de Mallorca. S. 1280-1285.
- Hesse, S. & Schnell, G. (2009): Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation. Funktion – Ausführung – Anwendung. Wiesbaden.
- Heutger, M. (Hrsg.) (2018): Blockchain in Logistics. Perspectives in the upcoming impact of blockchain technology and use cases for the logistics industry. Eine Studie von DHL Customer Solutions & Innovation in Kooperation mit Accenture Consulting. Online unter: <https://www.logistics.dhl/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-blockchain-trend-report.pdf> (Abrufdatum 09.10.2018).
- Jodin, D. & ten Hompel, M. (2012): Sortier- und Verteilsysteme. Grundlagen, Aufbau, Berechnung und Realisierung. Berlin/Heidelberg.
- Kern, C (2007): Anwendung von RFID-Systemen. Berlin, Heidelberg, New York.
- Kille, C.; Schmidt, T. & Stölzle, W. (2018): Reifegrad und Wertbeitrag entscheiden. Unsicherheit hemmt bei Mittelständlern Investitionen in die Digitalisierung. In:

- Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ. Nr. 42/2018. Themenheft Logistik. Mittwoch, 17. Oktober 2018. S. 28.
- Klumpp, M. & Kandel, C. (2012): Einsatz von RFID und GPS zur Sendungsverfolgung sowie für Mehrwertdienste in der KEP-Branche. In: Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V. (Hrsg.): GVB-Jahrbuch 2011/12 für die Kurier-, Express-, Paket- und Briefdienste. Wirtschaftliche, technische, organisatorische und rechtlich/politische Entwicklungen. Rohr, S. 75-92.
- Kümmerlen, R. (2018a): Blockchain braucht noch viel Grundlagenarbeit. In: Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ. Nr. 42/2018. Themenheft Logistik. Mittwoch, 17. Oktober 2018. S. 2.
- Kümmerlen, R. (2018b): Die Krux mit der neuen Technik. In: Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ. Nr. 42/2018. Themenheft Logistik. Mittwoch, 17. Oktober 2018. S. 2.
- Kümmerlen, R. (2018c): Probe für die Praxis. Die Geis Gruppe testet neue Technik und treibt deren Einsatz und Weiterentwicklung in der Kontraktlogistik voran. In: Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ. Nr. 42/2018. Themenheft Logistik. Mittwoch, 17. Oktober 2018. S. 13.
- Larsson, J. (2015): Distance estimation and positioning based on Bluetooth low energy technology. Master Thesis an der KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Online unter: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:859549/FULLTEXT01.pdf> (Abrufdatum 29.11.2018).
- Lee, H. S.; Song, B. & Youn, H. Y. (2006): A Study on the Indoor Real-Time Tracking System to Reduce the Interference Problem. In: Alexandrov, V. N. et al. (Hrsg.): ICCS 2006, Part IV, LNCS 3994. S. 910-917. Berlin, Heidelberg.
- LinkLabs (Hrsg.) (2015): Bluetooth vs. Bluetooth Low Energy: What's the Difference? Online unter: <https://www.link-labs.com/blog/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy> (Abrufdatum 29.11.2018).
- Liu, H.-Y.; Skjetne, E. & Kobernus, M. (2013): Mobile Phone Tracking: in Support of Modelling Traffic-Related Air Pollution Contribution to Individual Exposure and its Implications for Public Health Impact Assessment. In: Environmental Health 2013, 12: 93. Online unter: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-12-93> (Abrufdatum 28.11.2018).
- Loidl, K. (2018): Eckstein, Eckstein, nichts wird mehr versteckt sein. 5G-Mobilfunk bietet neue Möglichkeiten für Lokalisierung und Tracking. Online verfügbar unter: <https://www.fraunhofer-innovisions.de/cebit/eckstein-eckstein-nichts-mehr-wird-versteckt-sein/> (Abrufdatum 05.03.2019).
- McCathie, L. (2004): The Advantages and Disadvantages of Barcodes and Radio Frequency Identification in Supply Chain Management. Bachelor of Information and Communication Technology (Honours), University of Wollongong. Online unter: <http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1009&context=thesesinfo> (Abrufdatum 16.10.2018).
- McCathie, L. & Michael, K. (2005): Is it the End of Barcodes in Supply Chain Management? In: Proceedings of the Collaborative Electronic Commerce Technology

- and Research Conference LatAm. University of Talca, Chile. 3.-5. Oktober 2005. S. 1-19.
- Mucha, M. & Müller, M. (2007a): RFID-Transponder als elektronische Warenbegleitscheine bei WERMA Signaltechnik GmbH + Co. KG. Veröffentlichung des Regionalen Kompetenzzentrum ECC Stuttgart-Heilbronn, Netzwerk elektronischer Geschäftsverkehr, Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Online unter: <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-68349.html> (Abrufdatum 07.11.2018).
- Mucha, M. & Müller, M. (2007b): RFID-Technologie zur Unterstützung von Wartungsarbeiten bei Rhein Papier GmbH. Veröffentlichung des Regionalen Kompetenzzentrum ECC Stuttgart-Heilbronn, Netzwerk elektronischer Geschäftsverkehr, Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Online unter: <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-68353.html> (Abrufdatum 07.11.2018).
- Mucha, M. & Müller, M. (2007c): Das Lager im Griff mit RFID-Technik bei M. Busch GmbH & Co. KG. Veröffentlichung des Regionalen Kompetenzzentrum ECC Stuttgart-Heilbronn, Netzwerk elektronischer Geschäftsverkehr, Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Online unter: <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-68400.html> (Abrufdatum 07.11.2018).
- Niemann, B. (2018): 5G – Mehr als Mobilfunk. Online unter: <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/kom/mobile-kom/5G.html> (Abrufdatum 22.11.2018).
- Post CH AG (Hrsg.) (2018): Handbuch Barcodes und Datamatrix-Codes für Briefsendungen. Anwendung und Erstellung. Online unter: <https://www.post.ch/-/media/post/gk/dokumente/handbuch-barcodes-und-datamatrix-codes-fuer-briefsendungen.pdf?la=de> (Abrufdatum 16.10.2018).
- Ray, B. (2015): ZigBee vs. Bluetooth: A Use Case with Range Calculations. Online unter: <https://www.link-labs.com/blog/zigbee-vs-bluetooth> (Abrufdatum 29.11.2018).
- Reif, R. & Günthner, W. A. (2009): Pick-by-vision: augmented reality supported order picking. In: The Visual Computer. Bd. 25. Nr. 5-7. S.461-467. DOI: 10.1007/s00371-009-0348-y.
- RFID4U (Hrsg.) (2018): How to Select a Correct RFID Tag – Criteria. Online unter: <https://rfid4u.com/rfid-basics-resources/how-to-select-a-correct-rfid-tag-criteria/> (Abrufdatum 29.10.2018).
- Scandit (Hrsg.) (2016): Best Smartphones for Barcode Scanning. 2016 Android Edition. Online unter: <https://www.scandit.com/wp-content/uploads/2017/07/Best-Smart-phones-for-Barcode-Scanning-2016-Android-Edition.pdf> (Abrufdatum 16.10.2018).
- Schmid, S. & Brockmann, C. (2006): Marktübersicht: Tracking & Tracing Lösungen in der Logistik. In: PPS Management 11/2006. S. 52-61.
- Schulze, M. (2018): Übersicht am Airport. In: Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ. Nr. 42/2018. Themenheft Logistik. Mittwoch, 17. Oktober 2018. S. 24.

- Sewio Networks (Hrsg.) (2018): Real Time Location System in Industry. Online unter: <https://www.sewio.net/rtls-in-logistics/> (Abrufdatum 29.11.2018).
- SH Telekommunikation Deutschland GmbH (HRsg.) (2018): 2G, 3G, 4G & 5G – Die Mobilfunkstandard Generationen. Online unter: <https://www.sparhandy.de/mobiles-internet/info/mobilfunkstandards/> (Abrufdatum 28.11.2018).
- Siepenkort, A. & Dukino, C. (2009): Potenziale von RFID in der Kommissionierung für kleine und mittlere Unternehmen. Merkblatt. Veröffentlichung des Regionalen Kompetenzzentrum ECC Stuttgart-Heilbronn, EC-Ruhr, eCOMM Brandenburg. Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Online unter: [http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-2705936.pdf](http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-2705936.pdf) (Abrufdatum 07.11.2018).
- Singh, A. (2018): Why isn't the size of the blockchain a serious problem for bitcoin? Online unter: <https://www.quora.com/Why-isnt-the-size-of-the-blockchain-a-serious-problem-for-Bitcoin> (Abrufdatum 11.10.2018).
- Stölzle, W.; Schmidt, T.; Kille, C. & Schulze, F. (2018): Digitalisierungswerkzeuge in der Logistik: Einsatzpotenziale, Reifegrad und Wertbeitrag. Online unter: <http://logistik-digitalisierung.de/wp-content/uploads/2018/10/Digitalisierungswerkzeuge-in-der-Logistik-Einsatzpotenziale-Reifegrad-....pdf> (Abrufdatum 10.10.2018).
- Strassner, M. (2005): RFID im Supply Chain Management. Auswirkungen und Handlungsempfehlungen am Beispiel der Automobilindustrie. Wiesbaden.
- Systematic A / S (Hrsg.) (2018): Bluetooth as a Tracking Technology. Online unter: <https://systematic.com/healthcare/solutions/by-name/columna-service-logistics/technology/bluetooth/> (Abrufdatum 28.11.2018).
- Tamm, G. & Tribowski, C. (2010): RFID. (=Informatik im Fokus). Berlin, Heidelberg.
- VOIP Informationen (Hrsg.) (2018): Wie funktioniert WLAN? Technik und Grundlagen. Online unter: <https://www.voip-information.de/wlan-funktionsweise.php> (Abrufdatum 29.11.2018).
- VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (Hrsg.) (2007): RFID: Potenziale für Deutschland. Online unter: [https://www.maschinewerkzeug.de/\\_storage/asset/1224482/storage/master/file/20259185/Potenziale%20von%20RFID%20f%C3%BCr%20Deutschland.pdf](https://www.maschinewerkzeug.de/_storage/asset/1224482/storage/master/file/20259185/Potenziale%20von%20RFID%20f%C3%BCr%20Deutschland.pdf) (Abrufdatum 07.11.2018).
- Walter, M. (2018a): Das Volumen genau im Blick. In: Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ. Nr. 42/2018. Themenheft Logistik. Mittwoch, 17. Oktober 2018. S. 6.
- Walter, M. (2018b): Mit Stichproben zur kompletten Inventur. In: Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ. Nr. 42/2018. Themenheft Logistik. Mittwoch, 17. Oktober 2018. S. 18.
- Westbase Technology Ltd. (Hrsg.) (2018): 3G/4G for In-Vehicle Networking. Online unter: <https://www.westbase.io/3g4g-product-solutions/3g4g-for-in-vehicle-networking/> (Abrufdatum 29.11.2018).
- Westerheide, C. (2018): Transparenz vom Acker bis zum Kunden. In: Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ. Nr. 42/2018. Themenheft Logistik. Mittwoch, 17. Oktober 2018. S. 21.

---

**Literatur**

---

Zhao, Y. (2000): Mobile Phone Location Determination and Its Impact on Intelligent Transportation Systems. In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Vol. 1. Nr. 1. S. 55-64.

Zogg, Jean-Marie (2011): GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten. Online unter: [http://zogg-jm.ch/Dateien/Update\\_Zogg\\_Deutsche\\_Version\\_Jan\\_09\\_Version\\_Z4x.pdf](http://zogg-jm.ch/Dateien/Update_Zogg_Deutsche_Version_Jan_09_Version_Z4x.pdf) (Abrufdatum: 22.11.2018).

## Bildquellen

- Abb. 01: Icons von TheNounProject: Barcode by Abdo; RFID by junie, KR; Real-time Tracking by Becris; Blockchain by Frühstück, DE
- Abb. 02: Icons von TheNounProject: NFC by Calvin Goodman; RFID by junie, KR; Scanner Text by Thomas Helbig, DE; signal bars by Guilhem, FR; Barcode by Abdo; qr by Herbert Spencer, CL; Time by Richard de Vos, NL; Blockchain by Frühstück, DE; Bluetooth by Peter Hacke; wifi by Baboon designs, US; GPS by Dinsoft Labs, PK; Signal Strength by Universal Icons, US; sensor by Carolina Cani; Philips Hue Hub V1 by Richard Slater, GB; Broadband Connection by Vectors Market
- Abb. 03: Icons von TheNounProject: Barcode by Abdo; qr by Herbert Spencer, CL; Time by Richard de Vos, NL
- Abb. 04: Icons von TheNounProject: Barcode by Abdo; qr by Herbert Spencer, CL
- Abb. 05: Icons von TheNounProject: Chip by Kemesah Maharjan, NP; Computer by Lastspark, RU
- Abb. 07: Icons von TheNounProject: Sattelite by Roberto Colombo, BR; Ship by Orin zuu; Airplane by Bieutuong Hai, VN; Car by Kick; Satelite Dish by Graphic Engineer, ID
- Abb. 08: Icons von TheNounProject: RFID by junie, KR; Sattelite by Roberto Colombo, BR; barcode by Aman, MY; warehouse by Georgina Ionescu; Scanner by sandra; Truck by Creative Stall, PK; Receive Delivery by Prettycons
- Abb. 09: Icons von TheNounProject: Laptop by David, US; lend-money by Yu luck, KR; bullet list by unlimicon, ID; Smartphone by Daniela Baptista, PT; Tablet by Bakunetsu Kaito; Laptop by Guilherme Furtado, BR; check-list by Garret Knoll, US; Arrow by QOLBIN SALIIM, ID; financial support by Creative Stall, PK
- Abb. 10: Icons von TheNounProject: barcode by Aman, MY; Chair by parkjisun; check list by Adrien Coquet, FR; Check Order by Vectors Market; Furniture Warranty by anbilereu adalereu; Shop by Briyan Design; evaluation by Olena Panasovska, UA; manufacturing by Nibras@design; warehouse by Lara, IT; warehouse by Nikita Kotzin, RU; destination by Jonathan Li, CA

## **Impressum**

*Kontaktadresse:*

*Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und  
Organisation IAO, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
[www.iao.fraunhofer.de](http://www.iao.fraunhofer.de)*

**Dr. Manuela Bauer**

*Telefon +49 711 970-2326*

*[Manuela.Bauer@iao.fraunhofer.de](mailto:Manuela.Bauer@iao.fraunhofer.de)*

*urn:nbn:de:0011-n-5373404*

*<http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-537340.html>*

*Titelbild: © Connect world – stock.adobe*

*© Fraunhofer IAO, 2019*

## **Alle Rechte vorbehalten**

*Dieses Werk ist einschließlich all seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann das Institut keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.*





