

HANDBUCH

INTRALOGISTISCHE SYSTEME FÜR STÜCKGUT

Teil III

Lagerverwaltung, Datenerfassung, Datenverarbeitung

Gesamtübersicht	
Teil I	Gestaltungsmöglichkeiten zur Optimierung des Aufbaus und der Abläufe innerhalb des Systems
Teil II	Lagertechnische Einrichtungen Untertitel II.1: Ladeinheit, Ladehilfsmittel, Untertitel II.2: Lagerarten, Lagertechniken Untertitel II.3: Fördertechnik Untertitel II.4: Technische Einrichtungen für Kommissioniersysteme sowie WE / WA, Versand
Teil III	Lagerverwaltung, Datenerfassung, Datenverarbeitung
Teil IV	Gebäude und Infrastruktur für intralogistische Systeme Untertitel IV.1: Anforderungen an die Gebäude Untertitel IV.2: Realisierungsmöglichkeiten der Anforderung an die Gebäude
Teil V	Technische Gebäudeausrüstung

INHALTSVERZEICHNIS

1	Software-Lösungen im Bereich intralogistischer Systeme	7
1.1	Überblick über die Vielfalt der Software-Lösungen und der Begriffe	7
1.2	Software-Architektur	7
1.2.1	Hierarchisches Drei-Ebenen-Modell	7
1.2.1.1	Administrative Ebene	8
1.2.1.2	Lagerleitebene	8
1.2.1.3	Steuerungsebene / Prozessleitebene	8
1.2.2	Wechsel von zentralen / hierarchischen zu dezentralen Strukturen.	8
1.3	Unternehmenssoftware (Enterprise-Software)	9
1.3.1	Abgrenzung der Enterprise-Software WWS und ERP	9
1.3.1.1	ERP- und PPS-Systeme	9
1.3.1.2	Warenwirtschaftssystem (WWS oder WaWi)	10
1.4	Supply-Chain-Management (SCM)	10
1.5	Lagerverwaltungssysteme LVS und WMS	10
1.5.1	Funktionsumfang moderner LVS (WMS)	11
1.5.2	Klassifizierung von Lagerverwaltungs-Softwaresystemen	11
1.5.2.1	Low-Cost-Standard-Software	12
1.5.2.2	Standard-Software	12
1.5.2.3	Midrange-Systeme	12
1.5.2.4	Kundenspezifische Individual-Software	12
1.5.3	Ergebnis einer Marktuntersuchung zur Leistungsfähigkeit von LVS	13
1.5.3.1	Visualisierung	13
1.5.3.2	Bestandsführung	13
1.5.3.3	Zusammenlegungsverbote	13
1.5.3.4	Betriebsmittelstatistiken	14
1.5.3.5	Seriennummernverwaltung	14
1.5.3.6	Restlaufzeitüberwachung / Überwachung des Mindesthaltbarkeitsdatums	14
1.5.3.7	Lagerzeitüberwachung	14
1.5.3.8	Gruppenspezifische Ein- und Auslagerungsstrategien	14
1.6	Warehouse Control System (WCS) und Warehouse Execution System (WES)	14
1.6.1	Warehouse Control Systems (WCS) / Materialflusssteuerung (MFS)	14
1.6.2	Warehouse Execution System (WES)	15
1.7	Ergänzende Software-Module	15
1.7.1	Yardmanagement (YMS) / Hofleitsystem (HLS)	15
1.7.2	Transportmanagementsystem (TMS)	16
1.8	Software-Auswahl	16
1.8.1	Philosophie „Best- of Breed“	17
1.8.2	Philosophie „Best of Suite“	17
1.8.3	Fazit „Best of Bredd“ vs. “Best of Suite"	17

2	Datentransfer	18
2.1	Netzwerktechnologie	19
2.1.1	Kopplungselemente	19
2.1.1.1	Hub	19
2.1.1.2	Bridge	19
2.1.1.3	Switch	19
2.1.1.4	Access-Point (drahtloser Zugriffspunkt)	19
2.1.1.5	Router	19
2.1.2	Netzwerkprotokolle	19
2.1.2.1	TCP/IP-Referenzmodell	20
2.1.2.2	OSI-Referenzmodell	20
2.1.3	Netzwerktopologien	21
2.1.3.1	Logische Topologie	21
2.1.3.2	Physikalische Topologien	21
2.1.3.2.1	Bus-Topologie	21
2.1.3.2.2	Ring-Topologie	22
2.1.3.2.3	Stern- und Baumtopologie	22
2.2	Computernetzwerke	22
2.2.1	Internet	22
2.2.2	Lokale Netze (LAN und WLAN)	22
2.2.3	Intranet	23
2.3	Bus in der Steuerungs- und Feldebene	23
2.4	Übertragungsmedien für den Transfer von Daten und Informationen	24
2.4.1	Wellen als Grundlage der Informationsübertragung	24
2.4.1.1	Mechanische Wellen	24
2.4.1.2	Elektromagnetische Wellen	25
2.4.2	Leitungsgebundene, leitungsnahe und leitungsfreie Übertragung	26
2.4.2.1	Leitungsgebundene Übertragung	26
2.4.2.2	Leitungsnahe Übertragung	27
2.4.2.2.1	Schleifleitungen	27
2.4.2.2.2	Induktive Datenübertragung	27
2.4.2.2.3	Schlitzhohlleiter	27
2.4.2.3	Leitungsfreie Übertragung	27
2.4.2.3.1	Ultraschall-Datenübertragung	28
2.4.2.3.2	Datenfunk	28
2.4.2.3.2.1	Schmalbandfunk	28
2.4.2.3.2.2	WLAN	29
2.4.2.3.2.3	Bluetooth	30
2.4.2.3.2.4	Mobilfunkstandard	30
2.4.2.3.2.5	RFID und NFC	30
2.4.2.3.3	Optische drahtlose Übertragung von Daten und Signalen	31
2.4.2.3.3.1	Optische Strahlung	31
2.4.2.3.3.2	Technik und Anwendung der Optischen Datenübertragung	33
3	Sensoren	36
3.1	Mechanische Sensoren	36
3.1.1	Positionsschalter	37
3.1.2	Messtaster	37

3.1.3	Bumper	37
3.1.4	Whyskers (Kraft- / Momentensensor)	37
3.2	Akustische Sensoren (Ultraschallsensoren)	37
3.2.1	Ultraschall-Näherungsschalter	38
3.2.2	Ultraschall-Reflexionsschranken	38
3.2.3	Ultraschall-Einwegschranken	39
3.3	Induktive Sensoren	39
3.4	Kapazitive Sensoren	39
3.5	Optische Sensoren und Sensorsysteme	40
3.5.1	Begriffe und Wirkungsweisen von Halbleiter-Elementen	40
3.5.1.1	Halbleiter	40
3.5.1.2	Halbleiterdioden	41
3.5.1.3	Innerer fotoelektrischer Effekt (kurz „innerer Fotoeffekt“)	41
3.5.1.4	Fotowiderstand	41
3.5.1.5	Fotodiode	42
3.5.1.6	Leuchtdioden (LED)	42
3.5.1.7	CCD- und CMOS-Sensor	42
3.5.2	Anwendung optischer Sensoren als Lichtschranke, Distanzsensor u. ä.	43
3.5.2.1	Einweg-Lichtschranke	44
3.5.2.2	Lichtgitter	44
3.5.2.3	Reflexionslichtschranke	44
3.5.2.4	Reflexions-Lichttaster	45
3.5.2.5	Binäre Lasersensoren	45
3.5.2.6	Laser-Distanzsensor	45
3.5.3	Anwendung optischer Sensoren in digitalen Bildverarbeitungssystemen	46
3.5.3.1	Zeilensensor / Zeilenkamera	46
3.5.3.2	Flächensensor / Bildsensor	47
3.5.3.3	2D-Kameratechnologie	47
3.5.3.4	3D-Kameratechnologie	48
3.5.3.4.1	Lasertriangulation / Lichtschnittverfahren	48
3.5.3.4.2	Stereovision	48
3.5.3.4.3	Streifenprojektion (Strukturiertes Licht)	49
3.5.3.4.4	Time-of-Flight (Lichtlaufzeitverfahren)	49
4	Techniken zur Identifikation und Lokalisierung	51
4.1	Identsysteme	52
4.2	AutoID-Systeme	52
4.2.1	Barcodesysteme	53
4.2.1.1	Barcode-Typen (Symbolgien)	54
4.2.1.1.1	1D-Barcodes	55
4.2.1.1.2	2D-Barcodes	56
4.2.1.1.2.1	Gestapelte eindimensionale Strichcodes	56
4.2.1.1.2.2	Matrixcodes	56
4.2.1.1.3	3D-Barcode	57
4.2.1.2	Barcode-Scanner	57
4.2.1.2.1	Wirkungsweise der Lesesysteme	58
4.2.1.2.1.1	CCD-Scanner	58

4.2.1.2.1.2	Laserscanner-Arten	58
4.2.1.2.1.3	Kamerabasierte Scanner	59
4.2.1.2.2	Stationäre und mobile Scanner	60
4.2.1.2.2.1	Stationäre Scanner	60
4.2.1.2.2.2	Mobile Scanner	61
4.2.2	RFID-Systeme (Radio-Frequency- Identification)	62
4.2.2.1	Aufbau eines RFID-Systems	62
4.2.2.1.1	Transponder	62
4.2.2.1.2	RFID-Lesegeräte bzw. RFID-Schreib-/ Lesegeräte (RFID-Reader)	63
4.2.2.2	RFID-Frequenzen	64
4.2.2.3	RFID-Pulkerfassung	64
4.2.2.4	Einschränkungen des RFID-Einsatzes	65
4.2.2.5	Beispiele für Anwendungen von RFID-Systemen	65
4.2.2.5.1	RFID in der FTS-Navigation	65
4.2.2.5.2	RFID in der Fördertechnik	65
4.2.2.5.3	RFID-Gate	65
4.2.2.5.4	RFID-Tunnelleser	66
4.2.3	Gegenüberstellung von Barcode- und RFID-Systemen	66
4.2.4	Weitere AutoID- Technologien	66
4.2.4.1	Magnetstreifenkarte	66
4.2.4.2	Chipkarten	67
4.2.4.3	Optische Zeichenerkennung (OCR)	67
4.2.4.4	Erkennung biometrischer Eigenschaften	67
4.2.4.5	Elektronische Etiketten	68
5	Positionserfassungssysteme /Lokalisierungssysteme	70
5.1	Grundlagen der Mess- und Positionierverfahren	70
5.1.1	Distanzmessung zur Positionsermittlung	70
5.1.1.1	Zeitbasierte Verfahren zur Distanzmessung	70
5.1.1.1.1	Time of Flight (ToF)	71
5.1.1.1.2	Two-Way-Ranging (TWR)	71
5.1.1.1.3	Time-Difference of Arrival (TDoA)	71
5.1.1.2	Signalstärkemessung	71
5.1.2	Messung des Eingangswinkels Angle of Arrival (AoA)	72
5.1.3	Triangulation und Trilateration	72
5.1.3.1	Triangulation	72
5.1.3.2	Trilateration und Multilateration	72
5.2	Funkbasierte Positionserfassung	72
5.2.1	Punktuelle Ortung mit RFID	72
5.2.2	Flächendeckende Ortungsverfahren mit RTLS	73
5.2.2.1	Bluetooth Low Energy (BLE)	73
5.2.2.2	Wireless Local Area Network (WLAN) / WiFi	74
5.2.2.3	Ultra-Wideband (UWB)	74
5.2.3	Fazit	75
6	Logistik im Zeichen von Industrie 4.0	76
6.1	Teilbereiche auf dem Weg zu Industrie 4.0	76
6.1.1	Internet of Things (IoT) und Industrial Internet of Things	76

6.1.1.1	Internet of Things (IoT)	76
6.1.1.2	Industrial Internet of Things (IIoT)	76
6.1.2	Cyber-Physisches System (kurz CPS)	77
6.1.3	Big Data	77
6.1.4	Künstliche Intelligenz	77
6.2	Handicaps auf dem Weg zu Industrie 4.0	77
6.3	Logistik 4.0	78
6.3.1	Vision Logistik 4.0	78
6.3.2	Entwicklungen auf dem Weg zu Logistik 4.0	78
7	QUELLENNACHWEIS zu Teil III	80
7.1	Tabellenverzeichnis	80
7.2	Abbildungsverzeichnis	80
7.3	Literaturverzeichnis	80
7.3.1	Gesetze, Normen, Richtlinien, Empfehlungen, Berufsgenossenschaftliche Vorschriften, Regeln, Informationen usw.	80
7.3.2	Literatur, Firmenbroschüren, Internetveröffentlichungen	80

1 SOFTWARE-LÖSUNGEN IM BEREICH INTRALOGISTISCHER SYSTEME

1.1 Überblick über die Vielfalt der Software-Lösungen und der Begriffe

Der Vergleich der einzelnen Warenverteilsysteme (WVS) miteinander zeigt, dass diese häufig grundverschiedenen Anforderungen gerecht werden müssen. Das Spektrum reicht von einfach strukturierten manuell bedienten WVS bis hin zu hochkomplexen vollautomatisierten WVS. Aufgrund dieser unterschiedlichen Anforderungen an die einzelnen (WVS) ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Rechnersysteme und an die erforderliche Software.

Der Markt für Software zum Betreiben von Warenverteilsystemen ist unüberschaubar. Software mit vergleichbarem Leistungsumfang wird mit grundverschiedenen Bezeichnungen gehandelt und Software mit gleichem Namen kann sich inhaltlich grundsätzlich unterscheiden. In der Begriffsvielfalt finden sich Bezeichnungen wie

- ERP-System (Enterprise Resource Planning),
- Warenwirtschaftssystem (WWS), / Materialwirtschaftssystem (MWS),
- PPS-System (Produktionsplanungs- und Steuerungssystem),
- Auftragsabwicklungssystem,
- Warehouse-Management-System (WMS)
- Lagerverwaltungssystem (LVS), bzw. Lagerverwaltungs- und Steuerungssystem
- Lagerleitsystem
- Materialflusssteuerung (MFS) / Materialflussrechner (MFR)
- Warehouse-Control-System (WCS)
- Transportleitsystem,
- Staplerleitsystem,
- usw.

1.2 Software-Architektur

1.2.1 Hierarchisches Drei-Ebenen-Modell

Nach der klassischen Strukturierung gemäß VDI 3962 wird die Lager-DV hierarchisch in drei Ebene unterteilt. Dieses Modell wird der Praxis aber nicht mehr ganz gerecht.

- Es gibt inzwischen komplexe Softwaresysteme, wie z.B. von SAP, die neben der übergeordneten Unternehmenssoftware auch Software-Module aus untergeordneten Ebenen integrieren können.
- In dieser Gliederung sind die Funktionen von speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) sowie die Informationsgeber für die SPS (z.B. Scanner, Fotozellen usw.) nicht enthalten.

In den meisten Fällen der praktizierten DV-Lösungen treffen diese Definitionen aber noch zu. Außerdem sind diese Strukturierungen geeignet, die prinzipiellen Zusammenhänge zu verdeutlichen. In Kapitel 2 „Datentransfer“ wird zur Darstellung der Kommunikationswege die Lager-DV feiner strukturiert (siehe auch Abb. 2 / 01).

Die 3 Ebenen sind nach VDI 3962 [VDI 1]:

1. Die administrative Ebenen
2. Die Lagerleitebene
3. Die Steuerungsebene

1.2.1.1 Administrative Ebene

Die administrative Ebene beinhaltet den Host mit der übergeordneten Unternehmenssoftware, wie z.B. dem Warenwirtschaftssystem (WWS) bzw. ERP-System (Enterprise-Resource-Planning). Softwareanbieter hierfür sind z.B. SAP, Microsoft, oder Oracle. Diese Unternehmenssoftware dient zur Unterstützung bei der Lösung gesamtunternehmerischer Aufgaben, wie z.B. die bedarfsgerechte Planung und Steuerung von Ressourcen (siehe unten).

Bezogen auf die Lager-DV sind der administrativen Ebene folgende Funktionen zuzuordnen:

- Bestandsführung (bezogen auf den Summenbestand)
- Planung
- Disposition

1.2.1.2 Lagerleitebene

Die Lagerleitebene beinhaltet das Warehouse-Management-System (WMS), bzw. Lagerverwaltungssystem (LVS). Dieses System wird auch Lagerleitsystem bezeichnet. Als Lagerverwaltungs- und Steuerungssystem kann das LVS auch Funktionen der Steuerungsebene beinhalten (Funktionen der LVS siehe unten).

1.2.1.3 Steuerungsebene / Prozessleitebene

Die Steuerungsebene (auch als Warehouse Control System bezeichnet) koordiniert die EDV-gestützten Transporte und Abläufe im Lager. Zur Steuerungsebene gehören damit Materialflussrechner, Staplerleitsystem, FTS-Leitsystem, usw.

Anmerkung:

In der feineren Strukturierung gem. Kap. 2 wird diese Ebene als „Prozessleitebene“ bezeichnet, während der Begriff „Steuerungsebene“ für den Bereich der untergeordneten „Speicherprogrammierbaren Steuerung“ (SPS) verwendet wird.

1.2.2 Wechsel von zentralen / hierarchischen zu dezentralen Strukturen.

Merkmal eines ERP-Systems ist das übergeordnete zentrale Datenmanagement, in dem alle Daten der verschiedenen Geschäftsbereiche zusammenlaufen (siehe Kap. 1.3 ff „Unternehmenssoftware“). Das Gesamtsystem ist hierarchisch strukturiert. Von der obersten Ebene nach unten wird geplant und gesteuert. In den unteren Ebenen werden die Befehle der jeweils übergeordneten Ebene ausgeführt; dezentrale Komponenten innerhalb einer Ebene werden durch die übergeordnete Ebene koordiniert. In umgekehrter Richtung werden die in den unteren Ebenen erfassten Prozessdaten für die Kontrolle und als Grundlage für die weitere Planung und Steuerung nach oben weitergegeben (siehe auch Abb. 2 / 01). In klassischen Systemen sind hierzu die hierarchisch angeordneten Ebenen mit ihren jeweiligen Komponenten immer über Kommunikationswege (festes oder kabelloses Daten-netz) verbunden.

In einigen Fällen entspricht diese strenge Abhängigkeit aber bereits heute schon nicht mehr der Praxis. In vielen Unternehmen gibt es Unternehmensbereiche, und auch in Unternehmensbereichen gibt es Prozesse, die zeitweise losgelöst vom hierarchischen System agieren. Sie stehen auch nicht in ständiger Kommunikationsbereitschaft zur übergeordneten Ebene. Diese Prozessteilnehmer erhalten Zielvorgaben und Rahmenbedingungen von oben, die dann abgearbeitet werden. Bei der Abarbeitung agieren sie eigenverantwortlich und berücksichtigen auch lokale Gegebenheiten, die für die oberen Ebenen irrelevant sind. Die Anpassung der Parameter und Vorgaben kann periodisch erfolgen.

Im Bereich der Intralogistik gibt es auf der Materialflussebene viele Geräte und Anlagen, die mit Sensoren und Aktoren ausgestattet sind und deren Antriebe von eigenen Steuerungsmodulen (SPS) angesteuert werden. Diese Steuerungsmodule sind in der Hierarchie des 3- Ebenen-Modells noch unter der untersten Ebene (also unterhalb der Steuerungsebene) angesiedelt (siehe oben). Zu

derartigen Geräten und Anlagen gehören z.B. Roboter, Stetigförderer, FTS. Diese werden bereits heute mit so viel Intelligenz ausgestattet, dass sie autonom agieren können (siehe Teil II.3 „Förder-technik“).

Bezogen auf automatisierte Materialflusssysteme läuft damit die Entwicklung hin zu dezentralen Steuerungssystemen. Auch die sich tendenziell ändernden Anforderungen an das Gesamtsystem „ERP“ lassen eine Veränderung in Richtung dezentraler Strukturen erwarten. Der Trend geht in Richtung autonomer Teilsysteme. Diese sind im Rahmen von mehr oder weniger engen Grenzen mit einer Zentrale verbunden, die Ziele vorgibt. Die Abarbeitung der Ziele erfolgt dezentral und eigenverantwortlich (siehe auch Kapitel 6 „Logistik im Zeichen von Industrie 4.0“).

1.3 Unternehmenssoftware (Enterprise-Software)

Die in einem Unternehmen ablaufenden Geschäftsprozesse sowie der Einsatz der im Unternehmen vorhandenen Ressourcen (Kapital, Personal, Betriebsmittel, Material usw.) müssen geplant, gesteuert und koordiniert werden. Zur Unterstützung dieser unternehmerischen Aufgaben gibt es eine Vielzahl miteinander kommunizierender Anwendungssoftwares. Dies gilt bereits bei einer eingeschränkten Betrachtung auf die betriebsinternen Prozesse. Die Unternehmen sind zusätzlich nach außen eingebettet in logistische Ketten; mit zunehmender Vernetzung in sogenannte Supply Chain (siehe Kap. 1.4).

1.3.1 Abgrenzung der Enterprise-Software WWS und ERP

Für die Unternehmenssoftware gibt es Software-Lösungen, die unter den Bezeichnungen „Warenwirtschaftssystem“ (kurz WWS oder WaWi) und Enterprise-Ressource-Planning-System (kurz ERP-System) bekannt sind. Beide Bezeichnungen werden mitunter synonym verwendet, da der Übergang vom WWS zum ERP nicht klar definiert ist.

ERP-Systeme sind gegenüber WWS i.d.R. mit zusätzlichen Funktionen / Modulen ausgestattet, insbesondere im Bereich Controlling und Materialwirtschaft.

1.3.1.1 *ERP- und PPS-Systeme*

Enterprise-Resource-Planning-Systems (ERP-Systeme) haben ihren Ursprung in einer Software für produzierende Unternehmen, dem Produktionsplanungs- und Steuerungssystem (kurz PPS-System). Wesentliche Funktion dieser Software war die Materialbedarfsplanung. Ziel war, alle für die Produktion erforderlichen Materialien und Komponenten zur rechten Zeit in der richtigen Menge an der richtigen Stelle zur Verfügung zu stellen. Die Software lief auch unter der Bezeichnung „Material Requirement Planning“ (kurz MRP).

- Mit der Zeit wurde der Bedarf an Modulen erweitert:
- In produzierenden Unternehmen mussten weitere Unternehmensbereiche in der Software abgebildet werden.
- Andere Wirtschaftszeige, wie z.B. Handelsunternehmen hatten auch Bedarf nach unternehmensübergreifender Software; allerdings waren die Schwerpunkte andere als bei den produzierenden Unternehmen.

Das ehemalige PPS-System wurde daher durch Integration weiterer Module zum wirtschaftszweig-unabhängigen ERP-System erweitert. Heute ist ERP eine Software, die sich aus Modulen für unterschiedliche Geschäftsbereiche zusammensetzt mit dem Ziel, das Unternehmen als Ganzes abzubilden. Typisch sind z.B. Module für die Bereiche

- Materialwirtschaft (Beschaffung, Lagerhaltung, Disposition)
- Produktion
- Vertrieb, Marketing
- Forschung und Entwicklung
- Personalwesen

- Finanz- und Rechnungswesen
- Controlling

Für die funktionsübergreifende Unterstützung dieser vielfältigen Geschäftsprozesse sind diese Module über eine gemeinsame Datenbasis miteinander verbunden. Der gemeinsame Datenzugriff auf alle unternehmensrelevanten Daten unterstützt die Planungsaufgaben über alle Unternehmens-ebenen hinweg.

1.3.1.2 Warenwirtschaftssystem (WWS oder WaWi)

Warenwirtschaftssysteme sind für den Handel entwickelt worden. Reine WWS müssen daher nicht die komplexen Anforderungen erfüllen wie ERP-Systeme, deren Ursprung in der Planung und Steuerung der Produktion liegt.

„Ein Warenwirtschaftssystem ist ein Modell zur Abbildung der Warenströme im Geschäftsprozess eines Unternehmens“ [Wikipedia]. Vorrangiges Ziel eines reinen WWS ist die Planung, Steuerung und Kontrolle der logistischen Aufgaben, d. h. sicherstellen, dass die richtige Ware in der richtigen Menge zur richtigen Zeit mit minimalem Kostenaufwand ihr Ziel erreicht.

Kernbereiche von WWS sind:

- Einkauf (Bedarfsermittlung und Beschaffung)
- Logistik incl. Lager
- Verkauf
- Produktion, d. h. Ermittlung des Verbrauchs, Entsorgung / Recycling

Wie bei den ERP-Systemen wurden aber auch mit der Zeit die WWS um Zusatzmodule erweitert, so dass die Grenzen zwischen ERP und WWS fließend sind.

1.4 Supply-Chain-Management (SCM)

Ziel des Supply-Chain-Managements (Lieferkettenmanagement) ist die Optimierung der unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsketten. Die Digitalisierung der Supply Chain läuft auch unter der Bezeichnung „Logistik 4.0“ (siehe hierzu auch Kap. 6 ff und Teil I, Kapitel 1.2.2 „SCM“).

ERP-Systeme und – bezogen auf den Handel auch Warenwirtschaftssysteme – haben zwar einen ganzheitlichen Ansatz, aber dieser beschränkt sich häufig auf das eine Unternehmen, ggf. unter Einbeziehung mehrerer Standorte.

SCM-Software unterstützt die unternehmensübergreifenden Geschäftsprozesse und verwendet dazu die Daten der verschiedenen ERP-Systeme entlang der Supply-Chain. Dies ermöglicht in der Supply Chain kritische Pfade frühzeitig zu erkennen und Lieferengpässen vorzubeugen und zwar End to End, d.h. angefangen von Vorlieferanten eines Systemlieferanten bis zum Endnutzer.

Dies ist nur mit Softwarelösungen möglich, die einerseits die Eigenständigkeit der Unternehmenspartner gewährleistet, andererseits die unternehmensübergreifende Kommunikation ermöglicht. Erfolgreiches SCM setzt eine übergreifende Zusammenarbeit aller Beteiligten voraus.

1.5 Lagerverwaltungssysteme LVS und WMS

Das Lagerverwaltungssystem (LVS) - oft auch als Lagerverwaltungs- und Steuerungssystem bezeichnet - wird im Sprachgebrauch mit dem Warehouse-Management-System (WMS) gleichgesetzt. Bezogen auf das klassische Lagerverwaltungssystem der 1980er und frühen 1990er Jahre gibt es aber Unterschiede zwischen LVS und WMS.

- Das klassische Lagerverwaltungssystem wurde zumeist als „Blackbox-System“ eingesetzt, d. h. getrennt von der zentralen Unternehmenssoftware [DHL 1]. Dieses LVS war schwerpunktmäßig begrenzt auf
 - die mengenmäßige Verwaltung von gelagerten Artikeln und deren Lagerorte
 - sowie auf die Steuerung der Fördertechnik.

- Ende der 1990er Jahre bürgerte sich anstelle des Begriffs „Lagerverwaltungssystem“ der Begriff Warehouse-Management-Systeme (WMS) ein. Diese neue Bezeichnung steht aber für eine moderne weiterentwickelte Form der klassischen LVS.
 - Das WMS bietet gegenüber dem klassischen LVS einen größeren Funktionsumfang für komplexere Systeme. Gemäß VDI 3601 [VDI 14] beinhaltet das WMS die Steuerung, Koordination und Optimierung von Lager- und Distributionssystemen.
 - WMS sind außerdem in der Lage, mit dem ERP zu kommunizieren, oder sind gar in das ERP integriert.

Trotz dieser Unterschiede werden auch im folgenden Text die Begriffe LVS und WMS synonym verwendet.

1.5.1 Funktionsumfang moderner LVS (WMS)

Moderne Lagerverwaltungs- und Steuerungssysteme (LVS bzw. WMS) sind i. d. R. modular aufgebaut. Die Modulangebote enthalten meist neben den Modulen mit den elementaren Funktionen (Kernfunktionen) weitere Module mit einer breiten Palette an Zusatz- und Erweiterungsfunktionen (siehe VDI 3601 [VDI 14]). Trotz der unterschiedlichen Anforderungen der verschiedenen Branchen und Unternehmensstrukturen an die Funktionen eines LVS können aus diesen Modulangeboten unternehmensspezifische Funktionspakete zusammengestellt und bei Bedarf erweitert werden.

Die Module können z.B. folgenden Funktionsumfang enthalten:

- **Kernfunktionen:** Sie gehören zum minimalen Installationsumfang. Dazu gehören:
 - Mengen- und Lagerplatzverwaltung (Lagerplatzbestand in den verschiedenen Lagerbereichen)
 - Fördermittelsteuerung / Fördermitteldisposition,
 - Unterstützung der Kernfunktionen, angefangen von Wareneingang, Einlagerung, Lagersteuerung, Kommissionierung, Auslagerung, Warenausgang, Inventur, Formularmanagement.
- **Zusatzfunktionen:** Sie gehören zum gewöhnlichen Funktionsbereich des WMS, werden aber nur unternehmensspezifisch installiert; z.B.:
 - Chargen- /Seriennummern-Management,
 - Leergutverwaltung,
 - Retourenmanagement
- **Erweiterungsfunktionen:** Eigenständige Software, die i. d. R. nicht vom WMS-Anbieter entwickelt und vertrieben wird. Dazu kann gehören:
 - RFID-Systeme, Pick-by-Voice-Systeme oder Pick-by-Light-Systeme.
 - Unterstützung des Managements bei miteinander vernetzten Lagerstätten (z.B. Beständeausgleich bei mehreren Lägern).
 - Anbindung an Systeme wie z.B.
 - Speditionssysteme
 - Zollsysteme
 - Online-Shop-Systeme

Moderne LVS (WMS) ermöglichen u. a. die Kontrolle zahlreicher wichtiger Indikatoren. Daraus werden vielfältige Strategien zur Optimierung der eingesetzten Systeme abgeleitet.

1.5.2 Klassifizierung von Lagerverwaltungs-Softwaresystemen

Nach [FRA 1] lassen sich Lagerverwaltungs-Softwaresysteme in vier Kategorien einteilen:

- Low-Cost-Standard-Software
- Standard-Software
- Midrange-Systeme
- Kundenspezifische Individual-Software

1.5.2.1 Low-Cost-Standard-Software

Low-Cost-Standard-Software ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Sie enthält die typischen Grundfunktionen einer LVS in einfacher Ausprägung.
- Es fehlen weiterreichende Funktionen, wie z.B.
 - komplexere Kommissionier- und Inventurstrategien
 - Tourenoptimierungsfunktionen
 - Schnittstellen zu automatisierten Materialflusssystemen
- Ferner gibt es Einschränkungen bezüglich
 - der Anzahl der Nutzer
 - der abzubildenden Eigenschaften der zu verwaltenden Lagerplätze, Sachgüter und Bestände.

Low-Cost-Standard-Software eignet sich für manuell bediente Lager mit wenig komplexen Abläufen und geringen Mengengerüsten.

1.5.2.2 Standard-Software

Nach [FRA 1] ist Standard-Software durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Es ist eine LVS-Software, die als Modul Teil eines komplexen ERP-Systems ist.
- Sie ist i. d. R. ohne relevante Einschränkungen hinsichtlich der Nutzerzahl und ohne Einschränkungen bezüglich der Anzahl Lagerplätze, Sachgüter, Bestände.
- Sie kann auch in begrenztem Umfang Steuerungsfunktionen für automatische Lager enthalten. Einschränkungen können sich aufgrund der langsamen Reaktionszeiten und der geringen Durchsatzleistungen ergeben.
- Wegen der Standardisierung ist diese Standard-Software i. A. sehr spezifisch und nur begrenzt anpassbar.

Standard-Software ist nur sinnvoll einzusetzen, wenn sowohl die intralogistischen Prozesse als auch die Software aneinander angepasst werden können.

1.5.2.3 Midrange-Systeme

Midrange-Systeme sind für manuelle und halbautomatische Lager konzipiert. Merkmale dieser Software sind:

- Sie verfügen über Schnittstellen zu übergeordneten Systemen, wie PPS, WWS, ERP.
- Sie ermöglichen i. d. R. die Adaption automatischer Materialflusssysteme.
- Sie umfassen meist
 - alle Arten von Lagerbereichen und lassen i. d. R. auch die Verwaltung mehrerer Lager zu.
 - weitreichende Funktionen, wie z.B. komplexere Kommissionier- und Inventur- Strategien, Tourenoptimierung. Diese müssen üblicherweise kundenspezifisch angepasst werden.

1.5.2.4 Kundenspezifische Individual-Software

„Kundenspezifische Individualsoftware“ bezieht sich nach dieser Klassifizierung auf einen Teil der LVS-Software, deren Funktionsumfang speziell auf automatisierte Logistikprozesse ausgerichtet und diesbezüglich optimiert ist. Dieser Teil des Lagerverwaltungssystems ist eingebettet in ein komplettes Lagerverwaltungs- und Steuerungssystem.

Derartige Software wird meist für Lager mit hohem Automatisierungsgrad eingesetzt.

1.5.3 Ergebnis einer Marktuntersuchung zur Leistungsfähigkeit von LVS

Im Rahmen einer Marktuntersuchung [F+H 1] wurden zum Themenkomplex „Lagerführung“ folgende Funktionen innerhalb des Lagerverwaltungssystems untersucht

- Visualisierung
- Bestandsführung
- Zusammenlegungsverbote
- Betriebsmittelstatistiken
- Seriennummernverwaltung
- Restlaufzeitüberwachung / Überwachung des Mindesthaltbarkeitsdatums
- Lagerzeitüberwachung
- Ein- und Auslagerung

Nach [F+H1] wird empfohlen, Artikelgruppen nach bestimmten Eigenschaften zu bilden. Dadurch müsste durch die LVS nicht mehr für jeden einzelnen Artikel einer Gruppe die dazugehörigen Strategien gepflegt werden. Die Bearbeitung ganzer Artikelgruppen durch eine Gruppenstrategie würde den Verwaltungsaufwand reduzieren; das System würde benutzerfreundlicher, effizienter und sicherer.

1.5.3.1 *Visualisierung*

72 % der untersuchten LVS bieten Visualisierung. Dies sind i. d. R. zweidimensionale Abbildungen mit selektierbaren Bereichen des Lagers, bis hin zum dreidimensionalen animierten Lager-Layout.

Sinnvoll ist die selektive Abbildung, „da sie einen Teil des Lagers übersichtlich darstellt und nicht das ganze, i. A. komplexe und dadurch vielfach unübersichtliche Lager“.

Zur visuellen Verwaltung sind weitere Informationen notwendig bzw. sinnvoll. Gemäß Studie ist von diesen Informationen i. d. R. aber nur ein Teil erkennbar oder abrufbar. Zu den in der Studie geforderten Informationen gehören Informationen zu den Lagerplätzen, wie z.B.:

- Belegt, frei, gesperrt, usw.
- Welcher Artikel befindet sich auf welchem Lagerplatz
- Wo und in welcher Menge ist der Artikel im Lagerbereich vorrätig

1.5.3.2 *Bestandsführung*

Die Studie [F+H1] differenziert bei dem Begriff ausdrücklich nach

- Wertmäßiger Bestandsführung:
Die Verwaltung der Gesamtbestände findet im Warenwirtschaftssystem (Materialwirtschaftssystem oder Materialmanagementsystem) statt. Das WWS enthält i. d. R. auch die Nachbestellungsstrategien
- Bestandsführung auf das Lager bezogen:
Die exakte mengen- oder lagerplatzbezogene Bestandsführung wird im LVS abgebildet.

Nach [F+H1] werden in der Praxis LVS häufig auch ohne Kopplung zum WWS eingesetzt. Dann muss die Nachbestellung durch das LVS unterstützt werden. Hierfür fehlen vielen LVS wichtige Funktionen, wie z.B. die Mindestbestandsmenge.

1.5.3.3 *Zusammenlegungsverbote*

Zusammenlagerungsverbote beziehen sich primär auf Gefahrgutlager. Die Auswertung in [F+H1] ergab, dass bei den meisten LVS die kritischen Artikel jeweils speziellen Lagerbereichen zuordnet wurden. In fast keinem der untersuchten Systeme erfolgte eine automatische Kontrolle von Zusammenlegungsverboten mit eventueller Ablehnung bei beabsichtigten Ein- oder Auslagerungen.

In [F+H1] wird empfohlen, die Artikel nach Gruppen zu ordnen und diesen Gruppen dann Zusammenlegungsverbote zuzuordnen (z.B. durch eine Zusammenlagerungstabelle).

1.5.3.4 Betriebsmittelstatistiken

In Betriebsmittelstatistiken wird der Einsatz der Betriebsmittel erfasst (z.B. von Flurförderzeugen oder Regalbediengeräten). Diese Funktion wird nach [F+H1] von ca. 40% der untersuchten LVS geboten.

Diese Statistiken dienen

- der vorbeugenden Wartung und Instandhaltung
- der Bewertung von realisierten Ein-Auslagerungsstrategien, insbesondere bei ganggebundenen Flurförderzeugen, indem die Nutzung einzelner Gassen verglichen wird.

1.5.3.5 Seriennummernverwaltung

Insbesondere für die Rückverfolgbarkeit im Sinne der Produkthaftung ist die Produkthistorie nützlich oder gar zwingend erforderlich. Nach [F+H1] wird aber die hierfür notwendige Seriennummernverwaltung von nicht einmal der Hälfte der untersuchten LVS geboten.

1.5.3.6 Restlaufzeitüberwachung / Überwachung des Mindesthaltbarkeitsdatums

Die Funktion der Restlaufzeitüberwachung ist bei den untersuchten LVS in der Standardversion häufig nicht integriert [F+H1]. Für Artikel mit MHD kann dies aber eine sehr nützliche Funktion sein

- für die Auslagerungsstrategie allgemein (ergänzend zum reinen first in / first out)
- für die Initiierung von Sonderverkaufsaktionen

1.5.3.7 Lagerzeitüberwachung

Durch die Lagerzeitüberwachung lässt sich eine Überalterung der Artikel vermeiden und Ladenhüter können identifiziert werden. Nach [F+H1] ist diese Funktion in den Standardversionen der LVS nicht umgesetzt.

Das Einlagerungsdatum wird in den meisten Fällen geführt, so dass eigentlich die Lagerzeit ermittelt werden könnte. Bei einigen Systemen wird aber nicht das Einlagerungsdatum, sondern das Datum der letzten physischen Materialbewegung gespeichert.

1.5.3.8 Gruppenspezifische Ein- und Auslagerungsstrategien

Die Auswertung des Fragenkomplexes [F+H1] ergab, dass sich nur selten Artikelgruppen nach bestimmten Eigenschaften (s. o.) durch die Anwender definieren lassen.

1.6 Warehouse Control System (WCS) und Warehouse Execution System (WES)

1.6.1 Warehouse Control Systems (WCS) / Materialflussteuerung (MFS)

Das Lagerverwaltungssystem (LVS) verwaltet den Bestandsfluss eines Unternehmens als Ganzes und generiert Transportaufgaben. Es verwaltet aber nicht die aktuellen Zustände der lagertechnischen Anlagen, wie z.B. der Fördertechnik, Sorter oder der Regalbediengeräte. Diese vielfältigen Anlagen innerhalb eines Logistiksystems verfügen über speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), deren Programme aufgabenspezifisch und auch herstellerabhängig sich sehr stark unterscheiden können.

Das Warehouse Control System (WCS) (im deutschen Sprachgebrauch „Materialflussteuerung“, kurz „MFS“) erhält die Transportaufträge von dem LVS und ist ein Bindeglied zwischen dem Lagerverwaltungssystem (LVS) und den SPS der Anlagen. Das WCS ist speziell auf die Verwaltung automatisierter Anlagen zugeschnitten. Wesentliche Aufgaben des WCS sind:

- Synchronisation der unterschiedlichen Steuerungssoftware der lagertechnischen Anlagen.
- Koordination aller Material- und Informationsflüsse mit dem Ziel, die Waren termingerecht und vollständig am geplanten Zielort bereitzustellen. Dabei müssen die Betriebszustände der Anlagen sowie die Belegung der Strecken beachtet und die günstigste Route in Echtzeit berechnet werden.
- Optimieren der Auslastung der Anlagen.
- Erteilen von Fahrbefehlen an die SPS der relevanten Anlagen.
- Übermitteln von Information an das LVS über den jeweiligen Standort der beförderten Ware.

1.6.2 Warehouse Execution System (WES)

Die Definition für ein Warehouse Execution System ist nicht einheitlich. Inhaltlich variiert es von Hersteller zu Hersteller und von Anwendungsfall zu Anwendungsfall.

In den meisten Veröffentlichungen wird WES als eine Lagersoftware beschrieben, die - bezogen auf die wesentlichen Funktionen - eine Mischung aus WCS und WMS ist. Danach beinhaltet WES i. d. R. die meisten Funktionen des WCS und zusätzlich einige Funktionen des WMS. Das führt auch zu der Behauptung, WES sei der bessere Ersatz für WCS. Andere Berichte bezeichnen WES als Brücke zwischen WMS und WCS, mit dem Hauptziel, die Effizienz aller vom WCS durchgeführten Aktivitäten zu steigern.

Während bei den meisten WCS-Systemen der Focus auf die automatischen Handhabungs- und Fördergeräte gerichtet ist, berücksichtigen einige WES-Systeme auch halbautomatische und manuelle Prozesse. Dazu gehören z.B.

- Wareneingang
- Management manueller und automatisierter Kommissioniertätigkeiten
- Verwaltung und Kontrolle der Pick-to-Light und Put-to-Light-Systeme
- Nachschub zur Kommissionierung
- Sprachintegration
- Optimierung der Ressourcen (Mensch und Maschine)

1.7 **Ergänzende Software-Module**

Viele Funktionen sind bereits Teil von ERP-, WMS- oder SCM-Plattformen. Sie können aber auch als spezialisierte und oft leistungsfähigere Module das Gesamtsystem ergänzen.

1.7.1 Yardmanagement (YMS) / Hofleitsystem (HLS)

Yardmanagement (YMS), auf Deutsch Hofmanagement oder Hofleitsystem (HLS) genannt, läuft auch unter der umfassenderen Bezeichnung „Dock- und Yardmanagement“. Dies betrifft primär die Organisation des Betriebshofes und des Rampenbereiches (siehe hierzu auch Teil IV, Kapitel 2 „Anforderungen an den Außenbereich mit Betriebshof“).

Zusammengefasst steht YMS für die komplette Organisation, Steuerung und Abwicklung der Prozesse, die mit der Anlieferung bzw. dem Abtransport von Waren verbunden sind. YMS ermöglicht damit die Planung von Wareneingängen und Warenausgängen und die Planung und Überwachung von Ressourcen (LKWs, Trailern, Container usw.) auf dem Werksgelände. „Yard-Management schließt die Lücke zwischen der Transportlogistik und der Lagerlogistik und versucht die Prozesse zeit- und kostensparend zu organisieren“ [Wikipedia].

Funktionen des Dock- und Yardmanagements:

- Koordination aller Prozesse an den Laderampen (Docks). Das Dockmanagement beinhaltet die Abfertigung ankommender und abfahrender Lieferfahrzeuge (i. d. R. LKWs) sowie den Wareneingang und den Warenausgang.

- **Digitales Zeitfenster-Management**
Die Zeitfenster für die Anlieferung bereits vor der Ankunft eines LKWs auf dem Werksgelände planen und koordinieren. Dies geschieht durch Datenaustausch mit Logistikpartnern bzw. Mitarbeitern des eigenen Fuhrparks.
 - Be- bzw. Entladedauer berechnen anhand avisierter Ladeeinheiten und sonstiger Parameter.
 - Erforderlichen Ressourceneinsatz bestimmen und einplanen.
 - Ankunftszeit (Expected Time of Arrival / ETA) ermitteln auf Basis von Verkehrssituation und Telematikdaten.
Zeitfenster anpassen bei Verschiebung der Ankunftszeit.
- Anmerkung:
Prozesse für den Wareneingang und Warenausgang (soweit möglich) in verschiedene Zeitfenster eintakten um Engpässe zu vermeiden.
- Wartebereiche für LKWs, bzw. Stellflächen für Wechselbrücken, Container usw. festlegen und übermitteln.
- Überprüfen und Erfassen von Leistungsindikatoren

1.7.2 Transportmanagementsystem (TMS)

Des Transportmanagementsystem (TMS) ist oft ein Teil des Supply Chain Management-Systems (SCM). Es lässt sich gut mit Enterprise Order Management, Warehouse Management und anderen Systemen zur Steuerung der Transportnachfrage integrieren.

TMS beschäftigt sich mit der Planung, Ausführung und Optimierung von physischen Warenbewegungen. Zentrale Aufgaben des TMS sind

- Auftragsverwaltung
- Planung und Disposition
- Operative Transportüberwachung

Das TMS verfolgt jede Sendung bis zur Übergabe der Ware. Bei Verkehrsbehinderungen berechnet es automatisch einen anderen Weg. Einige fortschrittliche TMS-Lösungen bieten auch Track-and-Trace-Dienste an. Diese ermöglichen einen Informationsaustausch zwischen Spediteuren, Händlern, Lagern und Kunden in Echtzeit.

1.8 **Software-Auswahl**

Es gibt eine Vielfalt von Unternehmenssoftware mit unterschiedlichem Spezialisierungsgrad.

- Es gibt etliche Software-Anbieter, die komplette ERP-Lösungen anbieten. Mit diesen ERP-Lösungen decken sie prinzipiell alle Anwendungsbereiche ab.
- Es gibt aber auch viele spezialisierte Anbieter von Software-Modulen für einzelne Geschäftsbereiche, wie z.B. Controlling.
- Aber auch innerhalb der Software für einzelnen Geschäftsbereiche gibt es Anbieter, deren Software fachspezifisch optimiert ist.

Innerhalb des ERP oder auch innerhalb der geschäftsbereichsspezifischen Module kann es Softwarepakete geben, die für die Abbildung der unternehmensspezifischen Prozesse nur begrenzt geeignet sind.

Bei der Software-Auswahl gibt es daher zwei Philosophien:

- Best of Breed
- Best of Suite

1.8.1 Philosophie „Best- of Breed“

Mit der Auswahlstrategie „Best- of- Breed“ wird das Ziel verfolgt, die unternehmensspezifisch beste Gesamtlösung aus der Vielzahl der jeweils geeignetsten Software-Module unterschiedlicher Software-Anbieter zusammenzustellen.

Vorteile von „Best of Breed“:

- Für die Software-Lösungen für die einzelnen Fachbereiche kann auf echte Spezialisten zurückgegriffen werden.
- Innovative Lösungen werden meist von kleinen Anbietern geboten; große Anbieter folgen i. d. R. erst, wenn sich der Markt dafür entwickelt hat.

Probleme im Zusammenhang mit Best-of-Breed-Software:

- Die Marktführer der jeweiligen Module zu einem Team zu formen ist sehr aufwendig.
- Module müssen an die übergeordnete Software angepasst werden, es gibt ggf. inkompatible Schnittstellen und damit Insellösungen.
- Erhöhte Kosten für Implementierung und Wartung.

1.8.2 Philosophie „Best of Suite“

Mit der Auswahlstrategie „Best of Suite“ wird „alles aus einer Hand“ angestrebt. Dabei wird die Software von dem Anbieter ausgewählt, der die beste Gesamtlösung bietet.

Vorteile von „Best of Suite“

- Einheitliche Datenbasis, da keine Software-Einzellösungen.
- Keine Schnittstellen, damit Wegfall von Integrationsarbeiten.
Dies ist insbesondere zu beachten mit Blick auf Updates und neue Releases.
- Gleiche Benutzeroberfläche bei allen Modulen, damit hoher Wiedererkennungseffekt und somit hohe Benutzerfreundlichkeit und ggf. geringerer Schulungsaufwand.
- Die Zukunftssicherheit ist bei einem großen Gesamtanbieter ggf. etwas höher einzuschätzen als bei vielen kleinen Spezialisten.
- Die Verhandlungsposition eines Kunden ist gegenüber einem Gesamtanbieter besser, als gegenüber vielen kleinen Anbietern von Spezialsoftware, die noch koordiniert werden müssen.
- Keine Schnittstellen zu Externen

Problem im Zusammenhang mit „Best of Suite“

- Der präferierte Anbieter hat nicht alle Module in seinem Angebotsspektrum, bzw. einzelne Module sind weit entfernt von den unternehmensspezifischen Anforderungen.

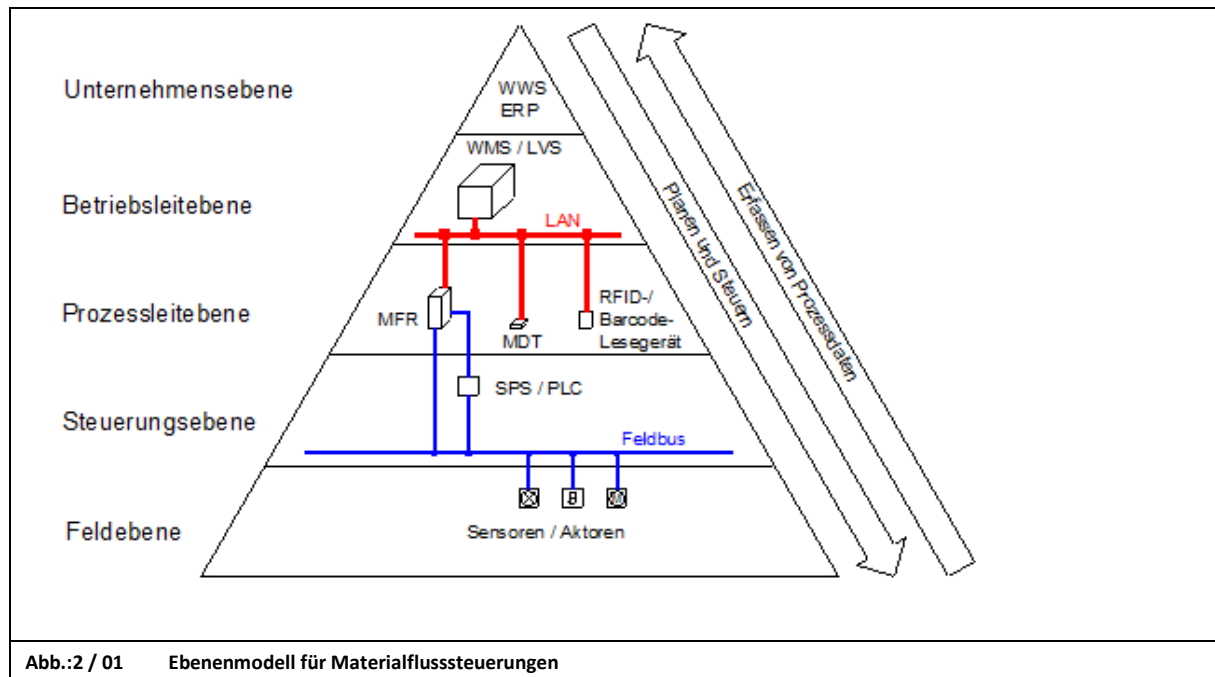
1.8.3 Fazit „Best of Breed“ vs. „Best of Suite“

Meist ist das Ergebnis der Software-Auswahl ein Ergebnis beider Philosophien, wenn auch mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Dabei wird das ERP-System der Kern sein, in das einzelne spezialisierte Softwares integriert werden.

2 DATENTRANSFER

Im Rahmen der internen Lagerverwaltung und Lagersteuerung gibt es meist eine Vielzahl von Computern mit Ein- und Ausgabestationen für Daten. Diese müssen miteinander kommunizieren können. Aber auch die Daten von stationären und mobilen Endgeräten innerhalb eines Lagersystems (wie z.B. Scanner, Sensoren usw.) müssen in die Kommunikation mit einbezogen werden können. Dazu kommt noch der Datentransfer mit externen Kommunikationspartnern, wie z.B. mit Kunden und Lieferanten. Hierfür müssen die einzelnen Systeme und Komponenten über Kabel oder drahtlose Datenübertragungssysteme miteinander verbunden werden.

Die intralogistische Steuerung des Materialflusses kann z.B. wie in nachfolgender Abbildung in einem hierarchischen Ebenenmodell abgebildet werden [nach TEN 1]:



- **Unternehmensleitebene:** Höherwertige Geschäftsprozesse dieser Ebene werden im Warenwirtschaftssystem (WWS) bzw. Enterprise Resource Planning (ERP) abgebildet.
- **Betriebsleitebene:** Mit Hilfe des Lagerverwaltungssystems (LVS) / Warehouse Managementsystem (WMS) übernimmt sie alle lagerverwaltungstechnischen Aufgaben, wie die Verwaltung von Aufträgen, die Disposition von Beständen usw.
- **Prozessleitebene:** In dieser Ebene sendet der Materialflussrechner (MFR) definierte Vorgaben an die Steuerungstechnik. Auch kann z.B. über Barcode- / RFID-Lesegeräte oder mobile Datenterminals (MDT) auf Prozessdaten zugegriffen werden. In dieser Ebene ist i.d.R. auch die Visualisierung angeordnet. Dieses Materialflussteuerungssystem wird auch Warehouse Control System (WCS) genannt.
- **Steuerungsebene:** Über Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), engl. Programmable Logic Controller (PLC) werden Signale der Feldebene verarbeitet und Antriebe (z.B. in der Fördertechnik) gesteuert bzw. geregelt.
- **Feldebene:** Diese Ebene beinhaltet alle im Materialflusssystem befindlichen Sensoren und Aktoren.

2.1 Netzwerktechnologie

Werden mehrere Rechner so miteinander verbunden, dass sie untereinander kommunizieren können, dann spricht man von einem Netzwerk. Dabei sind Netze die physische Grundlage; d. h. sie sind der Träger für den Transport von Daten. Die Verbindung zwischen den Computern oder Terminals untereinander kann über Kabel oder drahtlos erfolgen, jeweils in Verbindung mit Kopplungselementen, welche die Kommunikation ermöglichen.

2.1.1 Kopplungselemente

Es gibt verschiedene Kopplungselemente mit unterschiedlichen Fähigkeiten. In großen Unternehmensnetzwerken ist die Abgrenzung und Benennung dieser Elemente aber nicht immer eindeutig (siehe z.B. oben „Middleware“).

Die Bezeichnungen der nachfolgend aufgeführten Kopplungselemente sind überwiegend in kleinen Netzwerken üblich:

2.1.1.1 *Hub*

Ein Hub ist ein Gerät, das die Verbindung zwischen mehreren ins Netzwerk eingebundenen Geräten herstellt. Die ins Netz eingebundenen Computer / Terminals werden über Kabel mit dem Hub verbunden (i. d. R. über Ethernet-Kabel), so dass die gesamte Informationsübertragung zwischen den Geräten über den Hub erfolgt.

- Ein Hub ist nicht in der Lage, Quelle und Senke einer Information zu erkennen. Er sendet daher eine eingehende Information an alle angeschlossenen Computer; auch an den Computer, der die Information gesendet hat.
- Bei einem Hub müssen alle angeschlossenen Geräte mit derselben Geschwindigkeit arbeiten.

2.1.1.2 *Bridge*

Anders als beim Hub können mit Hilfe einer Bridge auch Geräte miteinander verbunden werden, die mit unterschiedlichen physikalischen Übertragungsarten arbeiten.

Durch den Einsatz von Switches ist die Bridge als Kopplungselement aber eher untypisch.

2.1.1.3 *Switch*

Mit einem Switch können wie mit einer Bridge Geräte mit unterschiedlichen Übertragungsarten miteinander verbunden werden. Darüber hinaus kann ein Switch das gewünschte Ziel einer Information erkennen. Eine Information wird daher nur an die vorgesehenen Computer weitergeleitet.

2.1.1.4 *Access-Point (drahtloser Zugriffspunkt)*

Ein Access-Point (auch Basisstation genannt) ermöglicht den drahtlosen Zugriff auf ein verkabeltes Netzwerk. Hierzu tauscht der mit dem Netz verkabelte Access-Point Signale mit dem drahtlosen Computer aus.

2.1.1.5 *Router*

Router ermöglichen nicht nur die Kommunikation zwischen mehreren Computern innerhalb eines Netzes, sie ermöglichen auch die Kommunikation zwischen Computern in verschiedenen Netzen (z.B. zwischen Computern im lokalen Netz mit Kommunikationspartnern im Internet). Router können verkabelt oder drahtlos sein. Üblicherweise verfügen Router über integrierte Sicherheitsmechanismen, z.B. Firewall.

2.1.2 Netzwerkprotokolle

Der Datenaustausch zwischen Computern / Terminals, die durch ein Netz miteinander verbunden sind, erfolgt auf der Basis von Protokollen (auch als Netzwerkprotokoll, Kommunikationsprotokoll,

oder Übertragungsprotokoll bezeichnet). Protokolle sind Vereinbarungen zur Sicherstellung der Kommunikation unter Computern / Terminals. Diese Vereinbarungen sind eine Ansammlung von Regeln. Die Protokolle legen fest, in welcher Form und in welcher zeitlichen Abfolge gesendet und empfangen wird. In dem Protokoll (bzw. den Protokollen) ist auch geregelt, welche Datenleitungen für welche Zwecke zu verwenden sind; auch Sicherheitsaspekte spielen eine wichtige Rolle.

Ein Netzwerkprotokoll setzt sich wiederum aus mehreren Protokollen zusammen. Um diese Protokolle systematisch einordnen zu können, wurden sogenannte Schichtenmodelle entworfen. Dies sind das für das Internet entworfene 4-schichtige TCP/IP-Modell und das darauf aufbauende verfeinerte 7-schichtige OSI-Modell. Dem jeweiligen Schichtenmodell entsprechend (z.B. TCP/IP-Protokoll, OSI-Protokoll) arbeitet ein Protokoll immer einen Funktionsbereich, d. h. eine Schicht ab.

Das Internetprotokoll beinhaltet z.B.:

- Netzzugangsprotokolle
- Vermittlungsprotokolle
- Transportprotokolle
- Anwendungsprotokolle

Computer / Terminals sind nur kommunikationsfähig, d. h. kompatibel, wenn für sie identische Protokollebenen festgelegt sind, bei denen auf jeder Ebene die Protokolle übereinstimmen.

2.1.2.1 TCP/IP-Referenzmodell

Ende der 1960er Jahre begann das Verteidigungsministerium der Vereinigten Staaten (Department of Defense) mit der Entwicklung von Protokollen zur Datenkommunikation. Ergebnis war das DoD-Schichtenmodell, in dem die Aufgaben in 4 Schichten unterteilt wurden. Das DoD-Schichtenmodell wurde zur Grundlage für die Internetprotokollfamilie. Für das Internet und die Internetprotokollfamilie ist die Gliederung nach dem sogenannten TCP/IP-Referenzmodell maßgebend, wobei TCP/IP fest im DoD-Schichtenmodell verankert ist. TCP/IP steht für die Abkürzungen TCP (Transport Control Protocol) und IP (Internet Protocol).

Das 4-schichtige TCP/IP-Modell ist vergleichbar mit dem nachfolgend beschriebenen OSI-Referenzmodell, jedoch sind einzelne Schichten des OSI-Referenzmodells bei TCP/IP in einer Schicht zusammengefasst. Dies sind im OSI-Modell die Schichten 1 und 2 sowie die Schichten 5-7.

TCP/IP-Referenzmodell	OSI-Schichtenmodell
Anwendungsschicht	Anwendungsschicht
	Darstellungsschicht
	Kommunikationsschicht
Transportschicht	Transportschicht
Internetschicht	Vermittlungsschicht
Netzzugangsschicht	Sicherungsschicht
	Bitübertragungsschicht

2.1.2.2 OSI-Referenzmodell

Die Abkürzung „OSI“ steht für „Open System Interconnect Reference Model“ (Offenes System für Kommunikationsverbindungen). Das OSI-Schichtenmodell ist ein Referenzmodell für die hersteller-unabhängige Gestaltung von Kommunikationsprotokollen und Computernetzen. Das OSI-Referenzmodell ist ISO-Standard. In diesem Modell werden die Aufgaben in 7 Schichten unterteilt. Die Einteilung der Schichten basiert auf dem Prinzip, dass eine Schicht einer direkt benachbarten Schicht Dienste anbietet.

Schicht	Benennung	Funktion (Beispiele)
7	Anwendung	Dateneingabe und -ausgabe
6	Darstellung	Umwandlung der systemabhängigen Daten in ein unabhängiges Format.
5	Kommunikation	Steuerung der Verbindungen und des Datenaustauschs
4	Transport	Zuordnung der Datenpakete zu einer Anwendung
3	Vermittlung	Routing der Datenpakete zum nächsten Knoten
2	Sicherung	Segmentierung der Pakete in Frames und Hinzufügen von Prüfsummen
1	Bitübertragung	Umwandlung der Bits in ein zum Medium passendes Signal und physikalische Umwandlung.

2.1.3 Netzwerktopologien

Der Begriff „Netzwerktopologie“ ist die Anordnung / Struktur eines Netzwerkes. Dies beinhaltet die physikalische und logische Verbindung von Kommunikationspartnern, d. h. die Verbindung von Netzwerkstationen. Dabei ist „Netzwerkstation“ wiederum ein Oberbegriff für ein Gerät, das zwei oder mehr Übertragungswege eines Netzes verbindet (z.B. Computer, Router, Switches, usw.). Die Netzwerkstation wird auch Netzwerkelement oder Netzwerkknoten bezeichnet.

2.1.3.1 Logische Topologie

Die logische Topologie stellt die Art der Übertragung und der Zugriffsmethoden dar, in der die Daten als elektrische oder optische Impulse in den Kommunikationsleitungen übertragen und weiterverarbeitet werden. Diese datenflussbeschreibende Struktur wird auch als Zugriffsverfahren bezeichnet. Die gängigsten logischen Topologien / Zugangsprotokolle sind:

- Ethernet
- Token Ring
- FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

2.1.3.2 Physikalische Topologien

Die physikalische Verbindung von Netzwerkstationen kann auf Basis von Verkabelung erfolgen, oder aber auch drahtlos mittels Funk oder per Licht. Für die Verkabelung gibt es unterschiedliche Kabelarten, wie z.B. Koaxialkabel, Twisted-Pair-Kabel, Lichtleiterkabel.

Physikalisch kann das Netz u. a. als Bus, Stern, Ring, oder als Kombination dieser Topologien aufgebaut sein.

2.1.3.2.1 Bus-Topologie

Bei der Bus-Topologie besteht das Netz aus einer gemeinsamen Leitung, an der mehrere Stationen mit eigener Intelligenz (z.B. Computer) hintereinandergeschaltet sind. Die Leitung ist an den beiden Endrechnern über Abschlusswiderstände abgeschlossen, damit Signale an den Kabelenden nicht reflektiert werden. Über die gemeinsame Leitung, den Bus, werden die Daten mit vielen Zusatzinformationen seriell übertragen. Zusatzinformationen sind u. a.:

- Adresse des Empfängers
- Adresse des Senders
- Fehlerbehandlung

Eine zentrale Netzwerkkomponente, welche die Abläufe auf dem Bus regelt, ist nicht erforderlich. Die mit diesem Netzwerk-Bus verbundenen Stationen verfügen über eigene Intelligenz. Eine Station nimmt nur Daten an, die an sie adressiert sind, die anderen Daten werden ignoriert. Die Bustopologie ist die einfachste Organisation eines Netzwerkes.

Das ursprüngliche Ethernet nutzte Koaxialkabel als Übertragungsmedium. Der Kabelbus ist nur ein passives Medium; die Datenübertragung wird durch ein komplexes Protokoll vorgegeben.

2.1.3.2.2 Ring-Topologie

In der Ringtopologie sind alle Netzwerkstationen in einer geschlossenen Schleife angeordnet. Jede Station hat einen rechten und einen linken Partner und damit ein ankommendes und ein abgehendes Kabel.

Die zwei wichtigsten logischen Topologien, die diese physikalische Topologie verwenden, sind Token-Ring und FDDI.

2.1.3.2.3 Stern- und Baumtopologie

In einer Stern-Topologie sind die Stationen jeweils mit einer eigenen Leitung an eine zentrale Station angeschlossen. Die zentrale Station (i. d. R. ein Hub oder ein Switch) übernimmt die Verteilung der Datenpakete.

In der neueren Form des Ethernet ist die Leitungsführung als Stern-Topologie aufgebaut, basierend auf dem 8-adrigen Twisted-Pair-Kabel anstelle des Koaxialkabels.

Die Baum-Topologie ist eine erweiterte Sterntopologie für größere Netze. Sie ergibt sich vor allem aus der Kombination mehrerer Topologien.

2.2 Computernetzwerke

Die bekanntesten Computer-Netzwerke, die von Unternehmen genutzt werden, sind:

- Internet,
- Local Area Network (LAN)
- Intranet

2.2.1 Internet

Das größte und bekannteste Computernetzwerk ist das Internet. Es ist ein Verbund von Computernetzen, der über die ganze Welt verbreitet ist. Das Internet ermöglicht über Dienste diverse Kommunikationsmöglichkeiten. Dazu gehört z.B. der Zugriff auf Web-Seiten, oder das Versenden von E-Mails.

2.2.2 Lokale Netze (LAN und WLAN)

Auf räumlich begrenztem Raum, wie z.B. innerhalb eines Unternehmens erfolgt die Kommunikation zwischen mehreren Computern sowie die Benutzung gemeinsamer Betriebsmittel auf Basis lokaler Netze. Beispiele hierfür sind:

- Kommunikation zwischen Host mit Terminals
- Gemeinsame Benutzung zentraler Drucker oder anderer Peripherie.

Anmerkung:

Der Begriff „Lokale Netze, oder LAN“ wird von Organisationen häufig auch auf interne Netze bezogen, deren Nutzer an voneinander weit entfernten Standorten angesiedelt sind. Der Übergang zum Intranet ist dann fließend (siehe unten).

Lokale Netze können drahtgebunden arbeiten, aber auch drahtlos.

- Drahtgebunden sind z.B. die standardisierten lokalen Netze Ethernet und Token Ring.
- Drahtlos sind LANs wie z.B. WLAN nach 802.11, Bluetooth oder Infrarot-LAN.

2.2.3 Intranet

Intranet arbeitet prinzipiell wie das Internet, ist aber ein geschlossenes Netz innerhalb eines Unternehmens oder einer Organisation. Es wird i. d. R. für Mitarbeiter im Innen- und Außendienst eingerichtet. Der Zugriff auf Daten definierter Bereiche kann auch für Geschäftspartner freigeschaltet werden; dann wird das Netz aber häufig auch als „Extranet“ bezeichnet.

Als Abgrenzung zum Local Area Network (LAN) kann das Netzwerkprotokoll herangezogen werden, mit dessen Hilfe Daten transportiert werden. Anders als ein reines LAN verwendet das Intranet mit TCP/IP das gleiche Protokoll wie das Internet. In der Regel kann von einem Intranet aus auf das Internet zugegriffen werden. Damit nicht umgekehrt vom Internet auf das Intranet zugegriffen werden kann, wird dieses durch einen Firewall-Rechner zwischen Internet und Intranet geschützt.

2.3 Bus in der Steuerungs- und Feldebene

Peripheriegeräte der Feldebene werden von der übergeordneten Steuerungsebene (z.B. über SPS) gesteuert bzw. geregelt (siehe Abb. 2 / 01 „Ebenenmodell für Materialflusststeuerungen“).

In der klassischen Installation von elektrisch betriebenen Geräten, wie z.B. elektrischen Antrieben usw. wird die Verdrahtung genutzt, um die Energie zu transportieren; dieselbe Verdrahtung wird i. d. R. aber auch genutzt, um die angeschlossenen Geräte zu steuern. Dies erfolgt z.B. durch Schließen oder Unterbrechen von Kontakten. In Stetigförderstrecken gibt es z.B. eine Vielzahl an Sensoren und Antrieben, die zum einen mit der Energieversorgung verknüpft sein müssen, zum anderen aber auch mit den jeweiligen Steuereinheiten. Mit zunehmender Komplexität der Förderstrecke wächst der Bedarf an Kabeln und Leitungen. Damit wächst nicht nur der Platzbedarf, es wachsen insbesondere die Kosten für Material und Arbeitsaufwand für die Verkabelung.

Bei Verwendung eines Bussystems werden der Transport von Energie und die Übertragung von Informationen voneinander getrennt. Es gibt z.B.

- einen Stromkreis zur Energieversorgung der Abnehmer und
- eine Busleitung, die alle zu steuernden / regelnden Feldgeräte, wie z.B. Sensoren / Aktoren sowie Steuergeräte und Leitrechner miteinander verbindet. Auf dem gemeinsamen Übertragungsweg sind die einzelnen Datenübertragungen klar voneinander getrennt.

Die an einen Bus angeschlossenen Feldgeräte verfügen i. d. R. nicht über die Intelligenz, wie die Stationen in einem Computernetzwerk (siehe oben). Dennoch müssen sich die Teilnehmer den Übertragungskanal im gegenseitigen Einverständnis teilen. Eine Möglichkeit hierzu ist das Master / Slave-Prinzip (Herr / Sklave-Prinzip). Ein Teilnehmer ist der Master, alle anderen sind die Slaves.

- **Master** Der Master ist für die Steuerung der Prozesse zuständig. Er hat als einziger das Recht, unaufgefordert auf den gemeinsamen Übertragungsweg zuzugreifen.
- **Slave** Der Slave kann von sich aus nicht auf den gemeinsamen Übertragungsweg zugreifen. Er muss warten, bis er vom Master gefragt wird. Die Slaves arbeiten die einzelnen Teilaufgaben ab.

Hierfür gibt es normierte Protokolle.

Für die Kommunikation zwischen Feld- und Steuerungsebene gibt es aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der anwendenden Branchen auch sehr verschiedene Bussysteme. Alle diese Systeme können unter dem Oberbegriff „Feldbus“ subsumiert werden. Die einzelnen Systeme unterscheiden sich insbesondere bezüglich

- ihrer Topologie, wie Linie, Ring, Stern, Baum (wie Netzwerke, siehe auch oben)
- ihren Übertragungsmedien
- ihren Übertragungsprotokollen

Aufgrund der Entwicklung kann innerhalb der verschiedenen Arten an Feldbus-Lösungen unterschieden werden zwischen den „herkömmlichen Feldbuslösungen“ und den „Ethernet- basierten Feldbuslösungen“.

- **Feldbus**

Bekannte Feldbusse im Maschinen- und Anlagenbau sind u. a. der Interbus und der Profibus, wobei in zahlreichen lager- und fördertechnischen Anlagen der Profibus eingesetzt wird.

Den Profibus gibt es in den Varianten Profibus PD (Dezentrale Peripherie) und Profibus PA (Prozess-Automation).

- **Ethernet-basierte Feldbus-Lösungen**

Von führenden Herstellern im Automobilbau werden seit Jahren Ethernet-basierte Feldbuslösungen eingesetzt; und zunehmend auch im intralogistischen Anlagenbau. Zu den Ethernet-basierenden Feldbussen gehören z.B.

- EtherCAT
- Ethernet Powerlink
- EtherNet / IP
- Profinet

2.4 Übertragungsmedien für den Transfer von Daten und Informationen

2.4.1 Wellen als Grundlage der Informationsübertragung

Eine Welle ist eine sich räumlich ausbreitende Veränderung oder Schwingung einer ort- und zeitabhängigen physikalischen Größe. Unterschieden werden mechanische Wellen, die stets an ein Medium gebunden sind, und Wellen, die sich im Vakuum ausbreiten können.

- Schall z.B. zählt zu mechanischen Schwingungen. Als Übertragungsmedium kommen Gas, Flüssigkeiten und Festkörper in Frage. Schall wird nicht im Vakuum übertragen.
- Zu den Wellen, die sich auch im Vakuum ausbreiten können, gehört das breite Spektrum an elektromagnetischen Wellen.

Für den Menschen wahrnehmbare Wellen sind z.B. Wasserwellen, Schallwellen, Licht und Erdbebenwellen. Darüber hinaus gibt es aber noch eine Vielzahl an Wellenarten, die durch den Menschen nicht wahrgenommen werden können.

Eigenschaften mechanischer und elektromagnetischer Wellen:

- **Reflexion**
Die Wellen können an Oberflächen reflektiert werden.
- **Brechung**
Beim Übergang von einem Medium in ein anderes werden die Wellen gebrochen.
- **Beugung**
Die Wellen werden durch ein Hindernis abgelenkt. Durch Beugung lassen sich Wellen auch hinter dem Hindernis nachweisen, was auf rein geradem Weg durch das Hindernis versperrt wäre.
- **Interferenz**
Die Wellen können sich überlagern.

2.4.1.1 Mechanische Wellen

Eine mechanische Welle kann sich nur innerhalb eines Mediums ausbreiten. Dieses Medium kann z.B. ein fester, flüssiger oder gasförmiger Stoff sein, dessen schwingungsfähige Teilchen miteinander gekoppelt sind. Die Entstehung einer mechanischen Welle wird immer durch eine mechanische Erregung verursacht, durch die ein Teilchen im Medium aus seiner Ruhelage gezwungen wird. Durch die Kopplung der Teilchen untereinander übernehmen die Teilchen zeitversetzt nacheinander diese Störung. Infolge der Dichteschwankungen im Medium pflanzt sich die Störung durch das Medium fort.

Schall:

Aus dem Bereich der mechanischen Wellen ist die Schallwelle für die Sensorik und Informationsübertragung im Rahmen der Intralogistik die relevanteste Wellenart. Schall ist eine Longitudinalwelle (Längswelle), d. h. die Wellen schwingen parallel zur Ausbreitungsrichtung. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls beträgt in der Luft ca. 330 m/s (Schallgeschwindigkeit). Schallwellen werden in drei Frequenzbereiche unterteilt, wobei sich die Bereiche überlappen können.

< 16 -20 Hz	Infraschall	Gebäudeschwingungen / Erdbeben
16- 20.000 Hz	Menschlicher Hörbereich	
>16.000 Hz	Ultraschall	Vielfältige technische Anwendungen
Tab. 2.4 / 01 Einteilung der Frequenzbereiche bei Schallwellen		

Ultraschall gibt es in einer sehr großen Bandbreite. Die Frequenz kann von 16 kHz bis zu 1 GHz betragen. Entsprechend breit ist die Bandbreite der technischen Anwendungen. In der Produktion und der Intralogistik wird Ultraschall insbesondere für die Detektion von Objekten und zur berührungslosen Abstandsmessung eingesetzt.

2.4.1.2 Elektromagnetische Wellen

„Elektromagnetische Wellen“ ist eine Sammelbezeichnung für alle sich wellenförmig ausbreitenden elektromagnetischen Felder. Dazu gehören Strahlungen mit Wellenlängen im Bereich von weniger als 10^{-5} nm bis hin zu Bereichen mit sehr großen Wellenlängen von mehr als 10 km.

Anders als mechanische Wellen können elektromagnetische Wellen sowohl durch ein Medium als auch durch das Vakuum reisen. Die unterschiedlichen Arten elektromagnetischer Wellen unterscheiden sich nur in der Wellenlänge bzw. Frequenz. Die Vielfalt unterschiedlicher Wellenlängen bzw. Frequenzen bildet das sogenannte elektromagnetische Spektrum.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c der elektromagnetischen Wellen im Vakuum oder in einem Medium ist im Allgemeinen gleich der Lichtgeschwindigkeit in der jeweiligen Umgebung. Im Vakuum beträgt die Lichtgeschwindigkeit ca.

$$c = 299.792.458 \text{ m/s, d. h. rund } 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Zwischen Wellenlänge und Frequenz besteht der direkte physikalische Zusammenhang:

$$c = f \cdot \lambda.$$

Dabei sind

- c Lichtgeschwindigkeit (m/s)
- f Frequenz [Hz], wobei 1 Hz = 1/s ist.
- λ Wellenlänge [m]

Mit der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum als konstanter Größe ergibt sich aus diesem Zusammenhang, dass mit zunehmender Wellenlänge die Frequenz abnimmt.

Das elektromagnetische Spektrum wird in Wellenlängen- bzw. Frequenzbereiche unterteilt. Die unterschiedlichen Wellenlängen- / Frequenzbereiche bieten grundlegend verschiedene Eigenschaften und sind dadurch für unterschiedliche Einsatzzwecke geeignet. Bezüglich dieser Einsatzzwecke gibt es aber bei einigen Wellen- / Frequenzbereiche Überlappungen.

Eine grobe Unterteilung eines eingeschränkten Spektrums zeigt die Tabelle 2.4/02. Eine weitere Unterteilung der „Radiowellen i. w. S.“ sowie der „Lichtwellen i. w. S.“ erfolgt in separaten Unterkapiteln. Extreme Wellenbereiche, wie z.B. Längstwellen (VLF) sowie Röntgen- und Gammastrahlen sind in der Tabelle nicht enthalten. Auch innerhalb des relevanten Spektrums gibt es Wellenbereiche, die in der Tabelle nicht enthalten sind. Dazu gehören z.B. extremes UV und Submillimeterwellen.

Frequenz- bereich	Wellenlängen- bereich	Bezeichnung Anwendungsbeispiele der Wellenbereiche
30 - 300 kHz	10 km - 1 km	Langwellen / Radio- u. Funkwellen
0,3 - 300 MHz	1 km - 1 m	Radiowellen / MW, KW, UKW
0,3 - 300 GHz	1 m - 1 mm	Mikrowellen (UHF, SHF, EHF) / Wärme, Radar
0,3 - 1500 THz	1 mm - 200 nm	Infrarotes, sichtbares u. ultraviolettes Licht
Tab.: 2.4/02	Wellenlängen- und Frequenzbereiche elektromagnetischer Wellen	

2.4.2 Leitungsgebundene, leitungsnahe und leitungsfreie Übertragung

Für den Datentransfer zwischen Kommunikationspartnern der unterschiedlichen Ebenen in Materialflusssystemen, wie z.B. zwischen Leitrechner und der Steuerung von Geräten, Fahrzeugen usw. gibt es verschiedene Übertragungstechniken. Als Übertragungsmedien bieten sich elektrische und optische Leiter an sowie kabellose Techniken auf der Basis von Funk oder Lichtwellen.

Die geeignete Art der Übertragungstechnik ist von den Anforderungen der jeweiligen Anwendung abhängig. Auswahlkriterien sind z.B.

- Übertragungssicherheit / Störanfälligkeit auf der Strecke
- Reichweite (Distanzen und räumliche Lage)
- Übertragungsrate
- Kosten und Installationsaufwand

Ein Kriterium zur Vorauswahl sind aber die Anforderungen, die sich aus der Mobilität der Kommunikationspartner ergeben. Danach kann unterschieden werden in:

- Datenverbindung zwischen stationären Kommunikationspartnern
- Datenverbindung mit mindestens einer mobilen Systemkomponente, die auf festem Fahrkurs verfahren wird (z.B. mit Elektrohängebahn, FTF auf Induktionsschleife usw.).
- Datenverbindung mit mindestens einer mobilen Systemkomponente, die auf variablem Fahrkurs verfahren wird (z.B. mit autonomem FTF).

Auf Basis dieser Anforderungen können die Übertragungstechniken nach [GEB 2] unterteilt werden in:

- Leitungsgebundene Übertragung
- Leitungsnahe Übertragung
- Leitungsfreie Übertragung

2.4.2.1 Leitungsgebundene Übertragung

Für die leitungsgebundene Übertragung sind die Kommunikationspartner über ein Kabel (Kupferkabel, Koaxialkabel oder einen Lichtwellenleiter) miteinander verbunden. Dies ist die einfachste und zugleich sicherste Möglichkeit der Datenverbindung.

Die leitungsgebundene Übertragung ist insbesondere für die Kommunikation zwischen stationären Einheiten geeignet. Aber auch eine begrenzte Mobilität ist möglich, wenn die Verbindung zwischen Datenquelle und Datensenke über Schleppkabel o. ä. realisiert werden kann.

Leitungsgebundene Technologien haben aber auch Nachteile:

- Kabelverbindungen haben einen hohen Platzbedarf bedingt durch die Biegeradien der Kabel und der relativ voluminösen Steckverbindungen.
- Die elektromagnetische Abschirmung ist zu beachten und mitunter problematisch.
- Die Datenübertragung zu mobilen Datenempfängern ist sehr begrenzt.

2.4.2.2 Leitungsnaher Übertragung

Bei der leitungsnahen Übertragung werden Daten zwischen den Kommunikationspartnern über einen Leiter ausgetauscht, ohne dass die Kommunikationspartner fest mit der Leitung verbunden sind. Der Abstand zur Leitung ist aber sehr gering. Die Verfahren der leitungsnahen Datenübertragung erlauben somit keinen flächendeckenden Kommunikationsbereich; die Kommunikation ist auf fest vorgegebene Linien begrenzt.

Die leitungsnahen Datenübertragung kann erfolgen über:

- Schleifleitungen
- Induktive Verfahren
- Schlitzhohlleiter

2.4.2.2.1 Schleifleitungen

Elektrische Schleifleiter sind für die Energieübertragung schon lange im Gebrauch. Auch für die Übertragung von Daten ist dieses Verfahren inzwischen als zuverlässig anzusehen. Beispielsweise bei Elektrohängebahnen ist dies die übliche Form der Energie- und Datenübertragung. Es sind allerdings Maßnahmen gegen elektrische Einstreuungen in die Datenschleifleitungen zu treffen (z.B. Verwendung geschirmter Energieleitungen, Aufmodulieren der Daten auf eine Trägerfrequenz). Auch das Ablösen des Stromabnehmers von der Leitung und damit die Unterbrechung des Datenflusses ist zu vermeiden (z.B. durch Verwendung von Doppelschleifern).

Nachteilig ist bei Schleifleitungen der mechanische Kontakt zwischen Energie- / Datenleitung und Stromabnehmer, da sich hierdurch ein Verschleiß ergibt. Neben der Abnutzung der Schleifkontakte führt der Abrieb zu Verschmutzungen. Dies ist bei der Wartung zu berücksichtigen.

2.4.2.2.2 Induktive Datenübertragung

Die induktive Datenübertragung an mobile Kommunikationspartner (z.B. im Zusammenhang mit FTS der älteren Generation), ist ein berührungsloses Verfahren. Dabei kann die Datenübertragung mit der Energieübertragung verbunden werden.

Über einen Leitdraht, der i. d. R. in den Boden eingelassen ist, wird Wechselstrom eingekoppelt, über dessen Frequenz die digitalen Informationen codiert sind. Die Trägerfrequenz liegt zwischen 40 Hz und 100 Hz. Die Fahrzeuge sind mit Antennen ausgestattet, welche das umgebende Feld des Leitdrahtes abtasten.

2.4.2.2.3 Schlitzhohlleiter

Ein Hohlleiter ist ein Metallrohr (i. d. R. Aluminiumrohr) mit meist rechteckigem Querschnitt. Dieses Hohlprofil dient als Wellenleiter für elektromagnetische Wellen, vorwiegend im Frequenzbereich von 1 bis 200 GHz. Dazu wird zunächst an einer Signaleinspeisung des Profils ein HF-Signal eines Koaxialkabels in einen Wellentyp gewandelt. Die Welle kann sich im Hohlleiter ausbreiten, wenn die Breite des Hohlleiters mindestens einer halben Wellenlänge entspricht. Der nutzbare Frequenzbereich ist somit direkt von den geometrischen Abmessungen des Hohlleiters abhängig.

Ein Schlitzhohlleiter ist ein Hohlleiter, der in Längsrichtung geschlitzt ist. Die Datenübertragung erfolgt kontaktlos über eine an einer mobilen Einheit befindliche Antenne, die in den Hohlleiter hineinragt. Um Störungen zu vermeiden ist allerdings die Breite des Schlitzes begrenzt.

Das Datenübertragungssystem über Schlitzhohlleiter ist ein störeresicheres Verfahren. Auch im Bereich von anderen Funkverfahren, wie z.B. WLANs, Bluetooth usw. gibt es keine gegenseitigen Beeinflussungen. Das Verfahren ist für Anlagen im Innen- und Außenbereich geeignet.

2.4.2.3 Leitungsfreie Übertragung

Die leitungsfreie Datenübertragung lässt sich auf verschiedene Arten realisieren. Der Vorteil dieser Verfahren ist, dass eine Datenkommunikation großflächig gewährleistet werden kann, ohne an ein

spezifisches Medium gebunden zu sein. Dies ermöglicht die völlig freie Bewegung mobiler Einrichtungen. Darüber hinaus entfällt aufgrund der leitungsfreien Übertragung die kostspielige Installation von Leitern, was wiederum die Flexibilität bei Veränderungen erhöht.

Nachteilig ist die Empfindlichkeit gegenüber äußeren Störeinflüssen; hierzu gehören z.B.

- die elektromagnetischen Einflüsse bei den Funktechniken,
- oder z.B. die Auswirkung von Staub bei Infrarotstrahlungen.

Die leitungsfreie Datenkommunikation ist somit eine sinnvolle Ergänzung zur leitungsgebundenen und zur leitungsnahe Kommunikation; sie ist aber kein vollständiger Ersatz.

2.4.2.3.1 Ultraschall-Datenübertragung

Die Übertragung von Daten per Ultraschallwellen lässt sich zwar einfach und preiswert realisieren, gegenüber anderen Techniken hat aber Ultraschall zu viele Nachteile, wie z.B.:

- Geringe Reichweite (10 bis 20 m)
- Geringe Übertragungsrate
- Hohe Störanfälligkeit durch akustische Störungen, die z.B. von Maschinen / Anlagen ausgehen.

Für die Datenübertragung von mobilen Sensoreinheiten, Fahrzeug- oder Handheld-Terminals usw. an entfernte übergeordnete Rechner hat sich Ultraschall als Übertragungsmedium nicht durchgesetzt.

2.4.2.3.2 Datenfunk

Bei den Funkübertragungstechniken gibt es verschiedene Verfahren und Standards. Dazu gehören im Wesentlichen:

- Schmalbandfunk
- WLAN
- Bluetooth
- Mobilfunkstandard

Wesentliches Unterscheidungsmerkmal sind die Frequenzbänder und die zugeordneten Frequenzkanäle innerhalb dieser Bänder, in denen die Funkverfahren betrieben werden. Diverse Frequenzbänder sind innerhalb von Ländergruppen oder weltweit für bestimmte Anwendungsfälle reserviert. Dazu gehören die häufig genutzten ISM-Bänder; „ISM“ steht für „Industrial, Scientific and Medical Band“. ISM-Bänder sind Frequenzbereiche, die in Industrie, Wissenschaft und Medizin, sowie im häuslichen Bereich durch Hochfrequenzgeräte genutzt werden können.

Abhängig von den Frequenzbereichen in denen die Funkverfahren betrieben werden, sind sie in Deutschland entweder zulassungs- und gebührenpflichtig oder sie sind gebührenfrei.

2.4.2.3.2.1 Schmalbandfunk

Schmalbandfunk wird hauptsächlich im 433 MHz ISM-Band betrieben. Dieses Band ist in Deutschland gebührenfrei. Die Datenübertragungsrate liegt bei maximal 9,6-19,2 Kilobit/s, die Funkleistung bei etwa 10 mW; die Reichweite beträgt bis zu 50 m. Merkmale des Schmalbandfunks sind die relativ hohe Reichweite bei relativ geringer Übertragungsrate.

Schmalbandfunk kann auch bei gleichen Höchstleistungen im Bereich von 450 bis 470 MHz betrieben werden. Dieser Bereich ist aber zulassungs- und gebührenpflichtig. Von Vorteil ist in diesem Bereich die geringere Störung durch fremde Geräte.

Schmalbandfunk ist für den Einsatz in räumlich begrenzten Bereichen geeignet, z.B. für die automatisierte Kommunikation zwischen Endgeräten. Typisches Anwendungsbeispiel ist die Anbindung von mobilen Barcode-Scannern an die Basisstation. Vorteilhaft ist der geringe Stromverbrauch des Funkmodems. Störungen durch den parallelen Einsatz anderer Funkübertragungstechniken, wie z.B. WLAN oder Bluetooth sind ausgeschlossen, da diese in weit entfernten Frequenzbereichen arbeiten. Schmalbandfunk wird in der Intralogistik weitgehend von WLAN-Anbindungen abgelöst.

2.4.2.3.2.2 WLAN

WLAN ist die Abkürzung von „Wireless Area Network“; die Abkürzung steht somit für ein lokales drahtloses Computernetzwerk. Es gibt verschiedene WLAN-Standards, die im 2,4 oder 5 GHz- Bereich arbeiten. Innerhalb der Frequenzbänder sind die Frequenzen zur Datenübertragung in Kanäle unterteilt.

Basis ist der von dem weltweiten Berufsverband „Institute of Electrical and Electronics Engineers“ entwickelte Standard IEEE 802.11. Dieser wurde in der Folge in mehreren Schritten weiterentwickelt. Zur Unterscheidung der verschiedenen Standards wurde die Bezeichnung 802.11 mit Anhängen, wie z.B. „a“, „b“, „g“, „n“ und „ac“ versehen.

IEEE-Standard	Frequenzband	Übertragungsrate brutto	Reichweite
802.11a	5 GHz	54 Mbit / s	15 - 20 m
802.11b	2,4 - 2,4835 GHz	11 Mbit / s	20 m
802.11g	2,4 - 2,4835 GHz	54 Mbit / s	25 - 50 m
802.11n	2,4 - 2,4835 GHz 5 GHz	≤ 600 Mbit / s	
802.11ac	5 GHz	≤ 1.299 Mbit / s	
Tab.: 2.4.2 /01 WLAN-Standards nach IEEE 802.1			

Das Frequenzband 2,4 GHz ist in Deutschland lizenzfrei.

Der Frequenzbereich von 5 GHz wird in Europa auch vom Militär und von der Flugsicherung genutzt. Die Nutzung von WLAN in diesem Bereich ist daher zwar zugelassen, aber nur mit Einschränkungen.

In intralogistischen Systemen ist WLAN weit verbreitet um bewegliche Einrichtungen und Personen in die Datenübertragung einzubeziehen, z.B.

- Gabelstapler, die in ein Staplerleitsystem eingebunden sind; teilweise auch mit Anbindung in den Außenbereich.
- Lagerpersonal mit mobilen Scannern oder Terminals

Da in intralogistischen Systemen und ggf. auch noch im Außenbereich die Umgebungsbedingungen üblicherweise rauer sind als z.B. im häuslichen Bereich oder im Büro müssen hier die WLAN-Komponenten in Abhängigkeit von den jeweiligen baulichen Gegebenheiten und Einsatzbedingungen besondere Schutzklassen erfüllen, z.B.

- IP40 (Schutz gegen Fremdkörper > 1mm) oder
- IP65 (Schutz gegen Staub und Wasserstrahl)

Die Reichweite eines WLAN im Lager liegt bei ca. 30 m um einen Access-Point (AP). Bei größeren Abständen zwischen den AP sinkt die Übertragungsrate; bei zu geringer Übertragungsgeschwindigkeit reißt der Kontakt ganz ab.

Aufgrund der großen Flächen üblicher Lager und der vielfältigen Störquellen im Lagerbereich reicht ein AP i. d. R. nicht aus.

- Metall ist grundsätzlich ein Störfaktor.
- Auch feuchtigkeitsbindende Materialien dämpfen den Empfang.
Beispiele hierfür sind z.B. Papierrollen, Granulate, Flüssigkeiten.

Wichtige Störfaktoren im Lager sind damit

- die Regale, die i. d. R. aus Metall bestehen. Die Regale sind meist hoch und lang.
- die Art der eingelagerten Waren in Abhängigkeit vom Füllungsgrad der Regale.

Um Funkschatten zu vermeiden, muss der gesamte Lagerbereich funktechnisch ausgeleuchtet werden. Auf dieser Basis ist unter Einsatz von „Roaming“ die Anzahl der Access-Points und deren Standorte korrekt festzulegen. Roaming bedeutet, dass mobile WLAN-Clients (z.B. Stapler) unter Aufrechterhaltung einer sicheren Verbindung vom Wirkungsbereich eines AP in den Wirkungsbereich des nächsten AP wechseln können.

2.4.2.3.2.3 Bluetooth

Bluetooth ist eine Datenübertragung per Funktechnik für die Vernetzung von Geräten über kurze Distanz. Bluetooth-fähige Geräte werden auch als sogenannte „Short Range Devices“ (SRD) bezeichnet. Bluetooth-Geräte senden auf dem lizenzfreien ISM-Band 2,4 GHz. Sie sind weltweit zulassungsfrei.

Ein Anwendungsbeispiel aus dem Bereich der Intralogistik ist das Scannen von Barcodes über z.B. einen Ringscanner. Der Ringscanner leitet die Daten über Bluetooth an ein Smartphone weiter. Dieses Smartphone stellt dann per WLAN eine Funkverbindung zum Wireless Access Point her.

2.4.2.3.2.4 Mobilfunkstandard

„Mobilfunkstandard“ ist ein Begriff für Technologien zur Kommunikation über das Mobilfunknetz.

Als digitale Nachfolger des alten analogen Netzes haben diese Technologien u. a. die Bezeichnungen 2G (zweite Generation) bis 5G (fünfte Generation). Dabei ist 5G die jüngste Entwicklung, die in Deutschland in der Einführungsphase ist. 5G wird beim sogenannten Internet of Things (IoT) und bei der Datenübertragung zwischen Maschinen eine große Rolle spielen.

Bezeichnung		Übertragungs- raten	Anmerkung
2G	GSM GPRS	40 – 54 kbit/s	Wird in erster Linie zur Sprachübertragung verwendet Dienst zur Datenübertragung in GSM-Mobilfunknetzen
3G	UMTS HSDPA	3,6 Mbit/s 7,2 MBit/s	Ausbaustufe für höhere Übertragungsraten
4G	LTE	Bis zu 100 Mbits bis zu 500 Mbits	Im Downlink (d. h. beim Herunterladen) Im Uplink
5G		Bis zu 10 Gbits	Im Download

2.4.2.3.2.5 RFID und NFC

RFID-Systeme und NFC sind verwandte Technologien, wobei NFC auf der RFID-Technologie aufbaut und den Funktionsumfang erweitert. RFID-Systeme ermöglicht die Kommunikation nur in eine Richtung während NFC über eine Zwei-Wege-Kommunikation verfügt.

RFID ist die Abkürzung von „Radio-Frequency Identification“. NFC ist die Abkürzung von „Near Field Communication“. Bei diesen Systemen findet die Kommunikation zwischen Sender und Empfänger mit Hilfe von elektrischen Feldern statt. Dabei arbeitet der größte Teil der Systeme nach dem Prinzip der induktiven Kopplung [SIK 1].

RFID-Systeme

RFID-Systeme werden unter Kap. 4.2 „AutoID-Systeme“ näher beschrieben, daher zunächst nur ein kurzer Überblick:

Ein RFID-System besteht aus einem Lesegerät und einem Transponder, auch Tag bezeichnet. Bei den Transponder wird unterschieden zwischen aktiven Transpondern, d. h. Transponder mit eigener Stromquelle (Batterie) und passiven Transpondern, d. h. ohne eigene Stromquelle. Die passiven Transponder gibt es in drei verschiedenen Frequenzbereichen.

Der Lesebereich von aktiven Transpondern kann bis zu 100 m betragen; bei passiven Transpondern beträgt der Lesebereich von LF- und HF-Systemen üblicherweise nur wenige Zentimeter. UHF-Transponder hingegen, sind oftmals auch über Distanzen von über einem Meter lesbar.

NFC

NFC basiert auf RFID-Protokollen und läuft mit 13,56 MHz auf der gleichen Frequenz wie die passiven HF-Transponder. Damit ist aber auch die Reichweite von NFC auf wenige Zentimeter begrenzt.

NFC-Geräte können in unterschiedlichen Betriebsmodi arbeiten. Diese beschreiben, welche Rolle ein Gerät oder Tag bei einer NFC-Transaktion spielt. Geräte können je nach verarbeiteter Transaktion ihre Rolle wechseln. Es können 4 Betriebsmodi unterschieden werden

- Lese- Schreibmodus
- Karte
- Initiator
- Ziel

Geräte, die NFC verwenden, können aktiv oder passiv sein:

- Bei passiven Geräten, wie z.B. ein NFC-Tag, kann wieder unterschieden werden
 - Das Gerät enthält Informationen, die andere Geräte lesen können, es liest aber selbst keine Informationen.
 - Das Gerät kann Informationen lesen, es macht aber nichts, außer die Informationen an autorisierte Geräte zu übertragen.
- Aktive Geräte, wie z.B. ein Smartphone, können Informationen lesen und senden.
Ein aktives NFC-Gerät wäre nicht nur in der Lage, Informationen von NFC-Tags zu sammeln, sondern es wäre auch in der Lage, Informationen mit anderen kompatiblen Geräten auszutauschen. Es könnte sogar die Informationen auf einem NFC-Tag ändern, soweit es autorisiert ist für solche Änderungen.

Typischerweise findet eine Transaktion zwischen einem aktiven Gerät statt, das Signale aussendet und Informationen empfängt, und einem passiven Gerät, das einfach die Informationen sendet und nichts anderes als Anweisungen darüber erhält, mit welchen Daten geantwortet werden soll.

Das Lese-/Schreibgerät ist z.B. das Smartphone, das als aktives Gerät dient, und die Karte ist das NFC-Tag, das als passives Gerät dient. Smartphones können jedoch die Rolle der Karte übernehmen, wenn sie als Kreditkarte für kontaktloses Bezahlen fungieren. Dann wird das Kreditkartenlesegerät zum Lese-/Schreibgerät und das Smartphone dient als passives Kartengerät.

NFC kann eine Peer-to-Peer-Freigabe z.B. zwischen zwei Telefonen erstellen. In diesem Fall ist das Telefon, das die Verbindung herstellt oder eine Einladung sendet, der Initiator, und das Telefon, das die Anweisungen erhält und Informationen zurücksendet, ist das Ziel. Beide Telefone können jedoch beide Rollen erfüllen, indem sie je nach gesendeter Übertragung hin und her schalten, obwohl dies ein höheres Maß an Technologie erfordert.

NFC wird häufig für eine sichere Kommunikation bzw. Datenübertragung eingesetzt, z.B. für

- Zugangskontrollen
- Im Consumer-Bereich für die kontaktlose Bezahlung

2.4.2.3.3 Optische drahtlose Übertragung von Daten und Signalen

2.4.2.3.3.1 Optische Strahlung

Bei drahtlosen optischen Übertragungstechniken ist Licht i.w.S. der Träger von Informationen. In Abhängigkeit von der Wellenlänge kann das Licht grob in 3 Gruppen eingeteilt werden:

- Dem UV-Licht (ultraviolett)
- Dem für das menschliche Auge sichtbaren Licht
- Dem IR-Licht (infrarot); IR-Strahlung kann auch mit Wärmestrahlung gleichgesetzt werden.

Eine feinere Unterteilung zeigt nachfolgende Tabelle:

Wellenlängenbereich				Bezeichnung der Strahlung	
100	nm	-	280	nm	UV-C
280	nm	-	315	nm	UV-B
315	nm	-	380	nm	UV-A
380	nm	-	440	nm	Violett
440	nm	-	495	nm	Blau
495	nm	-	558	nm	Grün
558	nm	-	640	nm	Gelb
640	nm	-	750	nm	Rot
750	nm	-	1,4	µm	IR-A
1,4	µm	-	3,0	µm	IR-B
3,0	µm	-	50	µm	IR-C
50	µm	-	1000	µm	IR-C
Tab.: 2.4.2/02				Strahlungsspektrum Licht	

Abhängig von der Lichtquelle hat Licht verschiedene Eigenschaften. Arten von Lichtquellen sind z.B.:

- Thermische Strahler, wie z.B. die Sonne, die Glühlampe oder eine Kerze.
- Leuchtdioden (LED)
- Laser

Thermische Strahler strahlen in allen Wellenlängen. Das Licht wird i. A. mit folgenden Eigenschaften ausgestrahlt:

- nicht monochrom Licht ist nicht einfarbig: Weißes Licht z.B. enthält alle Spektralfarben
- ungerichtet Licht wird in alle Richtungen abgestrahlt
- nicht kohärent Lichtwellen schwingen nicht im gleichen Takt

Leuchtdioden (LED) emittieren Licht in einem begrenzten Spektralbereich, d. h. sie sind nahezu monochromatisch.

Der Wellenlängen-Bereich des Lichtes, das eine LED erzeugen soll, kann bei der Herstellung durch die Auswahl der Halbleitermaterialien und der Dotierung vorgegeben werden. Der mögliche Bereich der Wellenlängen reicht vom UV-Licht bis zu IR-Licht. Im sichtbaren Bereich des Lichts bestimmen die Stoffe die zu emittierenden Spektralfarben des Lichts und die Effizienz. LED-Licht wird somit mit folgenden Eigenschaften ausgestrahlt:

- nahezu monochrom
- ungerichtet
- nicht kohärent

Der Laserstrahl (kurz Laser) ist Licht im sichtbaren Bereich oder im IR-Bereich. Im Gegensatz zum ungerichteten Licht, wie es oben beschrieben ist, handelt es beim Laser um einen künstlich gebündelten Strahl.

Zur Erzeugung des Laserstrahls gibt es unterschiedliche Verfahren. Dazu müssen Atome durch externe Energiequellen in einem aktiven Medium angeregt werden. Dieses Medium kann gasförmig, flüssig oder fest sein. Ein festes Medium haben z.B. der Rubinlaser und die Laserdiode.

Ein auf Gas basierendes Laser-Gerät (oder Laserstrahler, kurz Laser) besteht aus einer mit Gas gefüllten Röhre. An beiden Enden der Röhre sind Spiegel; auf der einen Seite ist es ein möglichst guter Spiegel, auf der anderen Seite ist der Spiegel halbdurchlässig. Werden in dieser Röhre die Gas-Teilchen durch externe Energie angeregt, dann geben sie Licht ab. Dieses wird von den beiden Spiegeln immer wieder hin- und her-reflektiert, wodurch das Licht enorm verstärkt wird. Auf der Seite mit dem halbdurchlässigen Spiegel kann aber etwas von diesem verstärkten Licht austreten. Es ist sehr geradlinig und dadurch gebündelt.

Laserstrahlen sind entsprechend ihrer Gefährlichkeit in Klassen eingeteilt.

- Laser der Klasse 1 und 1C sind ungefährlich für das Auge, bei 1C können in besonderen Fällen die Strahlen gefährlich für die Haut sein.
- Laser der Klasse 1M bis 4 können Augenschäden verursachen.
- Laser der Klasse 3B und 4 können zu schweren Verletzungen der Augen sowie der Haut führen und Brände verursachen.

Die Eigenschaften von Laser sind:

- monochrom
- gerichtet
- kohärent

2.4.2.3.3.2 Technik und Anwendung der Optischen Datenübertragung

Zur drahtlosen optischen Datenübertragung sind eine Sendeeinheit und eine Empfängereinheit erforderlich. Grundvoraussetzung für die optische Datenübertragung ist, dass Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger besteht (siehe auch Kap. 3.5 ff „Optische Sensoren und Sensorsysteme“).

Sowohl Sende- als auch Empfangseinheit sind nach außen über Schnittstellen mit anderen Übertragungsmedien verbunden. Über diese externen Übertragungsmedien können sie die Daten empfangen bzw. weiterleiten. Die ein- bzw. ausgehenden Daten können elektrische Signale über Kabel sein, optische Signale über Glasfaser oder Signale über Funk.

Komponenten der Sendeeinheit und eine Empfängereinheit sind:

- Auf der Senderseite
 - eine Lichtquelle, z.B. Leuchtdiode (LED) oder eine Laserquelle
 - ein Modulator, der die bei der Sendeeinheit ankommende Daten in optische Signale umwandelt;
- Auf der Empfängerseite
 - ein Fotodetektor (z.B. lichtempfindlicher Widerstand oder Fotodiode), der die optischen Signale empfängt und in elektrische Signale umwandelt.
 - ein Demodulator und ggf. ein Verstärker, der diese elektrischen Signale wieder so umwandelt, dass sie von einem Endgerät ausgelesen werden können.

Zur Übertragung der Informationen wird entweder die Helligkeit der Strahlungsquelle, oder das Spektrum moduliert.

Der Einsatz optischer Strahlen zur Übertragung von Informationen und Daten erfolgt immer noch überwiegend im schwachen IR-Bereich (Wellenlänge ca. 850 – 950 nm) oder im sichtbaren Bereich von rotem Licht (Wellenlänge 660 nm). Typische Anwendungsgebiete innerhalb der Logistik, insbesondere der Intralogistik sind nachfolgend kurz beschrieben.

IrDA: Die älteste drahtlose Übertragungstechnik auf Infrarot-Basis

IrDA steht für Infrared Data Association und bedeutet „Infraroter Datenaustausch“. Für diese standardisierte Datenübertragung wurde als Übertragungsmedium Infrarotlicht mit einer Wellenlänge von 850 – 900 nm festgelegt bei einer Reichweite von 15 cm bis maximal 1 m. Die erreichbaren Datenraten waren zunächst relativ niedrig, konnten aber im Laufe der Weiterentwicklung deutlich gesteigert werden. Es können folgende Standards unterschieden werden:

IrDA-Standard	Kurzbezeichnung	Typische Übertragungsraten
▪ Standard-IR-Schnittstelle	SIR	9,6 - 115,2 kbit/s
▪ Fast-Infrared-Standard	FIR	4 Mbit/s
▪ Very Fast Infrared-Standard	VFIR	bis zu 16 Mbit/s

Einsatzgebiete von IrDA sind z.B.

- Fernbedienungen
- Mobiler Internetzugang
- Datenaustausch im Bereich der EDV,
wie z.B. zwischen Rechner und peripheren Geräten, Computermouse usw.

Optischer Richtfunk

Der optische Richtfunk ist auch unter anderen Namen bekannt, wie z.B.

- Optische Freiraum-Datenübertragung
- Free-space-communication (kurz FSO)

Da bei allen Techniken der drahtlosen optischen Datenübertragung die Übertragung der Daten durch den freien Raum geht, können praktisch alle diese Techniken der Freiraum-Datenübertragung (FSO) zugeordnet werden. Obwohl die Techniken teilweise gleich sind, wird im Folgenden unterschieden in

- Datenlichtschränke
- Optischer Richtfunk (i. e. S.)
- Visible Light Communication (VLC) / Light Fidelity (LiFi)

Datenlichtschränke

Datenlichtschränken können unterschieden werden in

- Einweglichtschränke (Simplexbetrieb)
- Bidirektional kommunizierende Lichtschränkenpaare (Duplexbetrieb)

Einweglichtschränken bestehen aus einer Sende- und einer Empfängereinheit (siehe oben).

Bei Lichtschränken für den Duplexbetrieb sind auf beiden Seiten der Sendestrecke jeweils eine Sende- und eine Empfangseinheit. Die Lichtschränkenpaare, die in beide Richtungen senden, müssen mit unterschiedlichen Frequenzen betrieben werden, um gegenseitiges Übersprechen zu verhindern

Je nach Anwendungsgebiet kommen als Lichtsender Infrarotdioden (880 nm, LED-Klasse 1), Rotlichtlaser (660 nm) oder Infrarot-Laser (Klasse 1M) zum Einsatz. LED-Technik und Lasertechnik haben jeweils ihre Stärken. Die Vorteile der beiden Techniken sind:

LED-Technik	Lasertechnik
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Zertifizierung nach Laserschutzklasse erforderlich ▪ Geringe Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Übertragungsgeschwindigkeiten ▪ Große Reichweiten

Einsatzgebiete von Datenlichtschränken sind

- Stationäre Datenübertragung zwischen Gebäuden (siehe optischer Richtfunk)
- Datenübertragung von stationären Objekten auf bewegliche Objekte und umgekehrt, z.B. in der Lager- und Fördertechnik die Kommunikation mit einem Regalbediengerät oder Verteilerwagen.

Die Bezeichnung „Datenlichtschränke“ findet man überwiegend im Zusammenhang mit Anlagen-technik.

Optischer Richtfunk (i. e. S.)

Der optische Richtfunk dient der Datenübertragung über große Entfernungen. Die Reichweiten liegen bei mehreren Kilometern. Die Datenraten erreichen Geschwindigkeiten von bis zu 2,5 Gbit/s.

Der optische Richtfunk arbeitet mit Laserstrahlen, Laserklasse 1M und somit augensicher. Infrarotlicht (IR) dient als Träger der optischen Signale.

Die Sende-Empfangsstationen sind Datenlichtschranken. Dabei handelt es sich um sogenannte Outdoor-Units. Die Sende- und Empfangsstationen werden so hoch angebracht, dass keine störenden Gebäudeteile die Sichtverbindung beeinträchtigen (z.B. auf einem Gebäudedach).

Einsatzgebiete sind z.B.

- LAN-zu-LAN-Verbindungen auf dem Betriebsgelände oder innerhalb der Stadt;
z.B. Datenübertragung zwischen einem Verwaltungsgebäude und einem räumlich entfernten Logistikzentrum
- Standortbestimmung von Flurfördermitteln

Visible Light Communication (VLC) / Light Fidelity (LiFi)

Visible Light Communication ist eine Technik, die sich im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium befindet. Bei dieser Technik wird sichtbares Licht auf Basis von Leuchtdioden (LED) für die Übertragung der Daten benutzt, und zwar das Licht der vorhandenen LED-Raumbeleuchtung, oder z.B. einer LED-Straßenlaterne.

Für die Datenübertragung muss die LED-Leuchte einen Mikrochip enthalten. Dieser moduliert das Licht durch sehr schnelles ein- und ausschalten. Im Binärsystem steht dann die 1 für das Ein- und 0 für das Ausschaltsignal. Der Wechsel zwischen Ein und Aus erfolgt so schnell, dass er für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar ist; der Mensch sieht nur normales Licht. Die Ein- Aus-Signale werden von einem Fotosensor am Endgerät wieder in elektrische Impulse übertragen.

3 SENSOREN

Ein Sensor ist eine Funktionseinheit (bzw. Bauelement), die eine physikalische Größe erfasst und das empfangene Signal in ein weiterverarbeitbares – meist elektrisches – Signal umwandelt. Diese Umwandlung kann direkt oder indirekt erfolgen, d. h.

- Der Sender liefert das Signal in der Form, dass es sich direkt weiterverarbeiten lässt, oder
- Die Signale müssen zunächst in andere physikalische Größen umgewandelt werden, bevor sie in auswertbare Signale umgewandelt werden können.

Der Begriff Sensor ist nicht genormt. In der Technik trifft man auch auf Bezeichnungen wie z.B. „Detektor“ „Fühler“, „Wandler / Messwandler“.

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Sensoren, die man nach verschiedenen Kriterien klassifizieren kann. Sensoren können unterteilt werden in binäre Sensoren und analoge Sensoren

- Binäre Sensoren haben ein schaltendes Ausgangssignal. Es genügt die Information „Objekt / Zustand vorhanden“ oder „nicht vorhanden“. Sie werden auch „schaltende Sensoren“ genannt.
- Analoge Sensoren haben Ausgangssignale, die mehr Informationen als 0 und 1 enthalten. Sie können z.B. als Wegmesssysteme Abstände und Wege erfassen. Sie werden auch „messende Sensoren“ genannt.

Ein weiteres Einteilungskriterium für Sensoren ist das Wirkprinzip. Eine Auswahl an Sensortypen nach dem Wirkprinzip ist:

- Mechanische Sensoren
- Akustische Sensoren (Ultraschallsensoren)
- Induktive Sensoren
- Kapazitive Sensoren
- Optische Sensoren

Weitere Sensorarten sind unter Kap. 4 „Techniken zur Identifikation und Lokalisierung“ beschrieben.

Nachfolgende Tabelle zeigt eine grobe Gegenüberstellung der Sensorarten bezüglich ihrer Anfälligkeit auf Störgrößen:

Sensor	Temperatur	Feuchtigkeit	Staub	IR-Licht	Lärm	El.-magn. Felder
optisch	0	-	0	-	+	+
akustisch	0	+	+	+	-	+
induktiv	+	+	+	+	+	0
kapazitiv	+	0	0	+	+	-
Tab. 3 / 01 Anfälligkeit der Sensorarten auf Störgrößen [nach IMF 1] + gering 0 mittel - hoch						

3.1 Mechanische Sensoren

Mechanische Sensoren schalten oder geben ein Signal bei mechanischem Kontakt mit einem Objekt, das sich relativ zum Sensor bewegt. Typische Aufgaben sind z.B. die Endlagenüberwachung und Endabschaltung in Anlagen. Vorteile mechanischer Sensoren sind ihre hohe Zuverlässigkeit und Unempfindlichkeit in rauen Umgebungen

Beispiele für mechanische Sensoren sind der Positionsschalter und der Bumper. Das Funktionsprinzip eines Whyskers entspricht nicht der oben genannten Beschreibung; er reagiert auf Biegung. Da es sich dabei auch um einen mechanischen Einfluss handelt, wird er nachfolgend mit erwähnt.

3.1.1 Positionsschalter

Mechanisch wirkende Positionsschalter gibt es in vielfältigen Bauarten, in genormten und ungenormten Ausführungen. Normen hierfür sind die DIN 43693 und DIN 43697.

Wesentliche Baueinheiten sind der mechanische Schaltstößel / Schalthebel und der elektrische Schaltkontakt. Bei Betätigung des Schaltstößels wird der elektrische Kontakt (EIN oder AUS) geschaltet.

3.1.2 Messtaster

Messtaster werden in der taktilen Messtechnik eingesetzt, um an Objekten Maß- oder Formabweichungen, oder Rauigkeiten und Welligkeiten von Oberflächen zu ermitteln.

Messtaster haben einen beweglichen Taststift (z.B. federnd gelagert). Zum Messen wird dieser Taststift auf den zu messenden Gegenstand aufgesetzt und es wird ein Bezugspunkt (Nullpunkt) festgelegt. Danach wird der Taster über das Messobjekt bewegt, wobei die Tastspitze kontinuierlich in Kontakt mit dem Messobjekt bleibt. Bei Abweichungen zum Nullpunkt wird der Taststift angehoben, bzw. abgesenkt.

Die Koordinaten des Messtasters über dem Messobjekt und die axiale Lage des Taststiftes innerhalb des Messtasters relativ zum Nullpunkt werden erfasst. Aus einer Vielzahl an Messpunkten errechnet eine Auswerteeinheit die Gestalt des Messobjektes.

3.1.3 Bumper

Ein Bumper ist eine Art Stoßstange, die z.B. bei autonom agierenden Fahrzeugen eingesetzt wird. Der Bumper beinhaltet einen Mikroschalter mit einem Drahtbügel daran. Kollidiert das Fahrzeug mit einem Hindernis, so wird über den Bügel der Mikroschalter betätigt und das Fahrzeug stillgesetzt.

3.1.4 Whyskers (Kraft- / Momentensensor)

Whyskers (zu Deutsch: Schnurrhaare) werden auch Biegesensoren oder Flexsensoren genannt. Sie bestehen aus einem flexiblen Kunststoffstreifen mit Anschlusspins. Bei Verbiegen dieses Kunststoffstreifens ändert sich der elektrische Widerstand zwischen den Anschlusspins.

Anwendungsbereiche sind z.B. Robotergreifer oder Datenhandschuhe, mit denen z.B. die Beugung der Finger oder der Kontakt mit Gegenständen erfasst werden kann.

3.2 **Akustische Sensoren (Ultraschallsensoren)**

Ultraschallsensoren senden hochfrequente Schallwellen aus mit einer Frequenz von über 20.000 Hz (d. h. außerhalb des für den Menschen hörbaren Bereichs). Die Schallwellen pflanzen sich in der Luft mit Schallgeschwindigkeit fort. Trifft die Schallwelle auf ein Objekt, dann wird der Schall reflektiert. Die Laufzeit bis das Echo beim Empfänger ankommt wird gemessen. Aus der Laufzeit wird der Abstand zum Objekt gemessen.

Die Sensoren sind sehr robust und funktionieren auch in rauer Umgebung. Staub, Rauch und Nebel beeinträchtigen die Messfähigkeit nicht. Sie funktionieren auch in feuchter Umgebung; auch werden sie nicht durch elektromagnetische Wellen beeinflusst.

Empfindlich sind Ultraschallsensoren bei Temperaturschwankungen und starken Luftbewegungen.

- Temperaturschwankungen beeinträchtigen die Geschwindigkeit der Schallwellen; bei steigender Temperatur bewegen sich die Schallwellen schneller.

- Starke Luftbewegungen, z.B. durch Hydraulikanlagen oder Lüfter können den Weg der Ultraschallwelle ablenken oder stören. Allerdings werden Strömungsgeschwindigkeiten von einigen m/s verkraftet.

Ultraschallsensoren eignen sich am besten zum Erfassen von Objekten, die eine harte Oberfläche haben, z.B. aus Materialien wie Metall, Keramik, Glas oder Holz. Die Objekte können aber auch flüssig, körnig oder pulverförmig sein. Objekte mit weicher, poröser oder unregelmäßiger Oberfläche, z.B. Watte oder Schaumstoff, absorbieren einen großen Teil der Impulsenergie. Dadurch wird der Messbereich reduziert.

Gegenüber optoelektronischen Sensoren bieten Ultraschallsensoren Vorteile

- bei der Erfassung transparenter Objekte,
- bei der Messung von Flüssigkeitspegeln oder
- bei der Erfassung stark reflektierender oder metallischer Oberflächen

Ultraschallsensoren gibt es in verschiedenen Bauarten. Es gibt Sensoren zur Objekterkennung und Sensoren zur Abstandsmessung. Vergleichbar mit den optischen Sensoren gibt es Ultraschallsensoren als

- Näherungsschalter
- Reflexionsschranken
- Einwegschalter

3.2.1 Ultraschall-Näherungsschalter

Beim Näherungsschalter sitzen Sender und Empfänger in einem gemeinsamen Gehäuse. Sender und Empfänger sind wechselweise in Betrieb. Zunächst sendet der Sender Schallimpulse aus, dann schaltet der Sensor auf Empfang um. Die Laufzeit vom Aussenden des Schallimpulses bis zum Eintreffen des Echos ist proportional zum Abstand des Objektes.

Typische Anwendungsbereiche:

- Distanzerfassung
- Messung von Stapelhöhen

3.2.2 Ultraschall-Reflexionsschranken

Ultraschall-Reflexionsschranken arbeiten grundsätzlich nach demselben Prinzip wie Ultraschall-Näherungsschalter. Sender und Empfänger sind in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht.

Der Unterschied ist:

Ultraschall-Reflexionsschranken benötigen einen stationären Reflektor in einem definierten Messabstand zum Sensor. Als Reflektor kann jedes stationäre schallreflektierende Objekt genutzt werden (z.B. eine Wand, ein Förderband usw.). Unterbricht ein Gegenstand die Signalstrecke zwischen Sensor und Reflektor, ändern sich die Eigenschaften am Empfänger:

- Wird der Reflektor durch einen hinreichend großen Gegenstand komplett verdeckt, wird nicht mehr die Entfernung zum Reflektor gemessen, sondern die kürzere Distanz bis zu dem eingetroffenen Gegenstand.
- Ist der Gegenstand kleiner als der Schallkegel, wird ein Teil des Schalls durch den Gegenstand reflektiert und ein Teil durch den Reflektor. Dadurch ergibt sich ein zusätzliches Echo.
- Besteht der Gegenstand aus stark schallabsorbierendem Material, bzw. lenkt der Gegenstand den Schall stark ab, kommt kein Echo beim Empfänger an.

Typische Anwendungsbereiche sind die Detektion von:

- Unregelmäßig geformten und schräg stehenden Gegenständen
- Schallablenkenden Zielobjekten
- Schallabsorbierenden Materialien, wie Baumwolle usw.

3.2.3 Ultraschall-Einwegschraken

Bei Einwegschraken sind Sender und Empfänger in separaten Gehäusen untergebracht. Der Sender sendet dauernd Schallwellen zum Empfänger. Unterbricht ein Objekt die Schallwellen, so schaltet der Empfänger die Ausgangsstufe durch.

Vorteil der Einwegschraken sind die kurzen Ansprechzeiten und die hohen Reichweiten.

Typische Anwendungsbereiche:

- Erkennen von schnell aufeinanderfolgenden Objekten
- Zählen von Objekten aus schwierig zu erfassenden Materialien (Glasgefäße, PET-Flaschen)
- Überwachen transparenter Materialien
- Folienabrisskontrolle
- Füllstandüberwachung in Tanks oder Silos

3.3 Induktive Sensoren

Induktive Sensoren werden zur berührungslosen Abstandsmessung zu einem Metallobjekt eingesetzt.

Induktive Sensoren haben eine aktive Fläche. An dieser Fläche wird durch einen Oszillator ein hochfrequentes magnetisches Wechselfeld erzeugt und ausgesendet. In jedem sich frontseitig nähernden Metallobjekt werden Wirbelströme induziert, die dieses Wechselfeld abschwächen und dem Oszillator Energie entziehen. Die Stromänderung des Schwingkreises wird in ein Ausgangssignal verwandelt. Je nach Sensor kann dies ein analoges oder ein binäres Signal sein.

Dadurch kann der Sensor erkennen, wie weit das Metallobjekt noch entfernt ist. Der Messbereich von induktiven Sensoren liegt je nach Modell zwischen 0,5 und 50 mm.

Ein Einsatzgebiet ist z.B. im Handling-Bereich die Bewegung des Greifarms

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berührungslos, damit verschleißarm ▪ Hohe Schaltgenauigkeit ▪ Hohe Schaltfrequenz ▪ Unempfindlich gegen Schmutz ▪ Unempfindlich gegen Vibrationen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es können nur Metalle erfasst werden ▪ Geringer Schaltabstand, dadurch müssen fast immer mehrere Sensoren in Reihe geschaltet werden. ▪ Durch Magnetfelder kann die Messgenauigkeit gestört werden.

3.4 Kapazitive Sensoren

Kapazitive Sensoren messen berührungslos nach dem Prinzip eines idealen Plattenkondensators.

Der Plattenkondensator besteht aus zwei elektrisch leitenden Platten (Elektroden), die durch einen Isolator (Dielektrikum), wie z.B. Luft, voneinander getrennt sind. Wird zwischen den Platten eine elektrische Spannung angelegt, dann sammeln sich auf ihren Oberflächen getrennt voneinander positive und negative Ladungen an. Zwischen den Platten baut sich ein elektrisches Feld auf, in dem Feldenergie gespeichert ist. Die Größe der Platten ist konstant. Ist darüber hinaus die Größe des Dielektrikums konstant, verdoppelt sich die Ladung (Q) bei Verdoppelung der Spannung (U). Das Verhältnis Spannung zur Ladung ist konstant. Diese Konstante wird Kapazität (C) genannt.

Die Kapazität ist abhängig von der Größe der Platten (Elektroden), dem Material des Dielektrikums und dem Kehrwert des Abstands zwischen den Platten. Daraus ergeben sich unterschiedliche Bauarten, Baugrößen und Anwendungsmöglichkeiten:

- Die Messelektrode ist Bestandteil des Sensors; die zweite Elektrode wird durch das zu detektierende Objekt dargestellt. Durch Verändern des Abstands zwischen den Elektroden, bzw. Verschieben der Elektroden zueinander verändert sich die Kapazität.
- Sowohl die Messelektrode als auch die zweite Elektrode sind fest in den Sensor eingebaut. Ein zylinderförmiger kapazitiver Sensor hat anstelle der beiden gegenüberliegenden Platten eine in der Mitte liegende Messelektrode, die von einer Schirmelektrode umgeben wird. Die Schirmelektrode bildet das elektrische Erdpotential (GND-Elektrode). Das Dielektrikum ist die Luft vor dem Sensor.

An der vorderen Fläche des Sensors wird das elektrische Feld aufgebaut. Das Messfeld breitet sich von der Messelektrode zur GND-Elektrode aus. Dringt ein anderer Körper in das elektrische Feld ein, verändert sich der Luftraum vor dem Sensor und somit die Größe des Dielektrikums. Mit Veränderung des Dielektrikums verändert sich die Kapazität. Der kapazitive Sensor gibt bei Veränderung der Kapazität ein Signal weiter, das durch eine nachgeschaltete Elektronik verarbeitet wird.

Diese Sensoren sind besonders zur Detektion nichtleitender Materialien geeignet.

Einsatzgebiete von kapazitiven Sensoren sind:

- berührungslose Wegmessung,
- Abstandsmessung
- Positionsmessaufgaben,
- Dickenmessung

3.5 Optische Sensoren und Sensorsysteme

Es gibt viele Arten unterschiedlicher optischer Sensoren, aber alle optischen Sensoren arbeiten grundsätzlich nach einem einheitlichen Prinzip: Es gibt eine Lichtquelle, bzw. ein Sender strahlt Licht aus und ein Empfänger erfasst das Licht bzw. Lichtsignal und wandelt dies um. Bei dem gesendeten Licht kann es sich handeln um:

- Rotlicht (sichtbares Licht)
- Infrarot-Licht
- Laser

Die Empfänger basieren i. d. R. auf Halbleitertechnik. Dies gilt zum Teil auch für die Sender in Form von Leuchtdioden (LED).

3.5.1 Begriffe und Wirkungsweisen von Halbleiter-Elementen

3.5.1.1 Halbleiter

Halbleiter bestehen aus festen Stoffen wie z.B. Silicium, Germanium, Selen oder Galliumarsenid. Die Atome oder Moleküle dieser Stoffe sind regelmäßig angeordnet und haben einen kristallinen Aufbau. Die Leitfähigkeit dieser Werkstoffe liegt zwischen der von Metallen und der von Isolierstoffen. Deshalb nennt man sie Halbleiter [FAC 1].

In Anlehnung an [FAC 1] bezieht sich im Folgenden die Beschreibung der Wirkungsweise von Halbleitern auf den Halbleiter-Werkstoff Silicium:

In der äußeren Schale des Silicium-Atoms sind vier Elektronen. Diese Außenelektronen, auch als Valenzelektronen bezeichnet, bewirken die chemische Verbindung zwischen den Atomen, indem jedes Valenzelektron zum eigenen und zum benachbarten Atom gehört.

Ein Valenzelektron kann sich bei tiefer Temperatur nicht von seiner Stelle im Kristallgitter entfernen. Bei Raumtemperatur sind die Halbleiter-Atome im Kristallgitter in Bewegung. Dadurch entfernen sich einige Valenzelektronen von ihren Atomen und können sich im Kristallgitter frei bewegen. Wird am Kristall eine Spannung angelegt, bewegen sich die frei gewordenen Elektronen vom Minuspol zum Pluspol des Spannungserzeugers. Die im Kristall frei beweglichen Elektronen nennt man „Leitungselektronen“.

Valenzelektronen, die sich aus der Gitterbindung entfernen, hinterlassen eine Lücke. Diese Lücke bezeichnet man als „Loch“ (Defektelektron). Jedes Loch kann wiederum ein Elektron aufnehmen. Wird am Kristall eine Spannung angelegt, springt ein benachbartes Valenzelektron in das Loch hinüber. Dieses Valenzelektron hinterlässt ein neues Loch, usw.. Die Löcher wandern dabei vom Pluspol des Spannungserzeugers zum Minuspol.

Durch Einbau von geringen Mengen an Fremdatomen in das Kristallgitter (Dotierung genannt), lässt sich die Leitfähigkeit des Halbleiterkristalls stark erhöhen. Die Fremdatome müssen ein Valenzelektron mehr oder ein Valenzelektron weniger als die Atome des Halbleiterwerkstoffs besitzen. Dadurch erzeugen die Fremdatome im Kristallgitter zusätzliche Leitungselektronen oder Löcher.

- Halbleiter mit überschüssigen negativen Leitungselektronen werden als N-Leiter bezeichnet (N von negativ).
Beim **N-Leiter** werden in das Kristallgitter Atome mit einem zusätzlichen Valenzelektron eingebaut. In Siliciumkristalle wären das z.B. Atome mit fünf Elektronen, z.B. Antimon-Atome oder Phosphor-Atome.
- Halbleiter mit überschüssigen positiven Löchern werden als P-Leiter bezeichnet (P von positiv).
Beim **P-Leiter** werden in das Kristallgitter Atome mit einem Valenzelektron weniger eingebaut. In Siliciumkristalle wären das z.B. Atome mit drei Elektronen, z.B. Indium-Atome oder Gallium-Atome.

Ein Halbleiterkristall kann so hergestellt werden, dass er je zur Hälfte aus einem N-Leiter und einem P-Leiter besteht, wobei die beiden Leiter unmittelbar aneinander grenzen. Diese Grenze wird PN-Übergang genannt. Der Bereich in der Nähe des PN-Übergangs verarmt dabei an Ladungsträgern. Weil dieser Bereich ohne angelegte Spannung wie ein Isolierstoff wirkt, wird dieser Bereich „Sperrschicht“ genannt.

3.5.1.2 Halbleiterdioden

Eine Halbleiterdiode lässt den Strom nur in eine Richtung fließen. Sie besteht aus einer P-Schicht (Anode) und einer N-Schicht (Kathode). Zum Schutz ist die Diode z.B. in Kunstharz eingegossen.

Wird an der Diode eine Spannung angelegt und ist dabei der Pluspol mit der Anode und der Minuspol mit der Kathode verbunden (Durchlassrichtung), dann wird der PN-Übergang verkleinert. Bei entsprechender Spannung (abhängig vom Halbleitermaterial) wird die Diode leitend und es gibt keine Sperrschicht mehr.

Wird die Diode umgekehrt angeschlossen (Sperrrichtung), wird der PN-Übergang vergrößert.

3.5.1.3 Innerer fotoelektrischer Effekt (kurz „innerer Fotoeffekt“)

Der innere Fotoeffekt findet in Halbleitermaterialien statt. Dabei übertragen Photonen ihre Energie an Elektronen, wodurch diese vom Valenzband zum Leitungsband des Halbleitermaterials wechseln können.

3.5.1.4 Fotowiderstand

Fotowiderstände sind Halbleiter, auf die Elektroden aufgedampft sind und zum Schutz in Kunstharz oder Glas eingegossen sind.

Die Wirkungsweise von Fotowiderständen basiert auf dem inneren Fotoeffekt. Wird dem Halbleiterkristall Energie zugeführt, z.B. aus Strahlung (s. o.), werden Ladungsträger (Leitungselektronen und Löcher) frei. Der Widerstandswert eines Fotowiderstandes nimmt mit steigender Beleuchtungsstärke ab.

Das verwendete Halbleiter-Material ist vom Verwendungszweck abhängig. So ist z.B. Cadmiumsulfid für sichtbares Licht empfindlich, während Indiumarsenid für Infrarot empfindlich ist.

3.5.1.5 Fotodiode

Eine Fotodiode ist eine Halbleiterdiode mit PN-Übergang, deren Wirkungsweise auf dem inneren Fotoeffekt basiert. Sie wird unter anderem verwendet, um Licht in eine elektrische Spannung oder einen elektrischen Strom umzusetzen oder um mit Licht übertragene Informationen zu empfangen. Das Licht kann im sichtbaren Bereich, im IR-Bereich oder im UV-Bereich sein.

Je nachdem wie die Diode betrieben wird, in Durchgangsrichtung oder Sperrrichtung, wird durch den inneren Fotoeffekt am PN-Übergang das Licht in einen elektrischen Strom umgewandelt, oder der Sperrstrom wird durch das Bestrahlen erhöht.

3.5.1.6 Leuchtdioden (LED)

Die Leuchtdiode (LED: Light Emitting Diod) ist eine Halbleiterdiode mit PN-Übergang. Sie wird in Durchlassrichtung betrieben. Fließt Strom durch die Diode, beginnt sie zu leuchten.

Die P-Schicht ist stark dotiert und enthält somit viele Löcher, während die N-Schicht einen Überschuss an Elektronen besitzt. Wird in Flussrichtung eine Spannung angelegt, wandern überschüssige Elektronen in Richtung P-Schicht und treffen in der Sperrschicht auf die Elektronenlöcher. Dort vereinigen sich beide Ladungsträger, d. h. sie rekombinieren.

Bei der Rekombination wird Energie frei, teilweise in Form von Licht einer Farbe. Die Farbe des Lichts ist abhängig von der Dotierung der Schichten sowie von den verwendeten Halbleiterwerkstoffen.

3.5.1.7 CCD- und CMOS-Sensor

Die Abkürzung CCD steht für „Charge Coupled Device“, d. h. Ladungsgekoppelte Vorrichtung. Die Abkürzung CMOS steht für „Complementary Metal Oxide Semiconductor“, d. h. Komplementärer Metalloxid-Halbleiter.

Beide Sensor-Arten bestehen je aus einer rechtwinkligen Anordnung (Matrix, engl. Array) lichtempfindlicher Fotodioden. Diese Fotodioden, Pixel genannt, wandeln einfallende Lichtphotonen in elektrische Ladung um. Die Elektronenladung steigt mit der Lichtintensität und der Belichtungsdauer an. Am Ende der Belichtungszeit wird die aufsummierte Ladung von einer Elektronik ausgelesen und danach von einem Analog-Digitalwandler digitalisiert.

CCD- und CMOS-Sensoren sind nur Helligkeitsempfindlich, nicht aber farbempfindlich. Für Farbaufnahme werden den einzelnen Pixeln drei sogenannte Farbauszugsfilter vorgesetzt - Rot, Grün und Blau. Die Informationen müssen hinterher zusammengesetzt werden.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Sensortypen liegt in ihrem technischen Aufbau und dem Auslesen der Elektronen.

- Beim CCD-Sensor sind die Fotodioden (Pixel) in Reihe geschaltet. Jedes Pixel gibt seine Ladung an den Nachbarn ab. Am Ende werden die gesammelten Elektronen über einen Ausgang in eine elektrische Spannung umgewandelt und dann digitalisiert. Dadurch ergibt sich eine hohe Homogenität der Pixel, ein sehr gleichförmiges Signal mit niedrigem Bildrauschen.

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> ▪ CCDs erreichen aufgrund des höheren Füllfaktors (Verhältnis der fotoempfindlichen Fläche zur gesamten Pixelfläche) eine hohe Empfindlichkeit sowie gute Signalqualität bei niedrigen Lichtintensitäten. ▪ Besonders geeignet für Anwendungen, die sehr kurze Belichtungszeiten erfordern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Begrenzte Auslesegeschwindigkeit des seriellen Datenstroms.

- Beim CMOS-Sensor gibt es neben jeder Fotodiode Transistoren, die zur Verstärkung und zur Verschiebung der Ladung beitragen. Dadurch lassen sich die Fotodioden einzeln adressieren. Die Digitalisierung kann in jedem einzelnen Pixel separat erfolgen.

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Da jede Fotodiode einzeln ausgelesen werden kann, ist CMOS flexibler in der Anwendung. ▪ Schnelles auslesen und höhere Bildraten ▪ Mehrfaches Auslesen ist möglich. ▪ Der Aufbau ist kostengünstiger und hat eine geringere Leistungsaufnahme im Verhältnis zu CCDs 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufgrund der Transistoren neben den Fotodioden treffen viele Photonen nicht auf die Fotodioden, sondern auf die Transistoren. Dies verringert die Lichtempfindlichkeit. ▪ Pixel gleicher Helligkeit geben möglicherweise nicht die gleiche Spannung ab. Das kann zu Bildrauschen führen.

3.5.2 Anwendung optischer Sensoren als Lichtschranke, Distanzsensor u. ä.

Optische Sensoren und Sensorsysteme (im Folgenden einheitlich optische Sensoren genannt) können in zwei Kategorien unterteilt werden:

- Optische Sensoren, deren Funktion auf dem freien Lichtstrahl basiert.
- Faseroptische Sensoren, bei denen die Lichtquelle an einen Lichtleiter angeschlossen wird.

Die optischen Sensoren mit freiem Lichtstrahl können wiederum anhand der Abbildung ihres Lichtstrahls bzw. ihres Erfassungsbereichs unterteilt werden in

- Punktförmig wirkend
- Linienförmig wirkend
- Flächenförmig wirkend

Anmerkung: Die Bezeichnungen der Sensortypen sind bei den Herstellern nicht einheitlich.

Wie oben bereits erläutert, können Sensoren unterteilt werden in

- Binär wirkende (schaltende) Sensoren und
 - Analog wirkende (messende Sensoren).
- Zu den messenden optischen Sensoren gehört der Laserdistanzsensor.

Bei den binär wirkenden optischen Sensoren sind zunächst zwei Bauarten zu unterscheiden:

- Sender und Empfänger (Lichtaufnahmeelement) sind baulich voneinander getrennt und gegenüberliegend angeordnet. Das Lichtaufnahmeelement empfängt das Licht direkt von der Lichtquelle. Diese Bauart läuft üblicherweise unter der Bezeichnung „Einweg-Lichtschranke“.
- Sender (Lichtquelle) und Empfänger (Lichtaufnahmeelement) sind gemeinsam in demselben Gehäuse eingebaut. Das Lichtaufnahmeelement empfängt reflektiertes Licht. Zu dieser Bauart gehören

- die Reflexionslichtschranke und
- der Reflex-Lichttaster

Lichtschranken und Lichttaster bestehen aus zwei Baueinheiten, die baulich getrennt, oder in einem Gehäuse vereint sein können (siehe oben):

- Dem optischen Sender (z.B. Leuchtdiode, IR-LED oder Laserdiode) und
- dem Empfänger (Empfangstransistor- bzw. Diode oder für Laser CCD oder CMOS).

Der Sender wird mit Spannung versorgt und erzeugt dadurch sein Licht. Wenn z.B. der Empfangstransistor das Licht empfängt wird er leitend und es fließt ein Strom. Am Detektor kann das Signal empfangen und ausgewertet werden.

3.5.2.1 Einweg-Lichtschranke

Sender und Empfänger sind gegenüber angeordnet. Bewegt sich ein Objekt zwischen Sender und Empfänger, wird der Lichtstrahl unterbrochen. Am Empfänger ändern sich die elektrischen Eigenschaften und die Schaltfunktion wird ausgelöst.

Weil das Lichtsignal den Messbereich nur in eine Richtung durchquert, sind Einweglichtschranken wenig störanfällig. Sie eignen sich daher für Einsätze unter erschwerten Bedingungen.

Gegenüber der Reflexions-Lichtschranke und dem Reflexions-Lichttaster hat die Einweglichtschranke folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wenig Störanfällig ▪ Erlaubt große Reichweiten ▪ Erkennt undurchsichtige und spiegelnde Objekte 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sender und Empfänger sind räumlich getrennt, daher sind zwei Spannungsquellen erforderlich. ▪ Unsicheres Erkennen von transparenten Objekten.

3.5.2.2 Lichtgitter

Bei einem Lichtgitter sind mehrere Lichtschranken parallel zueinander angeordnet. Dabei sind alle Sender und alle Empfänger jeweils in einem Gehäuse untergebracht.

3.5.2.3 Reflexionslichtschranke

Sender und Empfänger sind in einem gemeinsamen Gehäuse vereint. Der Sende-Empfangeinheit gegenüber ist ein Reflektor (Spiegel, Reflexfolie) fest angeordnet. Der Lichtstrahl trifft von der Lichtquelle auf den Reflektor und wird von diesem zum Empfänger zurückgeworfen. Wird dieses Lichtsignal durch einen Gegenstand unterbrochen, verringert sich die Empfängerspannung und die Lichtschranke schaltet. Die Lichtschranke schaltet also, wenn es am Empfänger dunkel wird.

Gegenüber der Einweglichtschranke und dem Reflexions-Lichttaster hat die Reflexions-Lichtschranke folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gegenüber der Einweglichtschranke sind Sender und Empfänger in einem Gehäuse. Es ist somit nur eine Spannungsversorgung erforderlich. ▪ Die Tastweiten sind unabhängig von dem zu detektierenden Objekt. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Objekterkennung bei durchsichtigem Material ist nicht möglich

3.5.2.4 Reflexions-Lichttaster

Wie bei der Reflexionslichtschranke sind bei dem Reflexionslichttaster Sender und Empfänger in einem Gehäuse vereint. Beim Lichttaster gibt es aber keinen fest installierten Reflektor. Der Lichttaster funktioniert genau umgekehrt zur Lichtschranke, der Lichttaster ist hellschaltend.

Der Sender des Reflexions-Lichttasters strahlt einen kontinuierlichen Lichtstrahl aus. Da es keinen fest installierten Reflektor gibt, läuft der Lichtstrahl zunächst quasi ins Leere. Beim Empfänger kommt kein Licht an. Kommt nun aber ein Gegenstand in den Bereich des Lichtstrahls, wird ein Teil des Lichts von dem Gegenstand reflektiert. Der Empfänger detektiert das reflektierte Licht und gibt ein Schaltsignal aus.

Die Arbeitsweise des Reflexions-Lichttasters entspricht weitgehend dem der akustischen, induktiven und kapazitiven Näherungsschalter (siehe unten).

Gegenüber der Einweglichtschranke und der Reflexions-Lichtschranke hat der Reflexions-Lichttaster folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sender und Empfänger sind in einem Gehäuse. Es ist somit nur eine Spannungsversorgung erforderlich. ▪ Einfache Montage; es ist nur ein Gerät zu installieren. ▪ Der Taster ist platzsparend und flexibel einbaubar, da alles in einem Gerät ist. ▪ Es kann kein Reflektor verschmutzen ▪ Transparente Gegenstände können sicherer erkannt werden. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Tastweiten sind stark abhängig vom zu detektierenden Objekt, d. h. vom <ul style="list-style-type: none"> ○ Reflexionsgrad ○ Form ○ Farbe ○ Materialbeschaffenheit ▪ Tastweite ist geringer als bei der Lichtschranke, da ein Reflektor i. d. R. ein besseres Reflexionsvermögen besitzt, als das zu detektierende Objekt.

3.5.2.5 Binäre Lasersensoren

Die Binären Lasersensoren gibt es wie die oben beschriebenen Sensoren

- als Einweg-Lichtschranke
- als Reflexions-Lichtschranke
- als Reflexions-Lichttaster

Bei den Lasersensoren wird aber ein Laser als Lichtquelle eingesetzt. Der Lichtstrahl dieser Sensoren ist stark fokussiert; der Lichtstrahl ist nahezu parallel.

- Durch die Fokussierung entsteht ein Lichtpunkt, der leicht zu erkennen ist. Dadurch können auch kleine Zielobjekte detektiert werden.
- Der Lichtpunkt des Laserstrahls bleibt auch über große Distanzen hinweg fokussiert. Lasersensoren haben dadurch einen großen Erkennungsabstand.

3.5.2.6 Laser-Distanzsensor

Für den Distanzsensor gibt es mehrere Bezeichnungen, z.B. Abstandssensor, Wegaufnehmer usw. Der Laser-Distanzsensor wird eingesetzt zum Messen von z.B. Längen, Positionen, Füllständen. Die Laser-Distanzsensoren gibt es in unterschiedlichen Gerätetypen. Einige messen auf sehr kurze Entfernungen, andere werden bei großen Entfernungen (mehrere hundert Meter) eingesetzt.

Die Funktion des Laser-Distanzsensors ist im Prinzip wie bei einem Reflexions-Lichttaster. Auch beim Laser-Distanzsensor sind Sender und Empfänger in einem Gehäuse vereint. Der ausgesandte Laserstrahl wird vom Messobjekt reflektiert und vom Empfänger detektiert.

Die Distanzmessung erfolgt über die Laufzeitmessung des Lichtsignals oder über ein Triangulationsverfahren (siehe Kapitel 5.1).

3.5.3 Anwendung optischer Sensoren in digitalen Bildverarbeitungssystemen

Der Begriff „Bildverarbeitungssystem“ ist nicht genau definiert. Auch die Bezeichnungen von Elementen der Bildverarbeitung sind nicht einheitlich.

Im Prinzip werden bei der Bildverarbeitung Bilder mit einer Kamera aufgenommen, die mit der Software auf dem Rechner verarbeitet werden. Dies setzt eine geeignete Beleuchtung voraus. Wesentliche Elemente der digitalen Bildverarbeitung ist somit eine Kombination aus

- Digitalkamera (Monochrome Kamera oder Farbkamera) mit entsprechenden Bildsensoren, sowie, je nach Ausgestaltung mit
 - integrierter oder separater Optik
 - Datenspeicher und Bildverarbeitungsprozessor
 - Schnittstellen
- Beleuchtung
- Software
- Rechner

Abhängig vom Einsatzbereich und den jeweiligen Anforderungen kann jede der oben genannten Komponenten sehr unterschiedlich ausgelegt sein.

Die Kameraarten, die bei der Bildverarbeitung zum Einsatz kommen können, sind unter anderem:

- Zeilenkamera
- Flächenkamera
- 3D-Kamera
- Hochgeschwindigkeitskamera

Zur Beleuchtung werden z.B. folgende Beleuchtungsarten verwendet:

- Halogen-Glühlampen
- LED-Beleuchtungen
- Fluoreszenzlicht

Mit der aufgabenabhängig gestalteten Software können Bildinformationen ausgewertet werden. Dadurch können mit diesen Informationen z.B.

- Produkte vermessen und Volumen berechnet werden
- Produkte nach definierten Merkmalen überprüft und sortiert werden

3.5.3.1 *Zeilensensor / Zeilenkamera*

Ein Zeilensensor besteht aus CCD- oder CMOS-Sensoren mit nur einer einzelnen Zeile nebeneinanderliegender Pixel. Die Zahl der Pixel ist abhängig von den Anforderungen der Anwendung, d. h. von

- der geforderten Auflösung; die von der Größe der Pixel bestimmt wird. Je höher die Auflösung ist, desto feinere Details oder Strukturen können aus dem Original erfasst werden. Die Größe der Pixel wird in Dots per inch angegeben (dpi). Sie kann bei wenigen dpi liegen, sie kann aber auch mehrere tausend dpi umfassen.
- der erforderlichen Länge der Scanzeile.

Da Zeilensensoren theoretisch eine beliebig große Fläche abfahren und dabei fleißig Daten sammeln können, lassen sich mit ihnen sehr große Bildformate relativ günstig realisieren.

Für Aufnahmen mit einem Zeilensensor muss das Aufnahmeobjekt durch eine Lichtquelle ausgeleuchtet werden. Um mit Zeilensensoren ein zweidimensionales Bild zu erzeugen, wird entweder der Zeilensensor über ein feststehendes Objekt getaktet, oder das Aufnahmeobjekt wird unter einem feststehenden Zeilensensor durchgetaktet. Die Taktung ist so ausgelegt, dass der Sensor während der Integrationszeit um genau den Abstand eines Pixels bewegt wird. Dabei wird das Objekt zeilenweise abgetastet und das Bild wird aus einer Vielzahl von Zeilen zusammengesetzt.

Für die Erzeugung von Farbbildern werden 3 Reihen von Pixeln parallel angeordnet, wobei jede Reihe mit einem Farbfilter (rot, grün und blau) versehen ist.

Einsatzgebiete von Zeilensensoren / Zeilenkameras sind z.B.:

- Barcode-Lesegeräte
- Scanner
- Industrielle Bildverarbeitungssysteme (siehe 2-D-Kameratechnologie)

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Theoretisch kann mit einem Zeilensensor eine beliebig große Fläche abgefahren werden. Große Bildformate können somit relativ günstig realisiert werden. ▪ Keine Interpolation der Daten erforderlich. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nachteilig ist die geringe Einlese Geschwindigkeit bis das gesamte Objekt abgetastet ist. ▪ Bewegliche Objekte (ausgenommen getaktete Objekte) können nicht aufgenommen werden. ▪ Aufwendige Konstruktion zur präzisen Führung des Zeilensensors. ▪ Gute Ausleuchtung erforderlich.

3.5.3.2 Flächensensor / Bildsensor

Bei Flächensensoren sind die Pixel zweidimensional angeordnet. Im Gegensatz zur Zeilenkamera kann mit dem Flächensensor das zweidimensionale Aufnahmeobjekt mit nur einer Aufnahme aufgenommen werden.

Um Farbinformationen zu gewinnen, sind die Zellen abwechselnd mit R/G/B-Filtern versehen. Um die gesamte Farbinformation des einzelnen Pixels zu erfassen, muss entweder der ganze Array mehrfach verschoben und ausgelesen oder die fehlenden Farben aus der Information der Nachbarzellen interpoliert werden.

Einsatzgebiete von Flächensensoren sind z.B.:

- Digital- und Videokameras
- Industrielle Bildverarbeitungssysteme (siehe 2-D-Kameratechnologie)

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bildsensor-Fläche kann gleichzeitig und ohne Verzögerung belichtet werden. ▪ Vergleichsweise schnelle Bilderfassung ▪ Hohe Schärfentiefe 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Zeilensensor liefert gegenüber dem Flächensensor ein Mehrfaches an tatsächlicher Auflösung

3.5.3.3 2D-Kameratechnologie

Nach [BAS 1] können in der 2D-Kameratechnologie beide der o. g. Sensortechniken zum Einsatz kommen, d. h. sowohl Zeilen- als auch Flächensensoren. 2D-Kameratechnologien eignen sich immer dann,

- wenn In der Anwendung ein hoher Kontrast gegeben ist, oder
- wenn Struktur und Farbe des zu inspizierenden Objekts ausschlaggebend sind.

Typische Anwendungsbereiche sind:

- Montageprüfung von Objekten mit kontrastreichen Komponenten.
- Detektion der Form und Abmessung von sehr flachen Objekten, bei denen kaum ein Höhenwert gegeben ist.
- Detektion von Verschmutzungen auf einem Objekt, insbesondere in einer integrierten Prüfung direkt in der Fertigungslinie.

- Überprüfung von Farb- und / oder Druckqualität von z.B. Barcodes auf Verpackungen.
- Sortierung von Produkten, die sich anhand ihrer Farbe oder ihres Aufdrucks deutlich voneinander unterscheiden.

3.5.3.4 3D-Kameratechnologie

Im Gegensatz zur 2D-Kameratechnologie, mit der aufgenommene Objekte nur zweidimensional abgebildet werden können, ermöglicht die 3D-Kameratechnologie, dass auch die dritte Dimension von Objekten erfasst werden kann. In der Fabrikautomatisierung wie in der Robotik eröffnen sich dadurch neue Möglichkeiten zum Lösen komplexer Aufgaben [BAS 1].

In der 3D-Kameratechnologie gibt es mehrere unterschiedliche Verfahren der Bildverarbeitung. Die meisten Verfahren beruhen auf einer Berechnungsmethode der Triangulation. Die Triangulation ist eine Vermessungsmethode, bei der z.B. eine Fläche in Dreiecke unterteilt wird. Von den Dreiecken wird eine Seite (die Grundlinie) gemessen, sowie alle Winkel. Die Längen der anderen Linien werden trigonometrisch berechnet.

Zu den Aufnahmemethoden, die auf geometrischen Berechnungen beruhen, gehören:

- Laser-Triangulation (auch Lichtschnittverfahren genannt)
- Stereovision
- Streifenprojektion (Strukturiertes-Licht-Verfahren)

Ein weiteres Verfahren ist zeitbasiert. Dieses Verfahren wird „Time-of-Flight“ genannt oder auch Lichtlaufzeitverfahren

3.5.3.4.1 Lasertriangulation / Lichtschnittverfahren

Für das Verfahren der Lasertriangulation wird eine 2D-Kamera zusammen mit einer Laser-Lichtquelle eingesetzt. Die Kamera ist in einem festen Winkel zur Lichtquelle angeordnet. Mit der Lichtquelle wird auf das Aufnahmeobjekt eine schmale Laserlinie projiziert, wobei sich das Aufnahmeobjekt relativ zur erzeugten Laserlinie bewegen muss. Die Kamera nimmt Bilder der entstandenen Linienkontur auf, die sich beim Passieren des Objektes verändert. Durch Aneinanderreihung dieser Profile wird ein dreidimensionales Bild generiert.

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Geschwindigkeit im Nahbereich. ▪ Einfall von Sonnenlicht ist kein Problem ▪ Stark reflektierende Oberflächen sind kein Problem 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Rechenlast macht Echtzeitfähigkeit schwierig ▪ Hohe Gesamtsystemkosten durch komplexen Aufbau und hohen Installationsaufwand.

Einsatzgebiete für die Lasertriangulation sind z.B.:

- Vermessung von hoch reflektierenden Blechteilen im Sub-Millimeter-Bereich
- Sortieren von Glasflaschen, bei denen wenig Kontrast vorhanden ist.

3.5.3.4.2 Stereovision

Analog zum Prinzip des menschlichen Augenpaares werden bei dem Verfahren der Stereovision zwei 2D-Kameras eingesetzt. Mit diesen beiden Kameras wird ein Aufnahmeobjekt gleichzeitig aus zwei verschiedenen Positionen aufgenommen. Mit einer Methode der Triangulation wird anschließend aus den beiden 2D-Aufnahmen ein 3D-Bild errechnet.

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Genauigkeit im Nahbereich ▪ Einfall von Sonnenlicht ist kein Problem ▪ Stark reflektierende Oberflächen sind kein Problem 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Funktioniert nicht auf homogenen Flächen ▪ Funktioniert nicht bei wenig Licht ▪ Hohe Rechenlast macht Echtzeitfähigkeit schwierig

Einsatzgebiete für die Stereovision sind z.B.:

- Besondere Eignung für Anwendungen im Außenbereich (z.B. Landwirtschaft) und bei hellem Umgebungslicht.
- 3D-Vermessung von Objekten für Applikationen mit Robotersystemen
- Bei entsprechenden Rechenleistungen sind echtzeitkritische Anwendungen wie z.B. autonomes Fahren möglich.

3.5.3.4.3 Streifenprojektion (Strukturiertes Licht)

Bei der Streifenlichtprojektion wird mit einem Projektor eine Serie verschiedener Streifenmuster mit Streifen unterschiedlicher Breite auf das zu messende Objekt projiziert. Dieses projizierte Licht wird an der Höhenstruktur des Aufnahmeobjekts zu einem Lichtmuster verzerrt, das von mindestens einer 2D-Kamera aufgenommen wird. Dabei sind Projektor und Kamera in einer definierten Lage zueinander angeordnet. Die Serie aufgenommener 2D-Streifenbilder wird mit Hilfe einer Matrix in eine 3D-Punktwolke und dann in ein 3D-Bild umgerechnet.

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Genauigkeit im Nahbereich ▪ Einfall von Sonnenlicht ist kein Problem ▪ Stark reflektierende Oberflächen sind kein Problem 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Rechenlast macht Echtzeitfähigkeit schwierig ▪ Hohe Gesamtsystemkosten durch komplexen Aufbau und hohem Installationsaufwand.

- industrielle Kontrollaufgaben wie z.B.
 - Inspektionen auf Formabweichung,
 - Vollständigkeit,
 - die Lage von Bauteilen
 - Volumenmessungen

3.5.3.4.4 Time-of-Flight (Lichtlaufzeitverfahren)

Beim Time-of-Flight-Verfahren wird das Aufnahmeobjekt mit vielen einzelnen Lichtimpulsen ausgeleuchtet. Das Objekt reflektiert das Licht und sendet es zurück zur Kamera. Da die für das Aussenden und Empfangen der Lichtimpulse benötigte Zeit proportional zur Distanz ist, liefert die Kamera für jeden Bildpunkt die Entfernung des darauf abgebildeten Objektes (siehe auch Kapitel 5.1).

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kompaktes System ohne bewegte Komponenten ▪ Die Szene wird auf einmal aufgenommen und muss nicht abgetastet werden. ▪ Hohe Geschwindigkeit ▪ Kommt sehr gut mit wenig Licht aus ▪ Hohe Echtzeitfähigkeit ▪ Auch für kontrastarme und unstrukturierte Objekte geeignet. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schwierigkeiten mit Sonnenlicht ▪ Probleme mit spiegelnden und stark reflektierenden Oberflächen. ▪ Streulichtempfindlich.

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">▪ Mit genügend starker Lichtquelle sind große Abstände möglich.▪ Geringe Gesamtsystemkosten. | |
|---|--|

Einsatzgebiete des Time-of-Flight-Verfahrens sind z.B.:

- Volumenmessung in der Logistik
- Positionserfassung und Navigation (siehe Kapitel 5 ff), z.B.:
 - Palettier- und Depalettier-Aufgaben
 - Autonom fahrende Fahrzeuge im Logistikumfeld

4 TECHNIKEN ZUR IDENTIFIKATION UND LOKALISIERUNG

Identifikation ist ein Vorgang zur eindeutigen Erkennung einer Person oder eines Objektes anhand kennzeichnender Merkmale. Die Identifikation beinhaltet das Erfassen der Informationen aus den kennzeichnenden Merkmalen und den Abgleich mit einem hinterlegten Muster bzw. mit hinterlegten Daten.

Die kennzeichnenden Merkmale können unterschieden werden in:

- **Inhärentes Merkmal**
Ein inhärentes (d. h. innewohnendes) Merkmal ist eine charakteristische Eigenschaft einer Person oder eines Objektes, welches die Person oder das Objekt aus sich selbst heraus hat und das nicht zusätzlich zugeordnet ist.

Beispiele für ein inhärentes Merkmal sind z.B.

- Biometrische Daten bei Menschen (z.B. Fingerabdruck, Augenfarbe usw.)
- Gewicht, Größe, Form oder Oberflächenstruktur eines Objektes, soweit diese Merkmale eindeutig zuordenbar sind.

- **Identifikator (Kennzeichnung, Kennung oder kurz ID).**
Ein Identifikator ist ein künstlich zugewiesenes Merkmal zur eindeutigen Identifizierung eines Objektes.

Beispiele für einen Identifikator sind z.B.:

- Typenschild,
- Farbcodierung,
- Barcode-Label,
- RFID-Transponder (Tag)

Nach der Anwendung in einem intralogistischen System kann bei der Kennzeichnung, d. h. bei dem Versehen mit Identifikatoren, unterschieden werden in

- Kennzeichnungen des Arbeitsumfeldes der im Lager arbeitenden Personen.
- Kennzeichnung von Objekten, wie z.B. der Ware zur Identifizierung und Verfolgung
- Kennzeichnung zur Ortung / Lokalisierung von Objekten

Mit der Kennzeichnung des Arbeitsumfeldes können verschiedene Ziele werden verfolgt werden:

- Ein wichtiges Ziel ist der Personenschutz
- Für die im Lager arbeitenden Personen ist die Kennzeichnung des Arbeitsumfeldes eine Orientierungshilfe, unter anderem zur Vermeidung von Suchvorgängen.
- Für mobile fahrerlose Einrichtungen können Kennzeichnungen / Markierungen zur Orientierung und Navigation erforderlich sein.

Die Themen „Kennzeichnung des Arbeitsumfeldes“ und Kennzeichnung zur Ortung“ sind in anderen Teilen dieses Handbuches beschrieben. Siehe hierzu auch

- Teil II.2, Lagerarten, Lagertechniken
 - Kap. 3.1 Bodenlagerung,
 - Kap. 6.2.1.3 Maßnahmen zum Personenschutz,
- Teil II.3, Fördertechnik
 - Kap. 2.1 Navigationstechniken
 - Kap. 2.2 Navigation / Führungssystem
- Teil II.4 Technische Einrichtungen für Kommissioniersysteme sowie WE / WA, Versand
 - Kap. 3.1.1 Informationsübermittlung,
 - Kap. 3.1.4.2 Hilfsmittel zur besseren Informationsaufnahme

4.1 Identsysteme

Eine gute Organisation des Materialflusses und des Lagerbestandes setzt voraus, dass die zu verfolgende Ware vom Wareneingang bis zum Warenausgang jederzeit eindeutig identifiziert werden kann. Die Identifikation kann anhand eindeutiger Objekteigenschaften (inhärente Merkmale) erfolgen; in der Regel ist aber eine zusätzliche Kennzeichnung für begleitende Informationen erforderlich. Im einfachsten Fall kann diese Information handschriftlich auf der Ware aufgebracht werden und die Information wird visuell durch Lagerpersonal ausgelesen.

Von einem „Identsystem“ spricht man, wenn die Informationen speziell codiert werden, so dass sie von Sensoren erfasst werden können (z.B. Barcode, RFID usw.). In diesem Fall wird der Sensor zum „Lesesystem“. Dabei wird in einigen Firmenveröffentlichungen unterschieden in:

- **Manuelle Identifikation:**
Die z.B. mit einem Handheld-Scanner ausgelesenen Daten dienen einem Soll-/Ist-Abgleich; sie werden aber nicht automatisch weiterverarbeitet (siehe Internet-Veröffentlichung der Fa. SICK).
- **Automatische Identifikation (AutoID-System)**
Ein AutoID-System ist ein System zur automatischen Identifikation, d. h. zur automatische Datenerfassung sowie Datenübertragung und Datenauswertung.

4.2 AutoID-Systeme

Im Laufe der Entwicklung gab es bereits vielfältige Arten automatischer Erkennungssysteme für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche. Ziele dieser Erkennungssysteme können z.B. sein:

- Steigerung des Automatisierungsgrades
- Verbesserung in der Qualität der Abläufe
- Beschleunigung von Arbeitsabläufen;
- Verbesserung der Rückverfolgbarkeit;
- usw.

Die verschiedenen Arten an Erkennungssystemen unterscheiden sich im Wesentlichen anhand der unterschiedlichen Sensorprinzipien sowie der dazugehörigen unterschiedlichen Informationsträger (siehe Tab. 4.2 / 01). In der Praxis sind einige davon heute kaum noch anzufinden.

		Informationsträger
Sensorprinzipien	mechanisch / elektromechanisch	Nocken, Blechfahnen, Kontakte, Masse
	magnetisch	Magnetkarte, Magnetband
	optoelektronisch	Formen, Farben, Reflexe, OCR-Schriftcode, Strichcode, graphische Symbole
	elektronisch / elektromagnetisch	Elektronischer Speicher: fest (PROM), programmierbar (EEPROM / RAM)
Tab. 4.2 / 01: Zuordnung der physikalischen Wirkungsweisen von Sensorprinzipien zu Informationsträgern (in Anlehnung an [HAN 2])		

Heute sind die meisten Sensorprinzipien kontaktfrei (siehe Kapitel 3). Sie basieren meist auf der Übertragung optoelektronischer oder elektromagnetischer Wellen zwischen dem zu detektierenden Objekt bzw. Informationsträger und der Sensoreinheit. Dies gilt auch für drahtlose Datenübertragungs- bzw. Kommunikationssysteme zwischen Sensoreinheit und Empfänger der übergeordneten Rechneinheit.

Für die Datenübertragung ist das Lesesystem nach unten mit dem Informationsträger / Identifikator (siehe oben) verbunden. Die Art der Datenübertragung ist von der Art des Informationsträgers abhängig. Die geläufigsten Systeme sind:

- Barcode
- RFID

Darüber hinaus gibt es weitere Systeme im Rahmen der AutoID, wie z.B.:

- Magnetstreifen
- Chipkarte
- Biometrische Verfahren
- Optische Zeichenerkennung (Optical Character Recognition / OCR)
- Electronic Shelf Labels

Unabhängig vom System ist die jeweilige Abtastschnittstelle zwischen Informationsträger / Lesegerät am kritischsten. An der Abtastschnittstelle entstehen die meisten Fehler, weil hier die meisten Umwelt- und Betriebseinflüsse auf das Identifikationssystem wirken. An dieser Stelle muss großer Aufwand betrieben werden, um Störeinflüsse zu minimieren. Die Art der relevanten Störeinflüsse kann von System zu System unterschiedlich sein (siehe unten).

Die rein technischen Komponenten, Identifikator und Lesesystem, erzeugen für sich genommen in der Regel keine direkt verwertbaren Informationen. Sie werden daher mit nachgelagerten Softwarelösungen gekoppelt, welche die erhaltenen Daten in für den Prozess verwertbare Informationen umwandeln (EBU 1).

4.2.1 Barcodesysteme

Der Barcode ist eine codierte Information, die optoelektronisch abgetastet wird. Die Bezeichnung Barcode stammt von der ursprünglichen Codierungsform eines Binärcodes, der auf Basis einer eindeutigen Bildungsvorschrift durch parallel angeordnete Striche und Lücken auf dem zu kennzeichnenden Objekt aufgebracht wird. Inzwischen gibt es eine Vielzahl weiterer Barcode-Arten. Dabei ist „Barcode“ zu einem Überbegriff geworden für alle optischen Codes, die aus Strichen, Quadraten oder Punkten bestehen [WEB 1]. Der Begriff „Barcode“ beinhaltet somit auch Codes, die eigentlich keine „Strichcodes“ darstellen, z.B. Matrixcode.

Der Barcode kann direkt auf dem zu kennzeichnenden Objekt aufgebracht werden, in der Regel wird er aber auf ein Etikett gedruckt. Wichtig ist die gute Lesbarkeit des Codes. Diese ist abhängig von der Druckqualität und dem Kontrast zwischen den Strichen und Lücken.

Zu einem kompletten Barcodesystem gehören [In Anlehnung an LOG 3]:

- Barcode-Software (bzw. Barcode-Generator) und Drucker zum Erstellen der Barcodes.
 - Die Barcode-Software (bzw. der Barcode-Generator) ist eine Software, mit deren Hilfe eine numerische oder alphanumerische Information in einen gewünschten Barcode-Typ umgewandelt werden kann.
 - Drucker mit ausreichender Druckqualität. Häufig werden spezielle Etikettendrucker in Verbindung mit integrierter Software für das Etikettendesign verwendet.
- Lesegerät bestehend aus Sensor und Decoder.
 - Mit dem Sensor wird die codierte Information abgetastet.
 - Mit dem Decoder werden die elektrischen Signale des Sensors in eine digitale Impulsfolge umgewandelt. Diese wiederum werden mit Hilfe eines Mikroprozessors ausgewertet. Die decodierten Zeichen können angezeigt und zur Datenübertragung über eine serielle Schnittstelle für das jeweilige übergeordnete Datenverarbeitungssystem (Rechner) bereit gestellt werden.
- Rechner, der die gesendeten Datenprotokolle empfängt, verarbeitet und z.B. zur Steuerung des Materialflusses weiterleitet.

4.2.1.1 Barcode-Typen (Symbologien)

Für die Bezeichnung „Barcode-Typen“ sind in der Literatur häufig auch die Bezeichnungen „Barcode-Schriftarten“, insbesondere aber die Bezeichnung „Symbologien“ zu finden.

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Symbologien, die für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle entwickelt wurden. Die nachfolgend aufgeführten Symbologien beschränken sich im Wesentlichen auf die Barcode-Typen, die für Logistik, Handel und Industrie relevant sind.

Ein Barcode ist aus mehreren Bereichen zusammengesetzt [LOG 3]. Dies sind i. d. R.:

- **Ruhezonen**
Das sind unbedruckte Bereiche vor und nach dem eigentlichen Barcode.
Sie sind in der Regel weiß. Es gibt 2D-Codes, die keine Ruhezone benötigen.
- **Startzeichen (Start-Margin)**
Das Startzeichen ist eine spezielle Strich/Lücken-Kombination. Es steht immer an der ersten Stelle des Codes. Beim Erkennen dieses Zeichens beginnt der Decoder, die Signale des Scanners zu verarbeiten.
Das Startzeichen dient auch der Sicherheit. So wird dem System signalisiert, dass tatsächlich ein Barcode-Symbol empfangen wird und nicht irgendeine Sequenz von reflektiertem Fremdlicht.
- **Stoppszeichen (Stop-Margin)**
Das Stoppszeichen ist ebenfalls ein serielles Zeichen. Es signalisiert das Ende des Codes. Der Decoder bekommt so mitgeteilt, dass der komplette Code empfangen wurde, prüft und übersetzt die Nachricht.
- **Nachricht (Message)**
Die Nachricht enthält die eigentliche Information. Der Barcode-Typ legt dabei die Syntax fest.
- **Prüfziffer (Checksum), sie ist optional**
Die Prüfziffer ist für die meisten Codetypen definiert. Über sie wird die Plausibilität des gelesenen Codes überprüft.

Die heute üblichen Codes kann man unterteilen in

- Eindimensionale Codes (1D-Codes)
- Zweidimensionale Codes (2D-Codes)

Darüber hinaus werden in der Literatur auch noch 3D- und 4-D-Codes erwähnt. Auf die wird hier nicht näher eingegangen.

Kriterien zur Auswahl eines Barcode-Systems sind z.B.

- **Der Inhalt und die Menge der Informationen, die codiert werden sollen:**
 - Soll der Code numerische oder alphanumerische Zeichen abbilden können, oder auch Sonderzeichen, oder soll er über noch weitere Abbildungsmöglichkeiten verfügen.
 - Soll der Code nur Produktinformationen beinhalten, oder auch Informationen, welche Rückverfolgbarkeit, Qualitätsnachweis usw. ermöglichen.
- **Sicherheitsanforderungen an den Code:**
Soll der Code scansicher sein mit Prüfziffer, oder reicht ein einfach zu erstellender Code ohne Prüfziffer.
- **Menge der Barcodes, die erstellt werden sollen.**
- **Anforderung an die Qualität, die eine aufgedruckte Codierung für den Verwendungszweck haben muss (Anforderung an dauerhafte Lesbarkeit).**
- **Umgebungsbedingungen, denen der Barcode ausgesetzt sein wird.**
- **Größe der zur Verfügung stehenden Fläche.**
- **Erfolgt das Lesen des Codes immer im Stillstand, oder muss er auch in Bewegung lesbar sein.**

4.2.1.1.1 1D-Barcodes

1D-Barcodes bestehen aus parallelen Strichen mit Zwischenräumen. Die Striche sind i. d. R. schwarz, die Zwischenräume weiß (Anmerkung: es gibt auch andere Farbkombinationen). Sie codieren die Daten über die Strichbreiten und die Breite der Lücken zwischen den Strichen. 1D-Barcodes können Informationen nur horizontal speichern, daher 1D.



Die eindimensionalen-Barcodes sind heute noch stark in der Waren- und Lagerwirtschaft verbreitet. Nachteile dieser Codes sind jedoch:

- Sie können relativ wenige Informationen speichern.
- Sie müssen generell einen hohen Kontrast aufweisen, um vom Barcode-Scanner einwandfrei eingelesen zu werden.

Je niedriger die Auflösung beim Drucker, desto größer muss der Strichcode dargestellt werden, da die Informationen durch die exakte Breite der Balken und Lücken transportiert werden.

Begriffe rund um den 1D-Strichcode [In Anlehnung an DAT 1]	
Strich	Das dunkle Element eines Strichcodes
Lücke	Das helle Element zwischen zwei Strichen
Trennlücke	Lücke zwischen dem letzten Strich eines Zeichens und dem ersten Strich des nächsten Zeichens eines diskreten Strichcodes
Element	Ausdruck um einen Strich oder eine Lücke zu beschreiben.
Modul	Bezeichnung für das schmalste Element in einem Strichcode. Breite Striche oder Lücken werden als Mehrfaches des Moduls berechnet.
Modulbreite X	Gibt die Breite des schmalsten Elements an.
Ruhezone	Die helle Zone vor und hinter der Strichcodierung. Sie ist notwendig, um die Leseeinrichtung auf die Strichcodierung einzustellen.
Codierfläche	Sie besteht aus einer Strichcodierung, zwei hellen Ruhezonen und einer Klarschriftzeile. Die Klarschriftzeile befindet sich unter der Strichcodierung und stellt die gesamte verschlüsselte Information in lesbarer Schrift dar.
Start- / Stoppzeichen	Jeder Strichcode beginnt mit einem Startzeichen und endet mit einem Stoppzeichen. Damit ist im Normalfall die Lesbarkeit in zwei Richtungen und Erkennung der Strichcodeart möglich.

EAN, UPC, GTIN

Der EAN-Code (European Article Number) ist der am weitesten verbreitete Barcode. Er wurde entwickelt, um im Handel europaweit eine eindeutige Identifikation der Artikel sicher zu stellen. Nach relativ kurzer Zeit war er weltweit verbreitet, ausgenommen in Amerika. Inzwischen ist der Code EAN 13 mit dem nordamerikanischen Code UPC (Universal Product Code) kompatibel und wird branchenübergreifend eingesetzt.

Die EAN-Codes werden weltweit zentral verwaltet von der Organisation GS1. Gegen eine Gebühr kann der Anwender die Nutzung des Codes für einen bestimmten Zeitraum kaufen. Innerhalb dieses Zeitraums wird der Code nur einmal vergeben.

Um dem weltweiten Einsatz des Codes gerecht zu werden, wurde 2009 anstelle des Namens „EAN“ die Bezeichnung GTIN (Global Trade Item Number) eingeführt, wobei in Europa „EAN“ immer noch gängig ist. Die GTIN ist die „globale Artikel-Identnummer“, die unter dem Barcode zu lesen ist. Durch den Strichcode wird sie maschinenlesbar.

Code 39

Der Code 39 ist ein alphanumerischer Code, der in der Industrie häufig genutzt wird. Im Gegensatz zu EAN können mit Code 39 auch Buchstaben und teilweise auch Sonderzeichen abgebildet werden. Ein weiterer Vorteil sind die großen Drucktoleranzen, wodurch er einfach herzustellen ist.

Nachteilig ist, dass er keine Prüfziffer enthält.

Code 128

Code 128 ist ein alphanumerischer Code, mit dem alle ASCII-Zeichen dargestellt werden können. Er enthält immer eine Prüfziffer, was ein Vorteil gegenüber Code 39 ist. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Informationsdichte. Er enthält mehr Daten, wofür er aber weniger Platz beansprucht. Code 128 hat in allen Branchen eine hohe Verbreitung. Er wird insbesondere im Warentransport eingesetzt.

Code 2/5 Interleaved

Der Code 2/5 Interleaved ist ein numerischer Code, der nur die Ziffern 0 bis 9 abbildet. Bei diesem Code beinhalten sowohl die Striche als auch die dazwischen liegenden Lücken jeweils eine Information, wobei zwei Ziffern immer ein Paar bilden. Die erste Ziffer wird aus 5 Strichen dargestellt, die zweite Ziffer wird durch die unmittelbar folgenden Lücken der ersten Ziffer dargestellt. Fünf Striche und Lücken stellen also ein Ziffern paar dar. Dadurch hat er eine hohe Informationsdichte. Die Länge des Codes ist variabel. Aufgrund der Zahlenpaare ist der Code nur mit gerader Ziffernanzahl verwendbar.

4.2.1.1.2 2D-Barcodes

Im Gegensatz zu den 1D-Barcodes können die 2D-Barcodes Daten gleichzeitig horizontal und vertikal speichern. Mit 2D-Codes können dadurch größere Datenvolumina abgebildet werden. Um die Daten vollständig zu dekodieren muss das Barcode-Lesegerät jedoch in der Lage sein, gleichzeitig horizontal und vertikal zu lesen.

4.2.1.1.2.1 Gestapelte eindimensionale Strichcodes

Die einfachste Form von 2D-Codes stellen die gestapelten eindimensionalen Strichcodes dar (englisch Stacked Barcode). Sie bestehen aus mehreren linearen Barcodes, die in verschiedenen Ebenen gestapelt werden. Dadurch kann eine höhere Datenmenge codiert werden.

Beispiele von gestapelten Strichcodes sind PDF 417 und Codablock.

Code PDF 417

In der Bezeichnung PDF 417 steht „PDF“ für „Portable Data File“. Die „417“ ist vom Aufbau des Codes abgeleitet. Ein Codewort besteht aus 17 Modulen, welche jeweils aus 4 Strichen und 4 Lücken bestehen. Die Ausmaße des Codes sind variabel. Dadurch ist er vielseitig einsetzbar. Verwendung findet er u.a. in der Logistik.



4.2.1.1.2.2 Matrixcodes

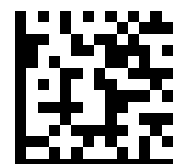
Bei Matrix-Codes (oder auch Array-Codes) werden die Informationen nicht mehr durch Linien, sondern durch einzelne Punkte auf eine Fläche codiert. Mit einem Matrixcode kann eine relativ große Datenmenge auf sehr kleiner Fläche gespeichert werden. Der wohl bekannteste 2D-Code ist der QR-Code durch die Verwendung von Smartphones. Weitere 2D-Codes sind z.B. der Maxi-Code, der DataMatrix-Code und der Aztec Code.

Maxi-Code

Der Maxi-Code wurde bereits 1989 von UPS (United Parcel Service) für die schnelle Paketsortierung entwickelt. Er ist aus sechseckigen Modulen in einer quadratischen Fläche von 1 Zoll aufgebaut und hat in der Mitte konzentrische Kreise. Diese Kreise (Bulleyes) ermöglichen das Scannen des Codes, unabhängig von der Ausrichtung (omnidirektional) und bei schneller Bewegung der Pakete.

DataMatrix-Code

Der DataMatrix-Code ist ein sehr kompakter Code, mit dem eine Vielzahl unterschiedlicher Zeichen und Schriftsätze auf sehr kleinem Raum codiert werden können. Bei diesem Code wird der Datenbereich auf zwei Seiten von einem L-förmigen Rand begrenzt. Dieser zeigt die Ausrichtung des Codes an.



Die beiden gegenüberliegenden Rahmenteile bilden gepunktete Linien. Die Punkte nummerieren die Zeilen und Spalten des Codes.

Der Code kann aus jeder beliebigen Richtung (omnidirektional) ausgelesen werden.

Aztec Code

Der Aztec-Code ist ein 2D-Matrixcode. Der Name des Codes ist abgeleitet von dem Quadrat in der Mitte, das von oben gesehen einer aztekischen Pyramide ähnelt. Das Quadrat ist das zentrale Suchmuster. Die anderen Daten sind in konzentrischen quadratischen Ringen um das Suchmuster herum verschlüsselt. Wegen des zentral angeordneten Suchmusters benötigen Aztec-Codes keine Ruhezone am Rand. Die Größe eines Aztec-Codes ist je nach Menge der enthaltenen Daten vollständig anpassbar. Der Code hat einen Fehlerkorrekturgrad von bis zu 23 %, d. h. er ist selbst dann noch lesbar, wenn fast ein Viertel davon zerstört wurde.



Aztec-Codes sind besonders im öffentlichen Personentransport weit verbreitet, so auch bei der Deutschen Bahn.

4.2.1.1.3 3D-Barcode

„3D-Barcode“ werden mehrere Code-Arten bezeichnet, wie z.B. der JAB-Code und der Bumpy-Code.

JAB-Code

JAB-Code steht für Just Another Bar Code. Er gehört zu den sogenannten „3D-Barcodes“. Er ist eine Weiterentwicklung der 2D-Codes. Dabei nutzt er nicht die Z-Achse als 3. Dimension (was ein echter 3D wäre), sondern er nutzt bis zu acht Farben um Informationen zu codieren. Durch diese zusätzliche Farbcodierung besitzt er eine höhere Datendichte als die schwarz-weißen Codes.

Bumpy-Code

Unter der Bezeichnung 3D-Barcode sind auch rein lineare Barcodes (1D-Codes) sowie 2D-codes zu finden, die nicht mit schwarz-weiß-Kontrast, sondern ohne Farbkontrast mit einem reliefartigen Muster arbeiten. Das Code-Muster wird dabei ohne Etikett direkt in das zu kennzeichnende Objekt durch Höhen und Tiefen in der Oberflächenhöhe eingearbeitet. Die Kennzeichnung erfolgt z.B. durch Eingießen, Ätzen, Einstanzen, Laser, Gravur. Dieses Verfahren läuft auch unter der Bezeichnung „Direct Part Marking“ „DPM“. Die Codes werden Bumpy-Codes (Holprige Barcodes) genannt.

Da ohne Etikett markiert wird, kann das Scannen wegen des geringen Kontrastes oder wegen Lichtreflektionen (z.B. bei Metall) problematisch werden. Hier kommen dann spezielle DPM-Scanner zum Einsatz. Dies sind 2D-Scanner, die über ein intensives Lesesystem verfügen und häufig auch über spezielle Beleuchtungen

Eingesetzt werden Bumpy-Codes z.B. in der industriellen Verarbeitung, wo raue Umgebungsbedingungen herrschen (hohe Temperaturen, Chemikalien usw.), welche einen dauerhaften Einsatz von Etiketten erschweren.

4.2.1.2 Barcode-Scanner

Gemäß Kapitel 4.2.1 dienen Barcode-Lesesysteme dem optischen Auslesen der in den Barcodes verschlüsselten Informationen und dem Weiterleiten der Daten an einen übergeordneten Rechner. Sie bestehen aus einer Leseinheit und einer Decodiereinheit. Lese- und Decodiereinheit sind i. d. R. in einem Gerät zusammengefasst. Die gängige Bezeichnung für diese Geräte ist „Barcode-Scanner“.

Entsprechend der Vielzahl an unterschiedlichen Anforderungen beim Einsatz von Barcode-Scannern gibt es auch eine Vielzahl an Ausführungsvarianten.

- Bezogen auf die Wirkungsweise der Leseinheit (siehe hierzu auch Kapitel 3 „Sensoren“) gibt es drei Arten von Barcode-Scannern (vom heute nicht mehr üblichen Lesestift abgesehen):
 - LED- oder auch CCD-Scanner (Zeilenscanner)
 - Laser-Scanner
 - Kamerabasierte CCD-Scanner (bildgebende Scanner)
- Bezogen auf die Mobilität der Scanner können diese unterteilt werden in
 - Stationäre Scanner
 - Mobile Scanner. Diese wiederum in
 - Kabelgebundene Geräte
 - Kabellose (mobile) Geräte

Zur Auswahl eines geeigneten Scanners müssen mindestens folgende Informationen bekannt sein:

- Einsatzbedingungen
- Codeart, bzw. Codearten, die zu lesen sind
- Modulstärke (Strichstärke des schmalen Barcodestrichs)
- Größe des bzw. der Codes
- Leseentfernung
- Anzahl der Codes auf dem Objekt
- Position und Ausrichtung des Codes bzw. der Codes
- Lesung bei Stillstand oder in Bewegung und ggf. bei welcher Fördergeschwindigkeit
- Anbindung zum HOST

4.2.1.2.1 Wirkungsweise der Lesesysteme

4.2.1.2.1.1 CCD-Scanner

CCD-Scanner laufen auch unter den Bezeichnungen LED-Scanner bzw. Linear-Imager (Linearer Bildsensor). Hintergrund dieser Bezeichnungen ist:

- Zum Scannen muss der Barcode durch Leuchtdioden (LED) ausgeleuchtet werden.
- Die schwarz-weißen Linien des Barcode reflektieren das Licht mit unterschiedlicher Helligkeit auf den Linear-Imager. Dies ist ein CCD-Zeilensensor (siehe Kap. 3.5.3.1 Zeilensensor / Zeilenkamera).

Das Ausleuchten ist nur aus einem geringen Abstand möglich. Abhängig von einigen Parametern, wie z.B. Stärke der LED, variiert der Abstand zwischen wenigen Zentimetern und einem halben Meter.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relativ kostengünstig ▪ Einfache Anwendung ▪ Relativ hohe Auflösung ▪ Schnelle Scanrate ▪ Ohne bewegliche mechanische Bauteile ▪ Auch für raue Arbeitsbedingungen geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relativ geringer Leseabstand ▪ Die Länge des Barcodes ist sehr begrenzt. (weniger als vier Zoll) ▪ Es können nur 1D-Codes gelesen werden.

4.2.1.2.1.2 Laserscanner-Arten

Der Laserscanner benötigt kein LED zum Ausleuchten des Barcodes. Er beleuchtet den Barcode mit einem oder mehreren Laserstrahlen. Der Laserstrahl wird im Laser-Scanner erzeugt und durch einen oszillierenden Spiegel (oder ein anderes bewegliches optisches System) mit hoher Geschwindigkeit linienförmig über den Barcode geführt. Das vom Barcode unterschiedlich reflektierte Licht wird von einem Fotodetektor erfasst und in analoge elektrische Signale umgewandelt.

Nach dem Verlauf der Laserlinien können drei Arten von Laserscannern unterschieden werden:

▪ **Lineare Laserscanner**

Der bewegliche Laserstrahl bildet eine einzelne Linie. Der Barcode muss daher immer so ausgerichtet sein, dass alle Teile des Barcodes mit dieser einzelnen Linie erfasst werden.



▪ **Raster-Laserscanner**

Der Scanner projiziert mehrere übereinander angeordnete parallele Linien auf den Barcode, die damit einen Bereich abdecken. Zum vollständigen Auslesen des Barcodes muss aus dieser Anzahl an Linien nur eine Linie den ganzen Barcode erfassen. Gegenüber dem linearen Scanner hat das folgende Vorteile:



- Die Ausrichtung des Barcodes ist nicht so wichtig.
- Kleinere Schäden im Barcode können rekonstruiert werden

▪ **Omnidirektionale Laserscanner**

Über das Spiegelsystem werden mehrere Linien erzeugt, die nicht parallel zueinander angeordnet sind, sondern in versetzten Winkeln. Vorteile dieses Systems sind:



- Die Ausrichtung des Barcodes ist überflüssig; es ist egal, ob der Barcode waagrecht, senkrecht oder diagonal liegt.
- Es können nicht nur reine 1D-Codes sondern auch gestapelte Codes (z.B. PDF417) gelesen werden, allerdings keine Matrix-Codes.
- Eingerissene oder beschädigte Barcodes können von der Decoder-Software noch besser rekonstruiert werden.

Im Vergleich zu CCD-Codes haben Laser-Scanner folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Längere Barcodes können gelesen werden ▪ Lesen aus großer Entfernung ist möglich; mit omnidirektionalen Scannern können z.B. Pakete in hohen Regalen vom Gabelstapler aus erfasst werden. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wegen der beweglichen Teile ist der Laserscanner weniger verschleißfest. ▪ Die Lichtquelle hat eine geringere Lebensdauer als LED. ▪ Die Kosten sind höher

4.2.1.2.1.3 Kamerabasierte Scanner

Die kamerabasierten Scanner laufen auch unter den Bezeichnungen 2D-Scanner, Imager oder auch Area Imager. Von der Wirkungsweise sind die 2D-Scanner verwandt mit den CCD-Scannern. Sie sind jedoch nicht mit einem Zeilensensor ausgestattet, sondern mit einem Flächensensor (siehe Kapitel 3.5.3.2 Flächensensor / Bildsensor). Als Sensoren werden aus Kostengründen häufig monochrome Fotosensoren eingesetzt (z.B. CCD oder CMOS), es gibt aber auch 2D-Scanner für Farbaufnahmen.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nicht auf 1D oder Stapelcodes beschränkt, auch Matrixcodes können gelesen werden sowie DPM (siehe Kap. 4.2.1.1 unter „Bumpy-Codes“) ▪ Wegen Omnidirektionalem Erfassen müssen Codes nicht ausgerichtet werden. ▪ Keine beweglichen Spiegeloptiken, daher robust und platzsparend 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relativ teuer

4.2.1.2.2 Stationäre und mobile Scanner

Barcodes in Form von Balken oder Punkten (1D- oder 2D-Codes) ermöglichen eine einfache Kennzeichnung und kostengünstige Identifikation von Objekten. Die Identifikation kann mit Hilfe stationärer oder mobiler Scanner erfolgen.

4.2.1.2.2.1 Stationäre Scanner

Im Zusammenhang mit stationären Scannern findet man auch oft die Begriffe „Einbauscanner“ und „Präsentationsscanner“. Beide Bezeichnungen stehen i. d. R. im Zusammenhang mit der Verwendung im Handel / Einzelhandel als Scanner im Kassensbereich. Die Begriffe sind aber nicht eindeutig definiert.

- Präsentationsscanner sind mit einem Näherungsschalter ausgestattet. Zum Scannen wird das zu identifizierende Objekt mit dem Barcode vor den stationären Scanner gehalten, d. h. es wird ihm präsentiert. Dadurch wird der Scanvorgang automatisch ausgelöst. Der Scanner muss also nicht permanent an sein.

Präsentationsscanner gibt es in den unterschiedlichsten Ausführungen.

- Sie können auf einem Tisch o. ä. aufgestellt sein, sie können aber auch fest an der Wand, der Decke, oder einem Gerüst montiert sein.
- Es können Einbauscanner sein.
- Es können Handscanner sein, die mit Hilfe einer speziellen Halterung zum stationären Präsentationsscanner werden. Diese Halterung kann gleichzeitig Basisstation sein, die weitere Funktionen beinhalten kann:
 - Sie kann die Funktion des Akku-Ladegerätes für den Handscanner beinhalten.
 - Sie kann z.B. über Funk mit den Handscanner kommunizieren und die Daten über Kabel an den übergeordneten Rechner weiterleiten.
- Einbauscanner ähneln den Präsentationsscannern. Wie der Name aber bereits sagt, sind sie fest in einen Schrank oder einen Tisch (z.B. im Kassentisch) eingebaut. Sie finden ihre Verwendung bei einem besonders hohen Warendurchsatz.

Während bei Präsentationsscannern für den Kassensbereich auch Wert auf das Design gelegt wird, liegt der Schwerpunkt bei Barcodescannern für die Anwendung in Industrie und Logistik i. d. R. eher auf der Robustheit der Ausführung.

In Industrie und Logistik werden stationäre Scanner noch immer hauptsächlich im Zusammenhang mit fördertechnischen Systemen eingesetzt. Die Scanner erfassen die Barcodes des Förderguts im Durchlauf, geben die Daten an den Rechner weiter und veranlassen damit die vollautomatische Steuerung der Fördertechnik. Inzwischen gibt es aber Anwendungsfälle in allen Bereichen des innerbetrieblichen Materialflusses, angefangen vom Wareneingang, über die Vereinzelung, bzw. Umpalettierung, die Kommissionierung bis zum Warenausgang und die Verladezone.

Die eingesetzten stationären Barcodescanner sind noch überwiegend Scanner mit Lasertechnologie, insbesondere wenn Barcodes aus größeren Entfernungen gelesen werden sollen. Bei der Auswahl des für den Anwendungsfall optimalen Scanner-Systems müssen die Merkmale der jeweiligen Scanner-Optik beachtet werden. Da beim stationären Scanner die Entfernung zum zu identifizierenden Objekt weitgehend fix ist und nicht von einem Bediener kurzfristig angepasst werden kann, sind der Leseabstand und die Schärfentiefe wichtige Kriterien.

- Der Leseabstand ist die Entfernung des Scanners zum Barcode
- Die Schärfentiefe (Tiefenschärfe) beschreibt den Bereich zwischen minimalem und maximalem Leseabstand, in dem der Scanner liest.

Inzwischen finden aber auch vermehrt die teureren kamerabasierten Scanner Verwendung.

Zwar gibt es mittlerweile auch stationäre Scanner mit dynamischer Fokusverstellung, im ersten Ansatz können die Scanner aber in folgende Gruppen unterteilt werden:

- Short Range Scanner für minimale Leseentfernung
- Medium Range Scanner für mittlere Leseentfernung
- Long Range Scanner für große Leseentfernung
- 2D Code Leser

4.2.1.2.2.2 Mobile Scanner

Mobile (tragbare) Scanner werden überall dort eingesetzt, wo das manuelle Einscannen von Barcodes erforderlich oder zweckmäßig ist. Dies ist z.B. in intralogistischen Systemen überall dort der Fall, wo die zu erfassenden Objekte nicht zu einem stationären Scanner gefördert werden, sondern Bedienungspersonal sich mit einem Datenerfassungsgerät zu den Objekten bewegen muss. Dies kann z.B. ein Gabelstapler-Fahrer im Palettenlager sein, oder Kommissionierer im Kommissionierlager.

Entsprechend der Vielfalt der unterschiedlichsten Einsatzzwecke wird auf dem Markt auch ein entsprechend breites Spektrum an Lösungsmöglichkeiten für das mobile Scannen angeboten. Dies reicht vom einfachen Barcodescanner für Standardcodes über robuste 1D- und 2D-Barcodescanner für den industriellen Einsatz bis zum PDA / Handheld-Terminal mit Scanfunktion. Wichtige Unterscheidungsmerkmale sind:

- Möglichkeiten, bestimmte Symbolgien zu erfassen.
Bei der Auswahl sollte nicht nur beachtet werden, dass die Geräte die aktuell relevanten Codes lesen können; auch die zukünftig zu erwartenden Symbolgien sollten mit in die Überlegungen einbezogen werden.
- Scanbereich
Wenn es darum geht, Barcodes auf relativ große Entfernungen sicher zu lesen, ist der Scanbereich ein wichtiges Auswahlkriterium. Dies ist insbesondere im Lager häufig gegeben, wie z.B. das Lesen von Codes in hohen Regalen, das Lesen vom Gabelstapler aus, usw.
- Art der Datenübertragung an ein übergeordnetes System.
Dieses übergeordnete System kann ein PC sein, es kann aber z.B. auch eine Steuereinheit, eine Waage, oder eine Volumenmeseinheit sein. Die Datenübertragung kann kabelgebunden oder kabellos erfolgen:
 - Kabelgebundene Barcodescanner
Der Scanner ist direkt mit dem übergeordneten System über Kabel (USB) verbunden. Diese Verbindungsart ist zuverlässig und sicher gegen Fremdzugriffe. Nachteilig ist der durch die Kabellänge begrenzte Aktionsradius. Auch das Hantieren mit dem Kabel kann als lästig empfunden werden.
 - Kabellose Barcodescanner
Die kabellose Datenübertragung erfolgt über Funk (siehe auch Kap. 2.4.2.3.2 Datenfunk). Die üblichen Übertragungsstandards sind Bluetooth oder WLAN. Für die Datenübertragung wird eine Funkverbindung vom Scanner zu einer Basisstation aufgebaut. Diese ist über Kabel mit dem übergeordneten System verbunden.
Kabellose Barcodescanner sind mit einem Akku ausgestattet. Die Basisstation ist gleichzeitig das Akkuladegerät.
Die meisten kabellosen Geräte verfügen über einen Pufferspeicher. Dieser ermöglicht es, eine bestimmte Anzahl an Scans durchzuführen und zu speichern, ohne dass eine Funkverbindung zur Basisstation besteht. Die gespeicherten Daten können zu einem späteren Zeitpunkt an das System übertragen werden.
- Ausfallsicherheit, Schutzklasse, Robustheit,
Die Ausfallsicherheit kann ein wichtiges Kriterium sein, insbesondere wenn die Lesegeräte in einem rauen Arbeitsumfeld eingesetzt werden sollen. Die Barcodeleser sind dort evtl. Staub, Feuchtigkeit, Schwingungen, Stürzen oder anderen Belastungen ausgesetzt. Dementsprechend müssen die Geräte robust gebaut sein und über eine hohe Schutzklasse verfügen.

- Benutzerfreundlichkeit
Der Barcodescanner muss von dem Bedienungspersonal ggf. über den ganzen Arbeitstag hin getragen werden. Dabei kann bei einem kabelgebunden Gerät das Kabel lästig werden (s. o.). Aber auch das Gewicht und die Abmessungen des Gerätes können sich negativ auswirken:
 - Scanner mit hohem Gewicht führen auf Dauer zu einer hohen Belastung.
 - Große Scanner beeinträchtigen die Bewegungsfreiheit.
- Bauform
 - Handscanner in Pistolenform
Im industriellen Einsatz und der in der Logistik sind Handscanner in Pistolenform die üblichen Lesegeräte. Der „Pistolengriff“ eignet sich gut zum Scannen großer Artikelmenen.
Neben den PDA gibt es auch Barcode-Scanner in Kombination mit einem Display. Dies ermöglicht eine einfache Rückmeldung des Scanvorgangs.
Nachteilig ist, dass beim Arbeiten immer eine Hand belegt ist. Werden zur Ausführung einer Tätigkeit beide Hände benötigt, muss der Scanner abgelegt werden.
Das Gewicht von Handheld-Terminals kann 500 bis 1000 Gramm betragen.
 - Handschuhscanner und Ringscanner
Der wesentliche Vorteil dieser sogenannten Wearables ist, dass der Bediener immer beide Hände frei hat. Außerdem sind die Geräte relativ leicht. Wearables gibt es mittlerweile auch mit Display.

4.2.2 RFID-Systeme (Radio-Frequency- Identification)

RFID ist ein Überbegriff für Identifikationssysteme, die hochfrequente Funkwellen nutzen. Merkmal eines RFID-Systems ist, dass die Informationen zur Identifikation (sowie ggf. weitere Informationen) auf einem elektronischen Datenspeicher (Transponder) abgelegt sind. Die Kommunikation zwischen Transponder und Leseeinheit (ggf. Schreib-Leseeinheit) erfolgt drahtlos über Wellen im Radiofrequenz-Bereich.

Unter dem Begriff „RFID“ gibt es vielfältige Varianten unterschiedlicher Technologien.

4.2.2.1 *Aufbau eines RFID-Systems*

Kernstück eines RFID-Systems ist der Transponder als Informationsträger. Für die Übertragung der Informationen und ggf. der Energie ist mindestens noch ein Lesegerät erforderlich. RFID-Systeme gibt es in verschiedenen Frequenzbereichen. Voraussetzung für die Kommunikation von RFID-Reader und RFID-Transponder ist, dass beide Komponenten kompatibel sind.

4.2.2.1.1 Transponder

Die Bezeichnung „Transponder“ ist eine Abkürzung aus dem Englischen und beinhaltet die Begriffe „Transmitter“ und „Responder“, also Sender und Antwortgeber. Etikettenförmige Transponder laufen auch unter den Bezeichnungen „RFID-Tags“ und „RFID-Etiketten“, wobei inzwischen die Begriffe „Transponder“ und „Tag“ unabhängig von der Bauform synonym verwendet werden.

Transponder bestehen üblicherweise aus einem Mikrochip und einer Kopplungseinheit. Je nach Technologie der Kopplung (in der Regel induktiv oder auch elektromagnetisch) kann diese Kopplungseinheit eine Spule oder eine (ggf. spulenförmige) Antenne sein.

Jeder Transponder enthält einen oder mehrere Nur-Lese-Speicher (ROM). Darin wird eine einzigartige Identifikationsnummer abgelegt, die i. d. R. auf internationalen Standards basiert. Dies erfolgt bei der Herstellung, oder in einem separaten Programmiervorgang. Es können auch komplexe Datensätze gespeichert werden, die z.B. Informationen enthalten über den Hersteller, Objektklasse und Seriennummer des entsprechenden Produktes.

Transpondern können nach zwei Kriterien unterschieden werden:

- Zum einen in passive, semipassiv und aktive Transponder.
- Zum anderen in nicht beschreibbare und in wiederbeschreibbare Transponder.

Passive, semipassiv und aktive Transponder:

- Passive und semipassiv Transponder
 - Passive Transponder haben keine eigene Stromversorgung. Zur Kommunikation müssen die passiven Transponder von außen, d. h. durch die Schreib- / Leseinheit angeregt werden. Passive Transponder arbeiten nur auf kurze Distanzen.
 - Semipassiv Transponder nutzen eine kleine integrierte Batterie, die den Chip im Transponder zusätzlich mit Energie versorgt. Der Transponder kann dadurch auch bei größeren Reichweiten verwendet werden.
- Aktive Transponder
Aktive Transponder haben eine Batterie, oder sind an ein Stromnetz angeschlossen. Sie haben eine größere Kommunikationsreichweite und eine größere Speicherkapazität.

Nicht beschreibbare und in wiederbeschreibbare Transponder:

- Nicht beschreibbare Transponder
Bei diesen Transpondern sind die Informationen nur lesbar.
- Wiederbeschreibbare Transponder
Diese Transponder sind beschreib- und lesbar.

Wiederbeschreibbare Transponder können beim Start eines Prozesses alle relevanten Produktdaten enthalten. Beim Passieren von einzelnen Stationen innerhalb des Prozesses können die jeweiligen Daten automatisch ausgelesen und ergänzt werden. Dadurch wird der gesamte Prozess dokumentiert.

RFID-Sensoren sind eine Kombination aus Transponder und Sensoren. Durch die Kombination mit Sensoren können Umwelteinflüsse (z.B. Temperatur, Schwingungen usw.) erfasst und auf dem Transponder dokumentiert werden.

4.2.2.1.2 RFID-Lesegeräte bzw. RFID-Schreib-/ Lesegeräte (RFID-Reader)

RFID-Lesegeräte bzw. RFID-Schreib-/ Lesegeräte werden auch RFID-Reader genannt. Ein RFID-Reader besteht aus:

- Einer Antenne (auch Kopplungseinheit genannt), die Anfragen an den Transponder sendet und von diesem Daten empfängt. Diese Antenne kann in den Reader integriert sein, oder separat angeordnet sein und mit dem Reader über eine Leitung verbunden sein.
- Einer Decodier- und Auswerteeinheit, mit der empfangene Daten ausgewertet und in das gewünschte Zielformat decodiert werden.
- Diverse Schnittstellen, (z.B. Serielle Schnittstelle, Ethernet-Schnittstelle usw.) über die die Daten weitergeleitet werden können, wie z.B. an Computer, Steuerung, Cloud usw.

Die RFID-Reader erzeugen elektromagnetische Wellen, wobei die unterschiedlichen RFID-Systeme innerhalb verschiedener Frequenzbänder arbeiten (s. Kap. 4.2.2.2). Mit dem Magnetfeld in der speziellen Frequenz können sie einen entsprechenden Transponder identifizieren und seine Daten auslesen. Die Bauform der Lesegeräte wird hauptsächlich durch die Größe und Form der Antenne bestimmt.

Bezüglich der Nutzungsmöglichkeiten können die RFID-Reader unterteilt werden in mobile und stationäre RFID-Reader.

- Mobile RFID-Reader (Handheld RFID-Reader)
In mobilen RFID-Readern sind die Einheiten (Lesegerät, Kopplungseinheit, Rechner) in einem Gehäuse integriert. Es sind handliche Lesegeräte, die keine permanente Stromversorgung benötigen. Die ausgelesenen Daten können temporär abgespeichert werden, um sie zu einem späteren Zeitpunkt an das übergeordnete Rechnersystem zu übertragen. Dies kann über die Basisstation (Dockingstation) oder Wi-Fi erfolgen.
- Stationäre RFID-Reader
Zu den stationären RFID-Readern zählen alle Systeme, bei denen der (Schreib-) Lesekopf fest verankert ist und die zu identifizierenden Objekte dem Erfassungsbereich des RFID-Systems zugeführt werden. Dabei können Kopplungseinheit und Lesegerät räumlich voneinander getrennt sein. Beispiele hierfür sind Leseköpfe, die in ein förder technisches System eingebettet sind, RFID-Gate-Reader und RFID-Tunnelleser (siehe auch Kapitel 4.2.2.5 ff).

4.2.2.2 RFID-Frequenzen

Für die Datenübertragung per RFID gibt es mehrere festgelegte Frequenzbereiche für unterschiedliche Anwendungen. Die Frequenzen und Frequenzbereiche sind teilweise länderspezifisch. Die RFID-Systeme mit den unterschiedlichen Frequenzbereichen verlangen teilweise unterschiedliche technische Lösungen. Sie unterscheiden sich auch in anderen Parametern, wie z.B. Lesebereich, Störanfälligkeit, Einführungskosten.

Nachfolgend eine grobe Übersicht über die Frequenzbänder und deren Nutzung:

- Niederfrequenzbereich, LF (Low Frequency) 125 - 148 KHz
LF-Systeme zeichnen sich aus durch kurze Lesebereiche, langsame Lesegeschwindigkeit und niedrige Kosten. Eine Anwendung mit passiven Transpondern ist z.B. die Identifikation von Tieren.
- Hochfrequenzbereich, HF (High Frequency) 13,56 MHz
Lesebereiche von HF-Systemen sind ähnlich wie bei LF. Die meisten Anwendungen liegen in Bereich weniger Zentimeter, obwohl mit einer großen Tag- und Reader-Antenne größere Entfernungen möglich sind. Anwendungen mit passiven Transpondern sind z.B. in Bibliotheken und zur Textilidentifikation.
- Ultrahochfrequenzbereich, UHF (Ultra High Frequency) Deutschland 868 MHz, USA 915 MHz.
Der Lesebereich beträgt mehrere Meter. Passive Transponder werden z.B. im Bereich der Logistik zur Identifikation von Paletten eingesetzt.
- Mikrowellen- Frequenzbereich, SHF (Super High Frequency) 2.45 - 5.8 GHz
Großer Lesebereich, aber relativ teuer. Eine Anwendung mit aktiven Transpondern ist z.B. die Identifikation von Fahrzeugen in Durchfahrten.

4.2.2.3 RFID-Pulkerfassung

Der Begriff „Pulkerfassung“ steht für Systeme, bei denen mit einem Lesegerät nahezu gleichzeitig mehrere Transponder erfasst werden können. Die RFID-Technologie zur Pulkerfassung wurde speziell für den Frequenzbereich UHF entwickelt. Mit HF-RFID können wegen des kleineren Lesefeldes nur wenige Tags gleichzeitig erfasst werden.

Die Pulkerfassung ist besonders interessant für die Bereiche Wareneingang, Warenausgang und für die Inventur. So können z.B. mehrere Colli mit unterschiedlichen Artikeln auf einer Palette in einem Durchgang erfasst werden. Es muss allerdings bekannt, wie viele Artikel sich auf der Palette befinden, um sicher zu sein, dass alle Artikel erfasst wurden.

Da bei der Pulkerfassung viele Transponder im Lesebereich des Readers gleichzeitig aktiviert werden, muss verhindert werden, dass alle gleichzeitig antworten. Hierfür gibt es unterschiedliche Anti-Kollisionsverfahren, die es ermöglichen die einzelnen Identifikationsnummern innerhalb sehr kurzer Zeitfenster hintereinander zu separieren.

4.2.2.4 Einschränkungen des RFID-Einsatzes

Die Funktion von RFID-Systemen kann durch äußere Einflüsse beeinträchtigt werden. Dabei sind die Einflüsse auf die Technologien mit den verschiedenen Frequenzbereichen teilweise unterschiedlich:

- Bei UHF-RFID werden die elektromagnetischen Wellen durch Flüssigkeiten (z.B. wasserhaltige Materialien) absorbiert, was die Funktion beeinträchtigt. Demgegenüber haben Flüssigkeiten bei LF-RFID und HF-RFID kaum Einfluss.
- Metall stört bei UHF-RFID und bei HF-RFID, da es absorbiert (UHF), bzw. reflektiert (HF). Für die Verwendung auf Metall gibt es spezielle „On-Metal-Tags“.
- Die Ausrichtung von RFID-Transponder zu RFID-Reader sollt möglichst parallel sein. Dies gilt insbesondere für HF-RFID.
- Auch andere Quellen von Funkwellen können die Datenübertragung von RFID-Tags stören.

4.2.2.5 Beispiele für Anwendungen von RFID-Systemen

4.2.2.5.1 RFID in der FTS-Navigation

Eine eindeutige Positionsbestimmung von Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) kann über RFID realisiert werden (siehe auch Teil II.3, Kap. 2.1.3, „Fahrerlose Transportsysteme“). Hierzu werden Transponder als Referenzmarken im Boden angebracht. Diese kommunizieren mit den FTF über elektromagnetische Wellen (RFID-Tag). Jeder Transponder ist eindeutig identifizierbar und kann auch nur innerhalb einer bestimmten Reichweite von einem FTF erkannt werden.

4.2.2.5.2 RFID in der Fördertechnik

In einer Veröffentlichung [KER 1] wird ein sehr flach aufbauender RFID-Lesekopf mit einer Baulänge von 50 cm vorgestellt, der auch zwischen zwei Fördertechnik-Bänder oder zwischen die Rollen von Rollenförderanlagen passt. Die beschriebenen Vorteile für die Anwendung im Rahmen der Fördertechnik liegen in der großen Länge dieses Lesekopfes:

- Toleranzen in der Position der Transponder (z.B. beim Einsatz von Behältern unterschiedlicher Größe auf einer Förderstrecke) können leicht ausgeglichen werden.
- Transponder, die auf einer Förderstrecke in definierter Lage an einer Lesestelle vorbeibewegt werden, können aufgrund der Baulänge des Lesekopfes über eine lange Strecke und damit über eine lange Zeit gelesen werden. „Dadurch können aus dem Transponder Daten gelesen werden, auch wenn dieser mit zehn Metern pro Sekunde an der Lesestelle vorbei rast.“

4.2.2.5.3 RFID-Gate

Ein RFID-Gate ist eine Art „Tor“ oder „Schleuse“ das die zu identifizierenden Objekte passieren müssen. Das Gate kann aus einer Art Stele bestehen, an der sich die Objekte vorbeibewegen, es kann aber auch eine Rahmenkonstruktion sein, durch die sich die Objekte durchbewegen.

Im Inneren einer Stele oder Rahmenkonstruktion befindet sich mindestens ein RFID-Reader mit einer Antenne. Um Pulklesungen zu ermöglichen, muss i. d. R. von zwei Seiten gelesen werden können. Dazu sind zwei oder vier Antennen erforderlich. Abhängig von den zu erfassenden Objekten können die Antennen seitlich montiert sein, es gibt aber auch Boden- und Deckenantennen.

Je nach Komplexität der Aufgabenstellung können neben Reader und Antennen zusätzliche Technologien in ein Gate integriert werden. Dies kann ein Rechner sein mit höherer Intelligenz (middleware) zur Aufbereitung der Daten, Monitorausgabe, es können auch unterschiedlichste Sensoren sein, wie z.B. Lichtschranken, Radar, oder Ultraschallsensoren. Die Sensorsignale können erforderlich sein für Richtungserkennung, Geschwindigkeitsmessung usw.

4.2.2.5.4 RFID-Tunnelleser

Die Begriffe RFID-Gate und RFID-Tunnel werden oft synonym verwendet. Es sind auch die Bezeichnungen „RFID-Gate-Tunnel“ und „RFID-Tunnelgate“ zu finden. In der Regel handelt es sich beim RFID-Tunnelleser um eine besondere Bauform der RFID-Gates.

Wesentliches Merkmal des Tunnellesers ist, dass durch die Bauform des Tunnels ein abgeschirmter Lesebereich erzielt wird. Dadurch wird das unerwünschte Lesen von Transpondern in benachbarten Ladeeinheiten verhindert sowie weitere störende externe Einflüsse. Eine weitere Besonderheit ergibt sich aus einem vom Fraunhofer Institut patentierten Prinzip [IFF 1]:

„Im metallisch abgeschirmten Lesebereich werden über das Umschalten zwischen mehreren RFID-Antennen die elektromagnetischen Randbedingungen kontinuierlich verändert. Das Ergebnis ist eine homogene Feldstärkeverteilung im Tunnel-Inneren. Dadurch wird eine vollständige Erfassung großer Mengen passiver Transponder im gesamten Lesebereich ermöglicht. Die räumliche Ausrichtung der Transponder spielt dabei für eine erfolgreiche Detektion keine Rolle.“

4.2.3 Gegenüberstellung von Barcode- und RFID-Systemen

Beide Systeme „Barcode“ und „RFID“ haben ihre Vor- und Nachteile. Es besteht aber grundsätzlich die Möglichkeit, die beiden Systeme zu kombinieren. Durch die Kombination und Verwendung der beiden Methoden sind weitere Probleme lösbar, die mit einer Methode allein nicht angegangen werden könnten.

Vor- und Nachteile der Systeme:

- RFID-Systeme können die Tags innerhalb ihrer jeweiligen Reichweite ohne direkte Sichtlinie lesen, während bei Barcodesystemen zwischen Scanner und Code eine direkte Sichtlinie erforderlich ist.
Auch benötigt RFID keine besonderen Lichtverhältnisse.
- RFID-Systeme verfügen über eine bessere Robustheit und Lesesicherheit als Barcodesysteme. Der Datenaustausch mit dem Lesegerät ist beim Transponder auch bei Verschmutzung oder geringfügiger Beschädigung möglich.
- Mit RFID ist Pulklesung möglich, während ein Barcode-Scanner jeden Code einzeln erfasst. Allerdings wird durch die Einzelerfassung sichergestellt, dass nicht versehentlich mehr Artikel gescannt werden als beabsichtigt.
- RFID bietet die Möglichkeit beschreibbare Transponder einzusetzen, während der Barcode nur gelesen werden kann. Dadurch hat RFID Vorteile bezüglich Rückverfolgbarkeit, in der Qualitätssicherung usw.
- Der RFID-Einsatz kann durch mehrere Einflüsse gestört werden (siehe oben), insbesondere durch Metall und Flüssigkeiten.
Demgegenüber wird ein Barcode nicht einfach aufgrund des Materials oder Inhalts des Artikels unlesbar.
- Die Einführung von RFID-Systemen ist wesentlich kostenintensiver als die Einführung von Barcodesystemen.
- Bei RFID-Systemen sind Standards nur teilweise festgelegt, während die gängigen Barcodes international geregelt sind.

4.2.4 Weitere AutoID- Technologien

Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale sind die Arten der unterschiedlichen Informationsträger sowie die dazugehörigen unterschiedlichen Sensorprinzipien

4.2.4.1 *Magnetstreifenkarte*

Magnetstreifenkarten (auch als Magnetkarten bezeichnet) wurden ursprünglich für die Anwendung als Bankkarten entwickelt. Sie haben daher i. d. R. das Format von Scheck- bzw. EC-Karten. Aus

Gründen der Sicherheit in der Anwendung werden reine Magnetstreifenkarten heute aber nur noch unter weniger sicherheitsrelevanten Einsatzbedingungen verwendet (z.B. für Park-Tickets in Parkhäusern, Eintrittskarten mit automatischer Einlasskontrolle, usw.). Bei hohen Anforderungen an die Fälschungssicherheit (z.B. bei Einsatz als Bankkarte oder Krankenkassenkarte usw.) werden heute die Magnetstreifenkarten mit einem Chip kombiniert (siehe unten „Chipkarte“).

Magnetstreifenkarten haben auf der Rückseite einen Magnetstreifen. Dieser besteht aus magnetischem Metalloxid. Auf dieser Magnetspur können Daten in drei Spuren aufgezeichnet bzw. gelesen werden (Spur 1 und 2 nur für den Lesebetrieb, Spur 3 zum Beschreiben und Lesen). Die Speicherkapazität des Magnetstreifens beträgt ca. 1024 Bit.

Das Auslesen und ggf. das Beschreiben erfolgt mittels Magnetkartenlesegeräten. Dabei gibt es zwei Verfahren:

- Durchzuglesegeräte
- Platzlesegeräte

Magnetstreifenkarten aus Papier sind so preisgünstig herzustellen, dass sie auch für einmalige Nutzung als Einlasskarten verwendet werden können.

4.2.4.2 Chipkarten

Chipkarten (oft auch als Smartcard bezeichnet) werden häufig mit dem Datenträger „Magnetstreifen“ kombiniert. Das primäre Speichermedium ist aber der Chip. Es gibt verschiedene Arten von Chipkarten. In Abhängigkeit von der Art des eingebauten Chips können Chipkarten unterschieden werden in:

- Speicherchipkarten
Der Speicher kann nur ausgelesen oder nur beschrieben werden.
- Prozessorchipkarten
Diese Chips haben einen eigenen Mikroprozessor. Dieser ermöglicht es, Daten auf der Karte über kryptographische Verfahren vor fremdem Zugriff zu schützen.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Art der Schnittstelle nach außen. Danach können Chipkarten unterteilt werden in:

- Kontaktbehaftete Chipkarten
- Kontaktlose Chipkarten (RFID-Chipkarten / Transponderkarten)

4.2.4.3 Optische Zeichenerkennung (OCR)

OCR steht für Optical Character Recognition. Die optische Zeichenerkennung (auch Klarschrifterkennung oder Texterkennung) ist ein Verfahren, welches es ermöglicht, Klarschrift als optisches Identifikationsmerkmal von Maschinen auslesen zu lassen. Ursprünglich wurden für OCR spezielle Schrifttypen entwickelt, die eine Verwechslung von Buchstaben oder Zahlen vermeiden sollten. Inzwischen können auch andere Texte maschinell gelesen werden.

Vorteil des Verfahrens ist, dass die Informationen auch von Menschen gelesen werden können.

Nachteilig sind die komplexen und dadurch kostenintensiven Lesegeräte.

4.2.4.4 Erkennung biometrischer Eigenschaften

Der Begriff „Biometrie“ kommt aus dem Griechischen. Sinngemäß bedeutet es „Messung an Lebewesen“. Biometrische Erkennungsverfahren werden zur automatischen Personenidentifikation eingesetzt. Dazu werden unverwechselbare individuelle Eigenschaften des menschlichen Körpers durch besondere Sensoren oder Scanner erfasst. Die Messdaten werden anhand von hinterlegten Daten ausgewertet. Die bekanntesten Verfahren sind z.B. die Erkennung von

- Fingerabdruck
- Iris oder Netzhaut
- Stimme, Sprache

4.2.4.5 Elektronische Etiketten

Elektronische Etiketten sind unter verschiedenen Namen bekannt. Dazu gehören die Bezeichnungen „digitale Regaletiketten“, „elektronische Preisschilder“, die englische Bezeichnung „Electronic Shelf Labels“, kurz ELS oder „E-Paper-Displays“.

Die Funktion elektronischer Etiketten basiert auf der E-Ink-Technologie. Die „elektronische Tinte“ besteht aus Mikrokapseln mit farbigen Partikeln. Diese sind positiv oder negativ geladen und wandern je nach Polarität des elektrischen Feldes an die Oberfläche der Mikrokapseln. Dadurch werden sie sichtbar. E-Ink hat die Eigenschaft, dass für die Anzeige nur Strom verbraucht wird, wenn die Partikel neu angeordnet werden sollen, um die angezeigte Information zu verändern. Es ist somit keine konstante Stromversorgung erforderlich. Für die Anwendung in einem Display ist daher nur eine Batterie erforderlich. Diese kann aber eine Lebensdauer von mehreren Jahren haben, auch bei mehreren Aktualisierungen täglich.

Das Verfahren „Elektronische Etiketten“ ist ein kabelunabhängiges Informationssystem. Dazu gehören folgende Komponenten:

- Ein funkbasiertes Kommunikationssystem für die Datenübertragung zwischen den elektronischen Etiketten und einem Access-Point. Je nach System kann die Funkübertragung über UHF (868 MHz) oder WLAN (2,4 GHz) erfolgen. Der Access-Point ist i. d. R. über Kabel mit dem übergeordneten Rechner verbunden.
- Die elektronischen Etiketten.
Abgesehen von evtl. Zusatzfunktionen (siehe unten) enthalten diese:
 - den Bildschirm,
 - eine Empfangseinheit für die Kommunikation mit dem Server.
 - Sie können auch eine Sendeeinheit für Rückmeldungen enthalten.
- Eine Verwaltungssoftware
 - zur Aufbereitung der Daten für die Elektronischen Etiketten.
 - Verwalten der Labels und deren Status (Aufgaben, Batteriestatus, Fehler usw.).

Neben dem Ersatz von Papieretiketten mit der zusätzlichen Möglichkeit, angezeigte Informationen in Echtzeit zu aktualisieren, können ELS für ergänzende Funktionen erweitert werden:

- Auf den Displays können QR- und Barcodes abgebildet werden, die mit einem Scanner ausgelesen werden können.
- ESL kann mit RFID kombiniert werden.
- In den Rahmen der Displays können individuell programmierbare Multifunktionstasten integriert werden, über die z.B. Entnahmen aus dem Regalfach quittiert, oder weitere Informationen abgerufen werden können.
- In die ELS können farbige LED integriert werden, so dass die ELS leicht zu lokalisieren sind.

Einsatz von ELS in der Logistik

- Digitale Kennzeichnung von Lagerplätzen und / oder Ladungsträgern.
- Pick by Light:
Sind die Displays mit Multifunktionstasten und LEDs ausgestattet, können sie die Funktion von Anzeigemodulen für Pick by Light übernehmen (siehe Teil II.4, Kap. 3.1.1.3 ff „Überwiegend stationär eingesetzte Informationssysteme“). Eine Lösung hierfür ist z.B.:
 - Über die LED-Anzeige am Display ist der Entnahmeort von weitem erkennbar.
 - Im Display kann der Artikel und die Entnahmemenge angezeigt werden.
 - Über Multifunktionstaste wird nach der Entnahme die Kommissionierung quittiert.
- Ergänzend zum reinen Pick by Light können über mehrfarbige LEDs noch speziellere Kommissionierungsvorgänge gesteuert werden. Dazu gehört z.B. das Kommissionieren eines bestimmten Teils mehrerer Artikel nacheinander in vorgegebener Reihenfolge (sequenzielles Picking) und es kann über eine definierte Farbe signalisiert werden, wenn der Kommissionierungsvorgang abgeschlossen ist.

Vorteile Elektronischer Etiketten

- Umweltfreundlich
 - Die ELS sind wiederverwendbare, frei konfigurierbare Etiketten, die beliebig oft beschrieben werden können.
 - Sehr geringer Stromverbrauch.
- Unkomplizierte Änderungen der angezeigten Informationen in Echtzeit
- Ortung / Identifikation der Lagerplätze anhand von Farbmarkierungen.
- Kontrolle über die Bestände
- Robuste Konstruktion
 - Wasser- und staubdicht
 - Relativ stoßfest
- Attraktive Alternative zu RFID-Tags.
Die auf dem Etikett angezeigten Informationen können über Funkverbindung mit einem übergeordneten Rechner (z.B. ERP) oder vor Ort mit einem mobilen Handhelds jederzeit abgerufen bzw. aktualisiert werden.

Nachteile Elektronischer Etiketten:

- Hohe Investitionskosten bei Erstimplementierung

5 POSITIONSERFASSUNGSSYSTEME /LOKALISIERUNGSSYSTEME

Viele Technologien im Hinblick IoT (Internet der Dinge) basieren auf einer Möglichkeit zur drahtlosen Positionsbestimmung von mobilen Objekten und / oder Personen. Dazu gehören z.B.:

- Verfolgung und Rückverfolgung (Tracking & Tracing) von Objekten (z.B. Paketverfolgung bei der Post, oder Verfolgung von Paletten, die durch ein Lager bewegt werden).
- Augmented Reality (Erweiterte Realität) z.B. kann bei Pick by Vision durch ein Lokalisierungssystem die Position eines Kommissionierers und seine aktuelle Blickrichtung ermittelt werden, so dass relevante Objekte der Umgebung (z.B. Lagerfach) durch Markierungen in der Datenbrille angezeigt werden können.
- Navigation von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) in geschlossenen Räumen.
 - In der Robotik: Bestimmung der Position und Orientierung eines Roboters.
 - Navigation, Positionierung und Warenverfolgung im Freien (Outdoor-Bereich). Hierfür ist GPS ein geläufiges System. Im Indoor-Bereich kann GPS aber nicht eingesetzt werden.

Entsprechend der Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten ist die Vielfalt der Anforderungen an die Positionserfassungssysteme und damit auch die Vielfalt an Lösungsmöglichkeiten. Die Technologien für optische Lokalisierungssysteme sind weitestgehend in den Kapiteln 3.5.2 und 3.5.3 beschrieben. Wesentliche Techniken zur Navigation von FTF sind in Teil II.3 „Fördertechnik“, Kap. 2.1.4.2 „Navigationssysteme / Navigationstechniken“ beschrieben.

Im Folgenden werden schwerpunktmäßig Lösungsmöglichkeiten für funkbasierte Indoor-Lokalisierungssysteme beschrieben

5.1 Grundlagen der Mess- und Positionierverfahren

Grundlage der Positionserfassung ist ein System aus Sendern und Empfängern, wobei die Signale empfängerseitig drahtlos empfangen werden. Je nach Technologie können zwei Lokalisierungsverfahren unterschieden werden:

- Serverseitige Ortung:
Sender ist das mobile Zielobjekt, Empfänger sind stationäre Basisstationen (Referenzpunkte). Diese übermitteln die Signale an einen Server (ggf. kabelgebunden). Dort wird die Position berechnet und die Daten werden an ein übergeordnetes System (z.B. Warenwirtschaftssystem) weitergeleitet.
Diese Technologie findet vor allem beim Tracking Verwendung.
- Clientseitige Ortung:
Die Basisstationen senden Signale. Empfänger ist ein mobiles Endgerät (z.B. Smartphone) als Zielobjekt. Die Positionsbestimmung wird durch das mobile Endgerät ermöglicht.
Diese Technologie findet vor allem bei der Indoor-Navigation Verwendung.

Für Sender und Empfänger gibt es in der Literatur je nach Technologie und Hersteller viele unterschiedliche Bezeichnungen. Beispiele hierfür sind die Bezeichnungen Beacon (Leuchtfener) für Sender und Access-Points bzw. Nodes (Knoten) für Basispunkte.

5.1.1 Distanzmessung zur Positionsermittlung

Flächendeckende „Lokalisierungssysteme basieren auf der Messung der Entfernung zwischen einem Objekt und einem Bezugspunkt, der Messung des Winkels zwischen einem Objekt und einer Bezugslinie sowie der Erkennung von Mustern“ [IIS 1].

5.1.1.1 *Zeitbasierte Verfahren zur Distanzmessung*

Das Lichtlaufzeit- Verfahren Time of Flight (ToF) ist bereits im Kapitel 3.5.3.4.4 beschrieben. Es gilt im Prinzip nicht nur für Lichtsignale, sondern auch für Funksignale. Funkwellen sind elektromagnetische

Wellen, die nicht wie Schallwellen an ein Medium gebunden sind. Im Vakuum breiten sich Funkwellen mit Lichtgeschwindigkeit aus und sinken ähnlich wie Licht in dielektrischen Medien ab.

Basierend auf der Signal-Laufzeitmessung gibt es verschiedene Verfahren zur Messung von Distanzen mit Licht- oder Funksignalen.

- Time of Flight (ToF)
- Two-Way-Ranging (TWR), auch als Round-Trip-Time-Verfahren (RTT) bezeichnet
- Time Difference of Arrival (TDoA)

Die Laufzeitmessung ist ein indirektes Verfahren zur Positionsbestimmung. Je nach Verfahren wird zunächst eine Zeit gemessen, aus der die Position indirekt mittels Triangulation, Trilateration (siehe Kap. 5.1.3) oder einem anderen Algorithmus abgeleitet werden kann.

5.1.1.1.1 Time of Flight (ToF)

Die Distanzmessung mittels Licht- oder Funksignal kann erfolgen, weil sich das Signal mit der Lichtgeschwindigkeit durch den Raum bewegt, wobei die Lichtgeschwindigkeit eine bekannte Größe ist. Aus der Differenz zwischen Sende- und Empfangszeit kann die Distanz berechnet werden. Voraussetzung hierfür ist, dass eine präzise Zeitsynchronisation zwischen Sender und Empfänger gegeben ist.

5.1.1.1.2 Two-Way-Ranging (TWR)

Im Gegensatz zu ToF, bei dem nur in eine Richtung gemessen wird, wird bei TWR die Laufzeit für den Hin- und Rückweg gemessen. Dadurch wird ein eventueller Synchronisationsfehler kompensiert und die Genauigkeit verbessert. Die Distanz kann wie bei ToF aus der Laufzeit berechnet werden.

Wird bei den beiden Verfahren ToF und TWR die Distanz von drei Orten aus gemessen, kann das Zielobjekt durch Trilateration lokalisiert werden.

5.1.1.1.3 Time-Difference of Arrival (TDoA)

Von einem mobilen Sender werden Signale verschickt, die von mehreren stationären Empfängern in der Nähe empfangen werden. Da die Empfänger unterschiedlich weit vom Sender entfernt sind, kommen die Signale nicht zum gleichen Zeitpunkt bei den Empfängern an. Die Empfänger versehen die Signale jeweils mit einem Zeitstempel. Diese Zeitstempel werden an einen Zentralrechner zur Auswertung weitergeleitet. Unter der Voraussetzung, dass die Empfänger synchron arbeiten, kann der Sender aus den Differenzen der Zeitstempel werden lokalisiert.

Bei diesem Verfahren muss nicht der Sender mit den Empfängern synchronisiert sein, sondern die Empfänger untereinander. Da die Ausbreitung von Funksignalen mit Lichtgeschwindigkeit stattfindet, sind an die Empfänger extrem hohe Anforderungen in Punkto Laufzeit, Zeitbasis und Zeitauflösung gestellt. Nanosekunden entscheiden hier über die Präzision und Auflösung einer Lokalisierung. Zur akkuraten Zeitsynchronisation benötigen die Empfänger eine Kabelanbindung. Der Aufwand für die Infrastruktur ist erheblich.

5.1.1.2 Signalstärkemessung

„Sind Kommunikationsnetzwerke vorhanden, wie z.B. in Form von WLAN-, GSM- und UMTS-Basisstationen in Städten und Gebäuden, können mobile Endgeräte auf Basis einer Feldstärkemessung (RSSI) ihre Position selbstständig bestimmen „ [IIS 1]. Mit diesem Verfahren (RSSI steht für Received Signal Strength Indicator) wird die Signalfeldstärke zwischen Sender und Empfänger bestimmt. Ein gesendetes Signal verliert mit zunehmender Distanz an Stärke, wobei der Effekt der abnehmenden Signalstärke von dem zu durchdringenden Medium (Luft, Steinwände, Glas) abhängig ist. Die Entfernung hängt dann von dem zu durchdringenden Medium ab, der Sendeleistung und der Signalstärke des Empfängers.

5.1.2 Messung des Eingangswinkels Angle of Arrival (AoA)

Grundlage des Verfahrens AoA sind ein Sender und ein oder mehrere Empfänger. Die Empfänger verfügen jeweils über mindestens zwei Antennen, deren Abstand zueinander definiert ist.

Das Verfahren AoA stützt sich auf die Bestimmung des Einfallswinkels des Signals das vom Sender ausgeht und auf mindestens zwei Antennen eines Empfängers trifft. Dieses Signal kommt in den Antennen mit minimalem Phasenversatz an (daher auch die Bezeichnung PDoA für Phase-Difference Arrival). Über die Laufzeitdifferenz der bei den Antennen auftreffenden Welle wird der Winkel zum Sender errechnet.

Werden an zwei Empfängern, deren Abstand zueinander bekannt ist, die Eingangswinkel der Signale gemessen, kann aus diesen Werten mit Hilfe des Triangulationsverfahrens der Sender lokalisiert werden.

5.1.3 Triangulation und Trilateration

5.1.3.1 *Triangulation*

Verfahren zur Positionsbestimmung über Winkelmessung (siehe auch Kap. 3.5.3.4).

Ausgehend von zwei bekannten Bezugspunkten (A und B), deren Abstand zueinander definiert ist, kann in einem zweidimensionalen System die Position eines Zielobjektes Z lokalisiert werden, indem die Winkel ZAB und ZBA z.B. mittels AoA ermittelt werden. Anhand dieses Dreiecks kann die Position von Z über Winkelfunktionen berechnet werden.

In dreidimensionalen Systemen sind mindestens drei Bezugspunkte erforderlich.

5.1.3.2 *Trilateration und Multilateration*

Verfahren zur Bestimmung der Positionskoordinaten eines Zielobjektes durch Messen der Entfernungen (z.B. mittels ToF, TDoA oder Signalstärkemessung) zu mindestens drei bekannten Bezugspunkten im 2D-Modus. In dreidimensionalen Systemen sind mindestens vier Bezugspunkte erforderlich. Bei mehr als drei Entfernungen spricht man von Multilateration.

Sind die Entfernungen zwischen Zielobjekt und den Bezugspunkten bekannt, und werden Kreise um die Bezugspunkte mit den Radien der jeweiligen Entfernung gezogen, liegt das Zielobjekt im Schnittpunkt der Kreise.

5.2 **Funkbasierte Positionserfassung**

Funkbasierte Positionserfassung kann unterschieden werden zwischen

- Punktueller Ortung mit RFID
- Flächendeckender Ortung mit RTLS (Real-Time-Location-System), wobei RTLS ein Echtzeit-Ortungssystem ist.

5.2.1 Punktuelle Ortung mit RFID

RFID (Radio Frequency Identification) ist in erster Linie ein Verfahren zur kontaktlosen Identifikation durch Funkübertragung (siehe Kapitel 4.2.2 ff). Es ist aber auch als Ortungssystem weit verbreitet. Passiert ein mit RFID versehenes Zielobjekt ein Gate, wird es nicht nur identifiziert, sondern es wird auch die aktuelle Position erfasst. Aufgrund der geringen Signalreichweite von RFID ist die Positionsbestimmung auf eine sehr kurze Distanz beschränkt. Für eine flächendeckende Verfolgung müssten sehr viele Gates dicht hintereinander angeordnet werden. Da dies wirtschaftlich nicht sinnvoll wäre, bleibt es i. d. R. bei einer eher punktuellen Positionserfassung.

Die punktuelle Ortung von mobilen RFID-Objekten ist in vielen Fällen ausreichend. Mit der Ortung am Wareneingang, am Warenausgang, oder an einer Schnittstelle zwischen Bereichen kann festgestellt, ob ein Objekt im Lager bzw. Bereich eingetroffen ist, oder das Lager / den Bereich verlassen hat.

Im Rahmen der Navigation von FTS können RFID-Tags die stationären Referenzpunkte sein. Zwischen den Tags navigieren die FTF über Verfahren der Odometrie (siehe Teil II.3, Kapitel 2.1.4.2.2 ff).

Vorteile von RFID sind:

- Das Identifikationssystem ist weit verbreitet und kann zur punktuellen Ortung genutzt werden.
- RFID-Tags sind in der Anschaffung sehr günstig.
- RFID-Systeme verschiedener Hersteller sind meist miteinander kompatibel. Dadurch kann es für unternehmensübergreifende Anwendungsfälle relevant sein.
- Der passive Tag hat keinen Energieverbrauch, nur der Reader.

5.2.2 Flächendeckende Ortungsverfahren mit RTLS

RTLS steht für Real-Time-Location-System (Echtzeit-Ortungssystem). RTLS ist ein Überbegriff für verschiedene Ortungstechnologien. Dazu gehören

- Bluetooth Low Energy (BLE)
- Wireless Local Area Network (WLAN)
- Ultra-Wideband (UWB)

5.2.2.1 *Bluetooth Low Energy (BLE)*

Vorab: Bluetooth wurde bereits in Kapitel 2.4.2.3 ff beschrieben. Dabei handelte es sich in diesem Kapitel um Bluetooth „klassisch“. BLE ist eine Weiterentwicklung von Bluetooth.

„Die Kommunikationsprotokolle Bluetooth und Bluetooth Low Energy haben zwar eine gemeinsame Basis, sind jedoch unterschiedlich und richten sich weder an dasselbe Publikum, noch erfüllen sie dieselben Anforderungen“[ABE1]. Beide kommunizieren auf Frequenzen zwischen 2,4 GHz und 2,483 GHz wie z.B. WLAN. BLE ist aber eher interessant für den industriellen Einsatz:

- Es hat eine relativ große Reichweite.
- Es hat einen geringen Stromverbrauch
- Es hat wettbewerbsfähige Anschaffungskosten.

Die BLE-basierten Systeme für Indoor-Positionierung verwenden als Sender sogenannte „Beacons“ (Leuchtfener). Das sind kleine batteriebetriebene Geräte, die sowohl an stationären Orten in Räumen als auch an mobilen Objekten installiert werden können. Beacons senden in regelmäßigen Abständen Signale aus. Jedes Signal besitzt eine spezifizierte ID aus Zahlen und Buchstaben. Die Signale können über Antennen empfangen werden oder über Smart-Geräte, wie z.B. Tablet oder Smart-Phone. Die Smart-Geräte müssen aber geeignet sein und über eine entsprechende App verfügen.

Die Positionsbestimmung kann über oben genannte Verfahren erfolgen:

- RSSI (Received Signal Strength Indicator) zur raumgenauen Ortung
- AoA (Angle of Arrival) zur wesentlich genaueren, allerdings auch aufwendigeren Lokalisierung. (Mit BLE 5.1 und 360°-Antennen).

Vorteil von BLE gegenüber UWB:

- Weniger Kostenintensiv
- Längere Batterielebensdauer
- Hohe Skalierbarkeit
- Die Positionsbestimmung kann Client-seitig erfolgen

Nachteil:

- Weniger genau in der Ortung
Genauigkeit im Meterbereich bei BLE gegenüber Zentimeterbereich bei UWB;
weitere Einschränkungen z.B. durch architektonisch bedingte Abschirmungen.
- BLE funktioniert im gleichen Frequenzbereich wie WLAN und andere. Das kann zu Instabilitäten führen, welche die Reichweite und Genauigkeit beeinflussen können.

5.2.2.2 Wireless Local Area Network (WLAN) / WiFi

WLAN wurde bereits in Kapitel 2.4.2.3 ff beschrieben. Synonym zur Bezeichnung WLAN wird häufig die Bezeichnung WiFi verwendet. Dabei ist aber WLAN der Überbegriff und WiFi ist die gebräuchlichste Art von WLAN, die nach IEEE zertifiziert ist.

Die Ortung mit WiFi ist ein sehr frühes Verfahren zur Echtzeitortung (RTLS). Mit der Einführung von Bluetooth (BLE) und UWB hat die Ortung mit WLAN aber an Bedeutung verloren. Bei WiFi erfolgte lange Zeit die Positionsbestimmung über die Signalstärkemessung (RSSI) mit den entsprechenden Nachteilen (siehe Kapitel 5.1.1.2).

Wie die anderen funkbasierten RTL-Systeme benötigt WiFi zur Positionsbestimmung mindestens drei Referenzpunkte. Diese werden bei WLAN / WiFi Access-Points genannt. Hersteller von Access-Points implementieren inzwischen zunehmend zeitbasierte Verfahren zur Distanzmessung. Bei WiFi heißen diese:

- Round-Trip Time (RTT), entsprechend Time of Flight (ToF) bzw. TWA
- Fine-Time Measurement (FTM), entsprechend Time-Difference of Arrival (TDoA)

Während bei WiFi-Ortung mit RSSI die Ortungsgenauigkeit bei 5 – 15 m liegt, kann sie mit FTM auf wenige Meter verkürzt werden. Damit kann für viele Anwendungen FTM anstelle von BLE interessant werden, insbesondere wenn die WLAN-Infrastruktur bereits vorhanden ist.

Vorteil:

- Vorhandene Infrastruktur kann ggf. genutzt werden.
- Auch wenn die Ortungsgenauigkeit „gering“ ist, ist sie häufig ausreichend.

Nachteil:

- Geringere Ortungsgenauigkeit als BLE.
- WiFi-Tags sind teurer und weniger effizient als Beacons

5.2.2.3 Ultra-Wideband (UWB)

UWB (Ultra-Wideband / Ultrabreitband) ist keine Frequenz. Es ist eine drahtlose Kommunikation, mit der Daten mit Bandbreiten von über 500 MHz übertragen werden können. Dieses Spektrums ist außerhalb der gängigen Standards (z.B. BLE). Die Kommunikation erfolgt über eine definierte Folge von Impulsen im Nanosekundenbereich. Aufgrund der geringen Leistungsdichte bei der Übertragung können sich die UWB-Signale und die von ihnen verwendeten hohen Frequenzen nur bis zu einer begrenzten Entfernung bewegen und andere Wellen nicht stark stören. UWB ist im Wesentlichen nur im Indoor-Bereich erlaubt.

Zur Lokalisierung eines beweglichen Objektes, muss dieses mit einem entsprechendem Datenträger (UWB-Tag) ausgestattet sein. Ein UWB-Tag kann Sender oder Empfänger sein. Je nach Modell können mit einem derartigen Tag auch zusätzliche Informationen zum Prozessverlauf zu ermittelt werden, wie z.B. Kontrolle von Druck, Feuchtigkeit, Temperatur usw.

Für die genaue Lokalisierung des mobilen Tags sind mindestens drei fest installierte Basisstationen nötig (siehe Trilateration). Bei UWB werden diese mit „Nodes“ (Knoten) oder „Anchor“ (Anker) bezeichnet. Diese Basisstationen sind Referenzpunkte, sowie Sender oder Empfänger.

Je nach Anwendungsfall kann die Positionsbestimmung über Time of Flight, Time-Difference of Arrival oder Angle of Arrival erfolgen.

Vorteile von UWB:

- Hohe Genauigkeit bei der Ortung im Zentimeter-Bereich
- Hohe Reichweite

Nachteile von UWB

- Hoher Aufwand bei der Implementierung der Infrastruktur.
Hohe Kosten für UWB-Tags; der Preis beträgt ein Vielfaches von dem der BLE-Beacons.
- Hoher Energiebedarf
- Die Positionsbestimmung kann nur Server-seitig erfolgen.

5.2.3 Fazit

Alle Technologien haben ihre Vor- und ihre Nachteile. Es kann nicht gesagt werden, welches System das Beste ist. Für die Systemauswahl kommt es jeweils auf die speziellen Anforderungen an.

6 LOGISTIK IM ZEICHEN VON INDUSTRIE 4.0

Anlässlich der Hannover Messe 2011 wurde das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ propagiert. Der Begriff Industrie 4.0 ist die Bezeichnung für die so genannte 4. industrielle Revolution. Die Vorgänger dieser 4. industriellen Revolution sind:

1. industrielle Revolution: Mechanisierung durch Nutzung von Wasser- und Dampfkraft.
2. industrielle Revolution: Elektrifizierung ermöglichte die Massenfertigung mit Hilfe von Fließbändern
3. industrielle Revolution: Digitalisierung, d. h. der Einsatz von Elektronik und IT ermöglichten den nächsten Schritt in der Automatisierung.

Mit dem zunehmenden Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien beginnt eine weitere, d. h. die 4. industrielle Revolution.

Mit dem E-Commerce kam der Kundenwunsch nach mehr kundenindividuellen Produkten, exakten Lieferzeitpunkten und nach mehr Transparenz bei der Abwicklung der Bestellung. Zur Befriedigung dieser Kundenwünsche mussten die Hersteller und Vertreiber neue Wege gehen:

- Sie mussten die Produkte so gestalten, dass die kundenspezifische Konfiguration erst mit den letzten Produktionsschritten erfolgt (ggf. Losgröße 1).
- Sie mussten die Produktions-, insbesondere aber die Transportwege so transparent gestalten, dass der Kunde den jeweiligen Standort seines Produktes abfragen kann.

Die Vision war, dass in einer Fabrik der Zukunft alles miteinander vernetzt ist. Dazu werden in Maschinen, Bauteilen oder z.B. Materialien entsprechende Sensoren und Aktoren eingebettet. Diese ermöglichen es in Verbindung mit elektronischen Rechnern (z.B. integrierte intelligente Chips), die Anwendungs- und Umgebungssituationen zu erfassen und auszuwerten. Gleichzeitig können jeweils geeignete Schritte eingeleitet werden. Dabei können die technischen Einheiten nicht nur mit ihren Nutzern kommunizieren, sondern auch miteinander. Letztendlich kann sich die Fertigung quasi selbst organisieren.

Inzwischen sind wir mitten in der Entwicklung zu Industrie 4.0. Im Rahmen dieser Entwicklung wurden weitere neue Begriffe geprägt, bzw. übernommen. Diese Begriffe beschreiben Technologien, die Teilbereiche auf dem Weg zu Industrie 4.0 darstellen.

6.1 Teilbereiche auf dem Weg zu Industrie 4.0

6.1.1 Internet of Things (IoT) und Industrial Internet of Things

6.1.1.1 *Internet of Things (IoT)*

Nach [GAB 1] bezeichnet das „Internet der Dinge“ die Vernetzung von Gegenständen mit dem Internet, damit diese Gegenstände selbständig über das Internet kommunizieren und so verschiedene Aufgaben für den Besitzer erledigen können.

6.1.1.2 *Industrial Internet of Things (IIoT)*

IIoT ist eine Variante von IoT. Das „Industrielle Internet der Dinge“ ist speziell auf das Umfeld der Industrie zugeschnitten und bezeichnet das industrielle Netzwerk für die Kommunikation zwischen industriellen Maschinen und Geräten ohne die Einwirkung des Menschen.

Seit der Einführung von IIoT gibt es im Sprachgebrauch für IoT zwei Interpretationen:

- IoT ist der Überbegriff
- IoT ist das Internet der Dinge für den Endverbraucher, d. h. für die verbraucherorientierte Nutzung digitalisierter und vernetzter Produkte und Geräte, z.B. im Haushalt und im Bereich der Unterhaltungselektronik. Damit wäre IoT klar abgegrenzt zu IIoT.

6.1.2 Cyber-Physisches System (kurz CPS)

Ein weiteres System ist CPS. Während das IoT-Konzept vor allem aus der Netzwerk- und IT-Perspektive entstand, wurde mit CPS ein abstraktes Konzept entwickelt, hauptsächlich aus der Sicht der Systemtechnik und –Steuerung.

Beide Konzepte sind somit zwei Seiten einer Medaille, die aufeinander aufbauen.

CPS sind nach [GAB 1] Systeme, bei denen informations- und softwaretechnische mit mechanischen bzw. elektronischen Komponenten verbunden sind, wobei Datentransfer / Datenaustausch sowie Kontrolle bzw. Steuerung über eine Infrastruktur wie das Internet in Echtzeit erfolgen.

Dabei können CPS nach [RFI 1] über Sensorik unmittelbar physikalische Daten erfassen und durch Aktorik auf physikalische Vorgänge wirken.

Die Verbindung von informations- und softwaretechnischen Komponenten mit physischen Objekten und Prozessen ist nicht neu; auch nicht die Vernetzung der Komponenten. Bei Industrie 4.0 geht es nicht um große technologische Neuentwicklungen, sondern um evolutionär weitergeführte Ansätze vorhandener Systeme.

Der wesentliche neue Aspekt ist nach [VDI 13] die Vernetzung über offene und globale Informationsnetze, d. h. über das Internet. Dadurch ist es nach [VDI 13] möglich, dass Systeme beliebig verkoppelt, ihre Verbindungen während der Betriebszeit verändert, beendet und neu aufgebaut werden können, oder dass verfügbare Daten, Informationen und Dienste an beliebiger Stelle im CPS bereitgestellt und verwendet werden können.

6.1.3 Big Data

Big Data ist die Bezeichnung für Speicherung, Verarbeitung und Analyse von enormen Datenmengen. Ein wesentlicher Treiber für den Anstieg der Datenmenge ist das Internet der Dinge. Diese Datenmengen sind so groß, dass diese sich nicht mehr mit herkömmlicher Hard- und Software verarbeiten lassen und daher spezielle Big Data Hard- und Software benötigt wird.

Big Data löst diese Probleme durch spezielle Hard- und Software, die in einer verteilten Weise d.h. in einem Zusammenschluss von vielen Rechnern (Cluster) arbeiten. Somit sind die Daten in Big Data Systemen nicht mehr auf einem Server gespeichert, sondern die Daten werden auf viele Rechner verteilt, die untereinander kommunizieren können. Durch den Zusammenschluss, wird es möglich, enorme Datenmengen zu speichern und zu verarbeiten.

6.1.4 Künstliche Intelligenz

„Künstliche Intelligenz, auch artifizielle Intelligenz (englisch Artificial Intelligence), ist ein Teilgebiet der Informatik, das sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens und dem maschinellen Lernen befasst“ [Wikipedia].

In der Logistik hat KI einen hohen Stellenwert. „Die einzelnen Prozessschritte der physischen Logistik – wie transportieren, umschlagen, ein- und auslagern, picken und (ver-)packen – sind leicht verständlich und vollständig beschrieben. Durch die Kombination dieser Prozessschritte entstehen hochkomplexe Optimierungsprobleme“ [IML 5]. Zur Bewältigung dieser Optimierungsaufgaben können Verfahren der KI ihr Potenzial entfalten, denn sie sind in der Lage komplexe Zusammenhänge abzubilden und aus Erfahrungen zu lernen.

6.2 **Handicaps auf dem Weg zu Industrie 4.0**

- Für die komplette Vernetzung aller Informations- und Kommunikationssysteme sind etablierte Datenübertragungsstandards zwingend erforderlich.
- Mit dem Erfassen von Informationen entsteht Wissen. Gleichzeitig kann über die Vernetzung in Prozesse eingegriffen werden. Es muss über geeignete Sicherheitskonzepte gewährleistet werden, dass schützenswertes Wissen nicht in die falschen Hände gerät und dass ein Zugriff auf Prozesse durch Unbefugte nicht möglich ist.

6.3 Logistik 4.0

6.3.1 Vision Logistik 4.0

Industrie 4.0 übertragen auf die Logistik (Logistik 4.0) bedeutet, dass auch die einzelnen logistischen Einheiten, wie z.B. Container, Paletten, aber auch Stapler usw. mit entsprechender Intelligenz und den Fähigkeiten zu kommunizieren und interagieren ausgestattet werden. Innerhalb der Supply Chain bietet die Vernetzung der Informations- und Kommunikationssysteme in Verbindung mit integrierter Sensorik und Aktorik erhebliche Potentiale:

- Steigerung der Transparenz innerhalb der Supply Chain.
 - Optimierung der Prozesse durch Cyber-Physische Systeme (CPS).
 - Innerhalb der Logistikkette kann der Zustand und Status logistischer Einheiten erfasst und ausgewertet werden.
 - Steigerung des Automatisierungsgrades.
- Manuelle Maßnahmen zur Erfassung von Daten und Steuerung von Prozessen können entfallen.

Bei entsprechender Intelligenz lenkt sich die einzelne logistische Einheit dann selbst von Ort A nach Ort B; sie weiß, wo sie am Zielort abzustellen ist und welche Produkte von ihr benötigt werden. Der Materialfluss wird also mit dem Informationsfluss gekoppelt; eine zentrale Steuerung ist damit nicht mehr erforderlich.

Voraussetzung hierfür sind leistungsstarke Informations- und Kommunikationstechnologien. Hierzu gehören:

- Die Technologien zur Identifizierung
- Die Technologien zur Lokalisierung
- Die Technologien der Sensorik
- Die Technologien zur Kommunikation und Vernetzung

6.3.2 Entwicklungen auf dem Weg zu Logistik 4.0

Gegenüber der produktionsspezifischen Implementierung von Industrie 4.0 in Fertigungsbetrieben haben die Logistikbetriebe günstigere Voraussetzungen.

- Die Nutzung von AutoID-Technologien, wie z.B. RFID- Systemen und anderen Ortungsverfahren auf Basis von Funk sowie der Einsatz von mobilen Computersystemen ist in der Logistik bereits weit verbreitet (siehe Kap. 4.2 ff).
- Die Vernetzung der Logistik mit der Lieferantenseite und der Abnehmerseite ist bereits jetzt sehr hoch (siehe Teil I, Kap. 1.2.2 „Supply Chain Management“).
- Dezentrale Steuerungskonzepte wurden bereits für die Fördertechnik entwickelt und werden auch eingesetzt (siehe Teil II.3).

Auf aktuelle Projekte aus der Forschung wird u. a. in [RFI 1] und [ZOL 1] hingewiesen. Beispiele aktueller Forschungsprojekte sind:

- smaRTI-Palette [IML 4]
smaRTI steht für „smart Reusable Transport Items“ und ist der Name eines Verbundprojektes zur Entwicklung eines branchen- und Supply-Chain-übergreifenden Ansatzes für einen intelligenten Materialfluss. Dabei steht die Entwicklung einer neuen Generation intelligenter Ladungsträger, sowie standardisierter Softwarearchitekturen für AutoID-Technologien und IT-Dienste im Focus.

Im Bereich Konsumgüter wurde die Euro-Palette als maßgebender Ladungsträger identifiziert und damit Basis für die smaRTI-Palette

- Die smaRTI-Palette wird mit einer Identifikationsnummer nach dem GRAI-Standard (Global Returnable Asset Identifier) versehen. Damit ist dieser Ladungsträger überall auf dieser Erde eindeutig identifizierbar. Zur Unterstützung mehrerer Identifikationssysteme ist die ID-Nummer sowohl über RFID-Transponder, über Barcode als auch in Klarschrift lesbar.

- Die automatische Identifizierung und Lokalisierung des Ladungsträgers innerhalb des gesamten Transport- und Lagersystems erfolgt über eine Lokalisierungstechnologie in Verbindung mit dem passiven UHF- RFID-Transponder. Bei dieser Lokalisierungstechnologie sind zwischen Erregerantenne und Empfänger Reichweiten bis zu 100 m möglich.
- Sämtliche Schritte im Materialfluss werden erfasst und an eine zentrale Datenbank weitergeleitet.

Die detaillierte Warenflussverfolgung auf Ladungsträgerebene funktioniert über mehrere Unternehmen und sogar über mehrere Branchen hinweg, so dass die intelligenten Paletten den Weg durch das gesamte logistische Netzwerk finden. Im Zusammenspiel mit dem Ladungsträgermanagementsystem werden Transporte automatisch ausgelöst und die Bestände optimal verwaltet.

■ „InBin“ der intelligente Behälter [IML 3]

InBin ist ein Behälter, der in der Lage ist, den gesamten Kommissioniervorgang zu leiten und zu kontrollieren. Dazu verfügt der IBIN über verschiedene Fähigkeiten. Einige davon sind:

- Er kann seine Position genau lokalisieren und auch über Sensorik seine Umgebungsparameter (z.B. Umgebungstemperatur) erfassen.
- InBins können sich untereinander unterhalten und Reihenfolgen bilden. Sie können aber auch über ein Grafikdisplay und zukünftig auch über ein Pick-by-Voice-Modul direkt mit dem Kommissionierer kommunizieren.
- Die hierfür erforderliche Energie kann sich InBin aus unterschiedlichen Quellen holen und speichern. Zu den Energiequellen gehören Licht (ab 400 Lux), Beschleunigungen, Vibrationen oder starke Schwankungen in der Umgebungstemperatur.

■ Qualitätsbasierte Distribution nach dem FEFO-Prinzip (First-Expired-First-Out)

Prozesse bei Transport und Lagerung von verderblicher Ware, wie z. B. Lebensmitteln, können in Abhängigkeit vom Reifegrad der Ware besser gesteuert werden, wenn Ergebnisse zuverlässiger Haltbarkeitsmessungen in Echtzeit an eine Auswerteeinheit weitergeleitet werden. In dem Forschungsprojekt wurde ein Container mit Sensoren ausgestattet, um kontinuierlich Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Gaskonzentration im Container zu messen. Die Messdaten erlauben Rückschlüsse auf den Zustand der im Container befindlichen Lebensmittel. Weichen die Ist-Daten von den Solldaten ab, z.B. zu weit fortgeschrittener Reifegrad, können geeignete Maßnahmen eingeleitet werden, um den Warenwert zu erhalten:

- Während eines Containertransports könnte z.B. die Transportroute geändert werden, um die Ware an einem näher gelegenen Ort zu verkaufen.
- In einem Lagerhaus können zuerst die Lagerbereiche geräumt werden, deren Ware im Reifeprozess am weitesten fortgeschritten ist.

Logistikeinheiten in Verbindung mit CPS, wie z.B. oben genannter Container, können auch genutzt werden, um den Reifeprozess von Lebensmitteln gezielt in den Transport zu verlagern. Dadurch kann die Lagerzeit für die Reifung reduziert werden, oder ganz entfallen.

■ Selbststeuernde Instandhaltung

In allen technischen Einheiten können mit Hilfe von Cyber-Physischen Systemen (CPS) vielfältige Sensorparameter und Zustandsdaten ermittelt und weitergeleitet werden. Mit Blick auf die Kontinuität der Prozesse, die insbesondere durch die Instandhaltung der technischen Einheiten gewährleistet wird, können daraus automatisch unterschiedliche Entscheidungen generiert werden:

- Rechtzeitige Bestellung von Ersatzteilen;
- Rechtzeitige Generierung von Wartungsaufträgen;
- Rechtzeitige Verlagerung von Aufträgen auf alternative technische Einheiten und damit Verschiebung der Auslastung.

Anstelle der präventiven Wartung auf Basis fest vorgegebener Wartungspläne, bei der auch vorsorglich noch funktionierende Anlagenteile entsorgt werden, können nun die Wartungsintervalle flexibler gestaltet werden. Auch der Austausch von Anlagenteilen kann dann gezielt verschleißabhängig erfolgen.

7 QUELENNACHWEIS ZU TEIL III

7.1 Tabellenverzeichnis

Kapitel / Tab.	Titel der Tabelle	Quelle
2.4 /01	Einteilung der Frequenzbereiche bei Schallwellen	
2.4 /02	Wellenlängen- und Frequenzbereiche elektromagnetischer Wellen	
2.4.2 /01	WLAN-Standards nach IEEE 802.1	
2.4.2 /02	Strahlungsspektrum Licht	
3 /01	Anfälligkeit der Sensorarten auf Störgrößen	Nach [IMF 1]
4.2 /01	Zuordnung der physikalischen Wirkungsweisen von Sensorprinzipien zu Informationsträgern	in Anlehnung an [HAN 2]

7.2 Abbildungsverzeichnis

Kapitel / Abb.	Titel der Abbildung	Quelle
2 /01	Ebenenmodell für Materialflusssteuerungen	Nach [TEN 1]

7.3 Literaturverzeichnis

7.3.1 Gesetze, Normen, Richtlinien, Empfehlungen, Berufsgenossenschaftliche Vorschriften, Regeln, Informationen usw.

VDI 1	VDI 3962	Praxisgerechter DV-Einsatz im automatischen Lager; Febr. 1995
VDI 13	VDI / VDE	Cyber-Physical-Systems: Chancen und Handlungsfelder aus der Sicht der Automation; April 2013
VDI 14	VDI 3601	Warehouse-Management-Systeme; Sept. 2015
VDI 16	VDI 3969	Schnittstellen des Lagerverwaltungssystems zu übergeordneten Systemen
VDI 17	VDI/VDMA 5100 Bl. 1, Entwurf	Systemarchitektur für die Intralogistik (SAIL); Grundlagen; Juli 2011

7.3.2 Literatur, Firmenbroschüren, Internetveröffentlichungen

ABE 1	Abet, Mathieu, Fa. ELA Innovation; Bluetooth vs. Bluetooth Low Energy, Was ist der Unterschied? 03.12.2021
BAS 1	White Paper der Fa. Basler (www.baslerweb.com): Die Qual der Wahl: 2D- oder 3D-Kamera? Welche 3D-Kameratechnologie passt für Ihre Anwendung?
BAU 2	Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B; Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik; Springer-Verlag, 22.04.2014
DAT 1	Datalogic: Strichcodebibel; 2007
DHL 1	Discover logistics; DHL Logbook – in Kooperation mit der Technischen Universität Darmstadt (Internetveröffentlichung)
EBU 1	eBusiness-Lotse Südbrandenburg; AutoID-Technologien (März 2015)
F+H 1	F+h 50 (2000) Nr. 12, Studie: Lagerverwaltungssysteme und ihr Leistungsprofil; Grundlegende Funktionen nicht erreicht
FLU 1	Flurförderzeuge.de, Studienergebnis Lagerverwaltungssysteme: Anwenderanforderungen stehen im Fokus / 26.Nov.2010
FRA 1	Franke, W.: Wiederverwendungsorientierte Herleitung von Inter-Fachkomponentenkonzepten für Lagerverwaltungssoftwaresysteme; (Diss. Uni Paderborn, Aug. 2006)
GAB 1	Gabler Wirtschaftslexikon, Springer-Verlag
GEB 2	Gebhard, H.; Datenübertragung in Materialflusssystemen; Zeitschrift für Logistik
HAN 2	Hansen, H. G.; Lenk B.: Codiertechnik, Der Schlüssel zum Strichcode; IDENT-VERLAG / DATALOGIC 1990
HOM 1	Prof. ten Hompel, Heidenblut, V.; Taschenbuch der Logistik, Internetveröffentlichung unter www.logipedia.de
IFF 1	Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und Automatisierung; RFID-Tunnelgates für eine sicher Pulkerfassung

IIS 1	Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS: Lokalisierung und Navigation
IMF 1	Imf electronic; Schulungsunterlagen Optische Sensoren (Stand März 2003)
IML 3	Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik IML; Intelligenter Behälter
IML 4	Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik IML; smaRTI: AutoID-Technologien ermöglichen intelligenten Materialfluss; Veröffentlichung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung
IML 5	Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik IML; Künstliche Intelligenz in der Logistik, 28. April 2021
IWL 1	IWL-München, Dietmar Gregerek, 22.07.2007
KER 1	Kern, Konrad; Modulare RFID-Systeme, Immer die richtige Lösung; in „RFID im Blick“ Fachmagazin für kontaktlosen Datenverkehr; Sonderausgabe 2011
KÜH 1	Kühl, Godelef: ERP contra LVS: Umdenken für den Erfolg (Internetveröffentlichung, März 2006) Godelef Kühl ist Gründer und Vorstand der godesys AG mit Sitz in Mainz
LOG 1	Logistik heute, 3 / 1997, Marktstudie „Lagerverwaltungssoftware“
LOG 3	https://logistikknowhow.com : Übersicht und Definition der Identifikationstechnik Barcode
RFI 1	RFID im Blick; Sonderausgabe „Industrie 4.0 und Logistik 4.0 aus Bremen“; Das Fachmagazin für kontaktlosen Datentransfer, Automatische Identifikation, Prozessoptimierung
SCH 1	Schröder, Norbert, Württembergische Verwaltungs- und Wirtschaftsakademie; Geprüfter Fachkaufmann Einkauf und Logistik (IHK), Semester 2; Lagerwirtschaft, Lagersteuerung, Lagerverwaltung
SIK 1	Sikora, Prof. Dr. Axel; RFID - Die technischen Grundlagen; Internetveröffentlichung über „TEC-Channel, IT im Mittelstand“ www.tecchannel.de ; 05.04.2006
TEN 1	Tenerowicz-Wirth: Kommunikationskonzepte für selbststeuernde Fahrzeugkollektive in der Intralogistik; Dissertation 2012; fml, Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik an der TU München
TUH 1	Technische Uni Hamburg Harburg / Technische Logistik; Studienarbeit: SimTest, Entwicklung eines Test- und Präsentationswerkzeuges für das Simulationsmodell eines Lagers
WEB 1	Weber, Wolfgang: Barcode- Gestern, heute und morgen. In: RFID IM BLICK; Einblick 2011, Seite 48
ZOL 1	Zollverein®, Gespräche 2014; Prof. Dr. Michael ten Hompel; Logistik 4.0 und das Internet der Dinge; Wie wir mit modernen Informationstechnologien unsere Welt verändern