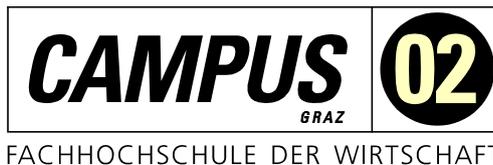


Masterarbeit

DETEKTION UND RÜCKVERFOLGBARKEIT VON ERZEUGNISSEN IM SONDERMASCHINENBAU

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Thomas Winter, BSc.

1910322016

betreut und begutachtet von
FH-Prof. DI Dieter Lutzmayr

Graz, im November 2020

.....
Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

.....

Unterschrift

DANKSAGUNG

Diese Masterarbeit befasst sich mit der Detektion und Rückverfolgbarkeit von Erzeugnissen im Sondermaschinenbau. Ein großer Dank gilt hierbei der Firma Alba tooling & engineering GmbH für das bereitgestellte Equipment und die Möglichkeit, die Tests in der realen Produktionsumgebung durchführen zu können. Ein großer Dank gilt auch dem unterstützenden Betreuer, Herrn DI Dieter Lutzmayr, für seine stets konstruktiven Gespräche und fachlichen Diskussionen. Die Vermittlung seines Fachwissens war nicht nur in wissenschaftlicher, sondern auch in persönlicher Hinsicht eine ausgesprochene Bereicherung.

KURZFASSUNG

Diese Arbeit befasst sich mit der Produktrückverfolgbarkeit im Sondermaschinenbau. In den Fertigungszellen besteht oft das Problem, dass die Bauteile ohne maschinelle Identifikation in die jeweiligen Fertigungsregale eingeräumt werden. Somit kann es beim Zusammenbau der Sondermaschine dazu kommen, dass projektrelevante Bauteile fehlen und der Zusammenbau nicht fortgesetzt werden kann. Dies wiederum erzeugt in der Fertigungszelle einen Leerlauf, wodurch die Projektkosten unnötig in die Höhe getrieben werden. Das Ziel dieser Arbeit ist es festzustellen, welche Auto-ID-Technologie sich in der industriellen Produktionsumgebung behaupten kann. Hierfür werden in der realen Produktionsumgebung Tests anhand von Versuchsaufbauten durchgeführt. Im Speziellen gilt es hierbei zu untersuchen, mit welcher Technologie es möglich ist, Bauteile aus dem hausinternen Fräszentrum und Zukaufteile ordnungsgemäß zu markieren, damit diese in späterer Folge eindeutig identifiziert werden können. Am Eingang der Fertigungszelle wird die Identifikation aller markierten Bauteile erfolgen. Erst nachdem auf diese Weise sichergestellt wurde, dass alle relevanten Bauteile in der Fertigungszelle vorhanden sind, kann der Zusammenbau der Sondermaschine in der Produktion freigegeben werden. Als Ergebnis dieser Forschungsarbeit wird gezeigt, dass die Produktidentifikation mittels RFID-Technologie hierfür technisch besser geeignet ist als die Nutzung von Barcodesystemen.

ABSTRACT

This thesis deals with product traceability in special purpose machinery manufacturing. A problem that often occurs in the production cells is that the components are placed on the respective production shelves. There is no mechanical identification of the components. This means that during the assembly of the special purpose machine, project-relevant components might be missing and the assembly cannot be continued. This in turn creates an idle state in the production cell, which unnecessarily increases the project costs. The goal of this thesis is to determine which Auto-ID technology can be used in an industrial production environment. Thereby tests are carried out by means of test setups in the real production environment. In particular, it is necessary to investigate which technology can be used to correctly mark components from the in-house milling center and purchased parts so that they can be clearly identified at a later stage. At the entrance of the production cell the identification of all marked components will take place, this ensuring that all relevant components are present in the production cell. The assembly of the special machine can then be released in production. As a result of this thesis, the decision for an Auto-ID technology is made based on technical and economical criteria.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Notwendigkeit der Identifikation von Bauteilen	1
1.2	Mehrwert für den Betrieb Alba tooling & engineering GmbH	2
1.3	Ziel dieser Arbeit	2
2	Produktrückverfolgbarkeit in Produktionsstätten.....	3
2.1	Die Entstehung der Automatisierung in der Produktionslogistik.....	3
2.2	Produktkennzeichnung konform zu DIN ISO 9001	4
2.3	Traceability.....	4
2.4	Kopplung von Prozessen und Informationen.....	5
3	Auto-ID-Systeme	6
3.1	Identifikationsmerkmale	7
3.1.1	Natürliche Identifikationsmerkmale.....	7
3.1.2	Künstliche Identifikationsmerkmale	8
3.2	Barcodesysteme	8
3.2.1	Eindimensionale Barcodes	9
3.2.2	Weiterentwicklung des 1D-Barcodes.....	9
3.2.3	Zweidimensionale Barcodes.....	10
3.2.4	Optische Kopplung zur Code-Identifizierung.....	12
3.2.5	Risiken und Schwächen eines Barcodesystems	13
3.2.6	Anwendungsgebiete	14
3.3	Optical Character Recognition.....	14
3.4	Chipkarte.....	15
3.5	RFID.....	16
3.5.1	Klassifizierung von RFID-Systemen	17
3.5.2	Grundfunktionen und Komponenten eines RFID-Systems	18
3.5.2.1	Leseeinheit	19
3.5.2.2	Antenne des Readers.....	20
3.5.2.3	Transponder	21
3.5.2.4	Betriebsarten der Transponder	22
3.5.3	Übertragungsverfahren.....	23
3.5.3.1	Kapazitive Kopplung.....	24
3.5.3.2	Induktive Kopplung	24
3.5.3.3	Backscatter-Verfahren.....	25
3.5.4	Frequenzbereiche	26
3.5.4.1	Entstehung einer elektromagnetischen Welle	26
3.5.4.2	Das elektromagnetische Spektrum	27
3.5.4.3	Nah- und Fernfeld.....	28
3.5.4.4	Low Frequency	29
3.5.4.5	High Frequency	30

3.5.4.6	Ultra High Frequency	30
3.5.4.7	Mikrowelle	31
3.5.5	Pulk-Erfassung	31
3.5.6	Electronic Product Code	32
3.5.7	Datenbanksystem zur Verwaltung produktspezifischer Informationen	33
3.5.8	Risiken und Schwächen eines RFID-Systems	34
3.5.9	Anwendungsgebiete	35
4	Einführung eines Auto-ID-Systems	37
4.1	Motivation für die Bauteilidentifizierung	37
4.2	Gegenwärtiger Stand der Technik	38
4.3	Effizienzsteigerung durch ein Auto-ID-System	38
4.4	Prozesssicherheit durch Auto-ID-Systeme	39
4.5	Betriebliche Voraussetzungen für die Einführbarkeit	40
4.6	Potentiale und Risiken durch die Einführung	40
4.7	Ziele der Prozessumgestaltung	41
5	Versuchsaufbau eines Auto-ID-Systems	42
5.1	Örtliche Gegebenheiten für die Identifizierung	42
5.2	Schematischer Ablauf mit einem Auto-ID-System	43
5.3	Versuchsaufbau eines Barcodesystems	43
5.4	Auswahl geeigneter Codes zur fehlerfreien Detektion	44
5.5	Datenverwaltung im Hintergrund	45
5.6	Versuchsaufbau mit einem RFID-Reader	46
5.7	Auswahl des Frequenzbereiches und der Antennen	46
5.8	Auswahl der Transponder	47
5.9	Pulk-Erfassung von Erzeugnissen	48
6	Praktische Durchführung der Produktdetektion	49
6.1	Beschreibung der Bauteile	49
6.2	Identifikationstests mithilfe von Barcodes	50
6.2.1	Herstellung und Anbringung der Barcodes	50
6.2.1.1	Klebeetikett	50
6.2.1.2	Gravierbeschilderung	51
6.2.1.3	Lasergravierung	52
6.2.2	Anbringung der Markierungen in den Kommissionierstationen	53
6.2.3	Transport in die Fertigungszelle	54
6.2.4	Erprobung des Rückverfolgbarkeitssystems	55
6.3	Identifikationstests mittels RFID	56
6.3.1	Auswahl und Anbringungsmöglichkeiten von geeigneten Transpondern	56
6.3.2	Funktion und Aufgabe des Kommissionierplatzes	57
6.3.3	Produktidentifikation am Eingang der Fertigungszelle	58
6.3.4	Erprobung des Rückverfolgbarkeitssystems	60
6.4	Das Pro und Kontra der beiden Auto-ID-Systeme	62

7	Auswertungen und Ergebnisse	64
7.1	Technische Gegenüberstellung der verwendeten Systeme	64
7.2	Bewertung der Barcode-Technologie	65
7.3	Bewertung der RFID-Technologie	66
7.4	Schlussfolgerung aus den technischen Gegenüberstellungen	67
7.5	Betriebliche Folgen und Effizienzsteigerung	68
8	Resümee und Ausblick.....	69
	Literaturverzeichnis	72
	Abbildungsverzeichnis.....	75
	Tabellenverzeichnis.....	77
	Abkürzungsverzeichnis.....	78

1 EINLEITUNG

Um eine effiziente Produktion zu gewährleisten, kommt der Produktidentifizierung eine wachsende Bedeutung zu. Nicht nur die Kenntnis des Produktstandortes kann von Interesse sein, sondern auch die Information, mit welchen Parametern das Produkt gefertigt wurde. Werden Produkte einer Charge mit falschen Maschinenparametern bearbeitet, lassen sich durch die Produktrückverfolgbarkeit die Falschteile identifizieren und nachbearbeiten bzw. aussortieren. Zudem können Produktidentifikationen für die Planung von Projekten einen signifikanten Beitrag leisten. Sind beispielsweise genügend relevante Bauteile in der Fertigung vorhanden, kann der Projektstart erfolgen. Diese beiden Beispiele sind Gründe für die Motivation zu dieser Arbeit. Infolgedessen befasst sich diese Arbeit mit der Produktidentifikation und Rückverfolgbarkeit von Produkten. Diese Produkte können entweder Zukaufteile oder Erzeugnisse aus dem eigenen Betrieb sein. Je nach Bedarf kann es sich dabei um metallische oder nichtmetallische Bauteile jeglicher Form handeln. Es soll untersucht werden, mit welchen Technologien es möglich ist, Produkte erfolgreich zu identifizieren. Dabei wird im theoretischen Teil dieser Arbeit untersucht, was Identifikationsmerkmale sind und wie diese möglichst maschinell erfasst und weiterverarbeitet werden können. Im praktischen Teil werden die einzelnen derzeit am Markt erhältlichen Auto-ID-Systeme auf die Praxistauglichkeit im industriellen Umfeld getestet. Die Ergebnisse aus den Versuchsaufbauten werden verglichen und ausgewertet. Als Ergebnis soll eine qualitative Aussage getroffen werden, welche Technologie am zielführendsten für den täglichen Einsatz in der industriellen Produktionsstätte der Firma Alba tooling und engineering GmbH ist.

1.1 Notwendigkeit der Identifikation von Bauteilen

Die Notwendigkeit der ordnungsgemäßen Produktrückverfolgbarkeit setzt sich aus mehreren Aspekten zusammen. Es wird immer wichtiger aufzuzeichnen bzw. nachträglich festzustellen, mit welchen Bearbeitungsstationen und mit welchen Parametern die zu bearbeitenden Bauteile gefertigt wurden. Unter einer Bearbeitungsstation werden CNC-gesteuerte Maschinen wie Fräs- oder Drehmaschinen verstanden. Werden Bauteile außerhalb ihrer zulässigen Fehlertoleranz gefertigt, kann durch die Produktidentifikation die Bearbeitungsmaschine, mit der das fehlerhafte Bauteil gefertigt wurde, identifiziert und der Fehler behoben werden. Dies ermöglicht eine gleichbleibende Qualität der Produkte. Die Grundlage dafür ist demnach die eindeutige Identifikation einzelner Bauteile.

Ein weiterer Vorteil der Produktidentifikation ist, dass transparent wird, welche einzelnen Prozessschritte von dem Bauteil durchlaufen werden und in welchem Prozessschritt es sich gerade befindet. Der Prozess des Zusammenbaus größerer Maschinen wird üblicherweise in kleinere Arbeitspakete bzw. Baugruppen aufgegliedert. Daraus folgt, dass eine Baugruppe immer aus mehreren Bauteilen besteht. Zielführend für den Zusammenbau einer Baugruppe ist es nur, wenn alle relevanten Bauteile fertig an einem Ort zur Weiterverarbeitung bereitgestellt sind. Durch eine ordnungsgemäße Produktidentifikation und Planung kann dies sichergestellt werden.

1.2 Mehrwert für den Betrieb Alba tooling & engineering GmbH

Der Betrieb Alba tooling & engineering GmbH ist auf den Bau von Sondermaschinen für die Automobilindustrie spezialisiert. Angesiedelt an acht Standorten weltweit, werden verschiedenste Maschinen für den Interieurbereich von Fahrzeugen hergestellt. Das Hauptquartier befindet sich in Forstau (Salzburg). Der Betrieb, der im Jahr 1990 mit acht Mitarbeitern gegründet wurde, wuchs über die Jahre von einem kleinen Familienbetrieb zu einem Konzern heran. Im Jahr 2020 beschäftigt der Betrieb Alba tooling ca. 400 Mitarbeiter. Anfangs wurden noch kleinere Werkzeuge für die Automobilindustrie gefertigt. Über die Jahre wuchs das firmeninterne Wissen kontinuierlich, sodass nun zunehmend komplexere Werkzeuge bis hin zu schlüsselfertigen Anlagen realisiert werden können. Die Qualitätssicherung beruht auf einem ausgeglichenen Mix an Ingenieuren und qualifizierten Mitarbeitern, der maßgeblich zur Produktweiterentwicklung und zum Betriebserfolg beiträgt. Durch die Expansion des Betriebes, der Produktionsstätte und des firmeninternen Fräszentrums werden hohe Ansprüche an die Lagerhaltung und die zeitkritischen Projektabwicklungen gestellt. Bis dato werden noch keine zerspannten Bauteile im Betrieb Alba tooling & engineering GmbH softwaretechnisch erfasst. Die Fertigungsteile werden lediglich mithilfe von wasserabweisenden Markierungsstiften gekennzeichnet und anschließend an den Ort gebracht, an dem die Sondermaschine zusammengebaut wird. Bevor die Fertigungsabteilung die einzelnen Baugruppen ordnungsgemäß zusammensetzen kann, ist es die Aufgabe des Projektleiters zu prüfen, ob alle relevanten Fertigungsteile vorhanden sind. Der Projektleiter kann den Zusammenbau für die Fertigung erst nach einem zeitaufwendigen Kontrollieren und Abgleichen der Fertigungslisten freigeben. Die Produktidentifikation der einzelnen Fertigungsteile würde hierbei eine signifikante Einsparung des Arbeits- und Zeitaufwandes ermöglichen. Demnach würde eine Produktidentifikation einen Mehrwert für den Betrieb darstellen, weil auf diese Weise die Such- und Stillstandzeiten der Mitarbeiter gesenkt werden können.

1.3 Ziel dieser Arbeit

Diese Arbeit soll als Hilfestellung für die Auswahl einer zielführenden Technologie für die ordnungsgemäße Produktidentifikation dienen. Der Theorieteil soll den Lesenden grundlegende Informationen über Auto-ID-Systeme liefern, beginnend bei den Identifikationsmerkmalen über die verschiedensten Identifikationssysteme bis hin zu deren Vor- und Nachteilen. Ebenso soll der Leser ein Gefühl für die typspezifischen Anwendungsgebiete und die einzelnen Komponenten der Technologien und Systeme entwickeln können. Um das Ziel des praktischen Teils erreichen zu können, bedarf es einiger Versuchsaufbauten. Mithilfe von verschiedenen Identifikationssystemen wird versucht, verschiedenste Bauteile zu identifizieren. Es sollen die Stärken und Schwächen der einzelnen Systeme erforscht werden. Im Anschluss werden die untersuchten Technologien anhand technischer Schlüsselfaktoren verglichen. Durch den Vergleich und die anschließende Auswertung wird das am besten geeignete System identifiziert. Das Hauptziel dieser Arbeit ist eine aussagekräftige Empfehlung einer Technologie zur Produktidentifikation, welche dem leitenden Management präsentiert werden soll.

2 PRODUKTRÜCKVERFOLGBARKEIT IN PRODUKTIONSSTÄTTEN

Im vorliegenden Kapitel wird auf das Thema Rückverfolgbarkeit in der Automatisierungstechnik eingegangen. Das erste Unterkapitel befasst sich mit der Automatisierungstechnik im Wandel der Zeit. Es wird festgestellt, dass der Materialfluss und die Logistik eine immer wichtigere Rolle spielen. Demzufolge gilt es auch, der Produktrückverfolgbarkeit ein Augenmerk zu schenken. Durch Einführung von Normen werden bereits gewisse Rahmenbedingungen festgelegt.

2.1 Die Entstehung der Automatisierung in der Produktionslogistik

Bis zum Beginn der 1970er-Jahre wurde im industriellen Umfeld insbesondere in die Produktionsausweitung und die Produkte selbst investiert. Maßgebend hierfür war die Entwicklung neuer innovativer Produkte. Ab den 1970er-Jahren wurde aufgrund einer zunehmenden Automatisierung in Form von verschiedensten Transistorschaltungen und integrierten Schaltungen die Entwicklung neuer innovativer Produkte vorerst reduziert. Als 1969 die ersten speicherprogrammierbaren Steuerungen und 1971 die Mikroprozessoren auf den Markt kamen, fand ein Umbruch in der Industrie statt. Maschinen konnten damit ausgestattet und der Automatisierungsgrad somit gesteigert werden. Lediglich im Materialfluss wurden noch konventionelle Techniken wie z. B. Lochkartentechnik eingesetzt. In den 1980er-Jahren rückte die Automatisierung mit Mikrorechner-technik in den Mittelpunkt. Hohe Automatisierungsgrade konnten mit Robotern und CNC-gesteuerten Maschinen erreicht werden. Um die steigenden Lohnkosten zu kompensieren, wurde in der Industrie das sogenannte „Lean Management“ eingeführt. Als Folge davon wurden Hierarchien umstrukturiert und es kam zu Personaleinsparungen im operativen Feld. Als Ergebnis folgte, dass für die Aufrechterhaltung des Betriebes jedoch ein gewisser personeller Aufwand entstand. Der Materialfluss und die Logistik wiesen durch immer kürzere Produkt- und Innovationszyklen anfangs noch ein sekundäres Wertschöpfungspotential auf, gewannen aber in den 1990er-Jahren zunehmend an Bedeutung. Durch die Einbindung der Logistik und des Materialflusses in Überlegungen zur Kostenoptimierung konnten effiziente Abwicklungen von TUL-Prozessen realisiert werden. Unter TUL-Prozessen versteht man das Transportieren, das Umschlagen und das Lagern von Gütern. Abhängig sind diese Prozesse von einer ausgeklügelten Informationstechnik. Die logistischen Prozesse sind somit der Produktion vor- und nachgeschaltet und wirken auf den ersten Blick nicht wertschöpfend. Bald wurde aber erkannt, dass sich auch bei den nicht direkt produzierenden Prozessen ein gewisses Kapital verbirgt, welches durch eine organisatorische Vorgehensweise ausgeschöpft werden kann. Mittlerweile setzt sich die Automatisierungstechnik in der Logistik und speziell auch in der Intralogistik immer mehr durch. Mithilfe von informationstechnischen Verknüpfungen zwischen Planung, Produktion und der Fertigung werden Bearbeitungsgeschwindigkeiten deutlich erhöht. Ein großes Potential der Automatisierungstechnik wird in der Lagerhaltung sowie im Zusammenspiel von Maschinen untereinander gesehen. Die Automatisierung sollte hierbei unterstützend auf die automatische Datenerfassung und Datenübertragung wirken, wobei Verknüpfungen von Prozessen untereinander sowie das Zusammenspiel von technischen Komponenten zur Güter- und Sendungsverfolgung im Fokus stehen.¹

¹ Vgl. Krämer (2002), S. 1 ff.

In der folgenden Tabelle sind die oben dargestellten Änderungen der industriellen Entwicklungsschwerpunkte chronologisch aufgelistet.

Änderungen der Entwicklungsschwerpunkte	
1950 – 1960	Wiederaufbau nach dem Weltkrieg
1960 – 1970	Produktion
1970 – 1980	Produkte
1980 – 1990	Automatisierung
1990 – 2000	Materialfluss, Logistik
2000 – 2010	Informationstechnik, Informationslogistik
2010 – dato	Diagnose, Reparatur, Instandhaltung

Tab. 1: Änderungen der Entwicklungsschwerpunkte, Quelle: Krämer (2002), S. 5.

2.2 Produktkennzeichnung konform zu DIN ISO 9001

Laut Norm ISO 9001 muss ein Betrieb geeignete Mittel für die Produktkennzeichnung anwenden, wenn die Konformität von Produkten nachweislich sicherzustellen ist. Die Ergebnisse der Überwachungs- und Messanforderungen müssen während der gesamten Produktion aufgezeichnet werden. Ist die Rückverfolgbarkeit von Erzeugnissen gefordert, ist es die Aufgabe des Betriebes, die Erzeugnisse eindeutig zu kennzeichnen. Für die Rückverfolgbarkeit muss eine dokumentierte Information vorhanden sein.² Durch diese Qualität- und Produktsicherungsnorm werden bereits die ersten Rahmenbedingungen für eine standardisierte Produktrückverfolgbarkeit vorgegeben.

2.3 Traceability

Das Wort „Traceability“ setzt sich aus den beiden englischen Wörtern „Trace“ (Spur, Ablaufverfolgung) und „Ability“ (Fähigkeit) zusammen und bedeutet Rückverfolgbarkeit. Dies ist die Fähigkeit, Produkte über ihren gesamten Prozessverlauf, also von der Rohstoffbeschaffung bis in die Produktion und weiter zu verfolgen. Rückverfolgbarkeit kann allgemein in zwei Aspekte unterteilt werden, zum einen in „Rückverfolgbarkeit innerhalb der Fertigungs- und Lieferkette“ und zum anderen in „Interne Rückverfolgbarkeit“. Unter der Rückverfolgbarkeit innerhalb der Fertigungs- und Lieferkette ist die Rückverfolgbarkeit zwischen den verschiedenen Herstellern zu verstehen. Diese umfasst den Verlauf von Rohmaterialien über die Bearbeitung mit Maschinen und Werkzeugen bis hin zum Verkauf der Bauteile. Unter interner Rückverfolgbarkeit wird die firmeninterne Rückverfolgbarkeit und Überwachung von Produkten verstanden.

² Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung, S. 41.

Zum besseren Verständnis sind in Abbildung 1 die beiden Aspekte der Rückverfolgbarkeit grafisch dargestellt.³

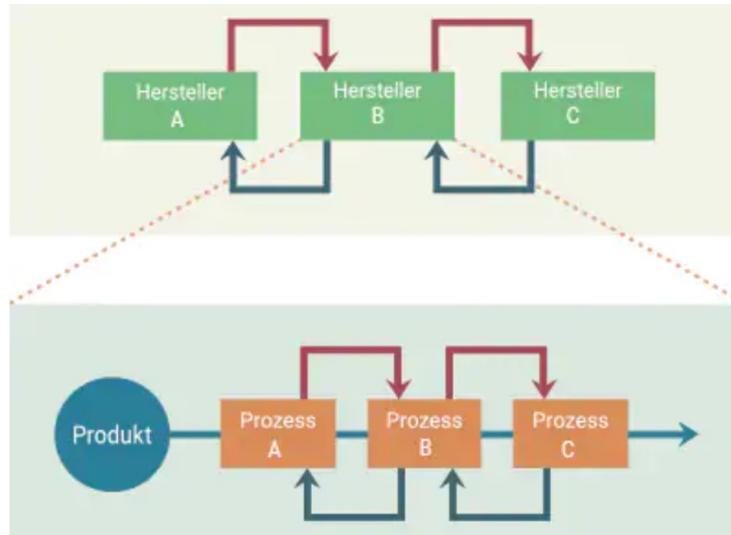


Abb. 1: Traceability, Quelle: Keyence Deutschland (2020), Online-Quelle [01.09.2020].

2.4 Kopplung von Prozessen und Informationen

„Automatisierungssysteme können einen Teil der Koordination von Prozessen im Materialfluss übernehmen. Eine wesentliche Aufgabe besteht darin, den Informationsfluss zu initiieren, zu steuern, zu überwachen soweit möglich zu dokumentieren und Notstrategien einzuleiten. Hinzu kommt die Erzeugung der richtigen Informationen über Programme zur Ansteuerung von Aktoren und z.T. intelligenten Sensoren. Hierzu muss an den Entscheidungsstellen zwischen Materialfluss und Informationsfluss eine Kopplung stattfinden.“⁴

Das Ziel besteht darin, gleichzeitig den Produktzustand und den Produktionsprozess zu überwachen. Aus dieser Zielsetzung ergibt es sich, dass relevante Vorgänge im Materialfluss mithilfe von geeigneten Sensoren überwacht werden. Mit dieser Vorgehensweise ist es möglich, den Materialfluss direkt in ein Datenverarbeitungsprogramm einzubinden und weiterzuverarbeiten. Als mögliche Sensoren kommen hierbei vorwiegend Barcodescanner, RFID-Reader oder Kameras zum Einsatz.⁵ Diese Sensoren gehören zur Obergruppe der „Auto-ID-Systeme“, welche in den folgenden Kapiteln vorgestellt und behandelt werden.

³ Vgl. Keyence Deutschland (2020), Online-Quelle [01.09.2020].

⁴ Krämer (2002), S. 20.

⁵ Vgl. Krämer (2002), S. 20.

3 AUTO-ID-SYSTEME

„Vor einigen Jahren wäre einem Beobachter es nicht ungewöhnlich vorgekommen, wenn ein Tourist, an der Straßenecke stehend, einen aufgefalteten Stadtplan studiert, ein Verkäufer die Preise von einem Etikett an der Verkaufsware in die Registrierkasse eingibt, ein Schaffner die Fahrkarte locht oder stempelt, ein Flugreisender seinen Koffer mit einer Papierfahne beschriftet, eine Bibliotheksangestellte ein Leihkärtchen ausgefüllt oder ein Lagerist Bestandslisten mit der vorhandenen Ware im Hochregallager verglichen hätte. Es wäre ihm nicht aufgefallen, wenn im Zug die Reisenden Bücher oder Tageszeitungen in Schwarzschrift gelesen hätten, die Eintrittskarte durch Abreißen entwertet worden wäre oder an Ausstellungsstücken im Museum alleinig schwarzschriftliche Schilder mit Erklärungen angebracht gewesen wären. Selbst wenn keine Möglichkeit zum bargeldlosen Bezahlen in der Kantine oder zum Betreten des Skilifts, des Fitnessstudios oder des Betriebes ohne menschliche Kontrolle bestand, hätte er sich nicht gewundert.“⁶

Heutzutage sind sogenannte Auto-ID-Systeme schon längst im Alltag angekommen und erleichtern das Leben. Durch die zunehmende Automatisierung in der Industrie steigt auch die Wichtigkeit, Daten von Personen und Waren in einer ausreichend guten Struktur zur Verfügung zu stellen. Die Daten werden von einem Auto-ID-System erfasst und anschließend weiterverarbeitet. Auto-ID-Systeme dienen der Identifizierung und der Wiedererkennung von Objekten oder Personen. Als Voraussetzung für eine Identifizierung benötigen sie jedoch eindeutige Identifikatoren. Daher ist das Unterscheidbarmachen von Gegenständen die Grundvoraussetzung für ein Auto-ID-System. Verschiedenste Techniken wie z. B. Strichcodesysteme, Zeichenerkennungssysteme, Speicherkartensysteme, RFID-Systeme und biometrische Identifikationsverfahren finden hierbei Anwendung.⁷

Um eine eindeutige Identifikation von Produkten zu gewährleisten, müssen einige entscheidende Anforderungen erfüllt sein. Zuerst muss darauf geachtet werden, dass die Lesesicherheit und der Leseabstand unter den jeweiligen Rahmenbedingungen erfüllt sind. Als Zweites muss die Lesegeschwindigkeit des Systems schnell genug für die geplante Verfahrensgeschwindigkeit sein. Die dritte Anforderung ist die Möglichkeit, ausreichende Mengen an Identifikationsmerkmalen am Produkt anbringen zu können. Eine weitere Anforderung ist das Sicherstellen der Kompatibilität. Hierbei handelt es sich um das Zusammenspiel mit anderen Geräten in der Supply Chain. Als letztes Kriterium ist die Kosteneffizienz für das Auto-ID-System und die dazugehörigen Betriebsmittel zu untersuchen.⁸ In der folgenden Abbildung ist eine Zusammenfassung der wichtigsten Auto-ID-Systeme abgebildet.

⁶ Müller (2017), S. 1.

⁷ Vgl. Müller (2017), S. 28 ff.

⁸ Vgl. Hompel; Büchter; Franzke (2008), S. 8.

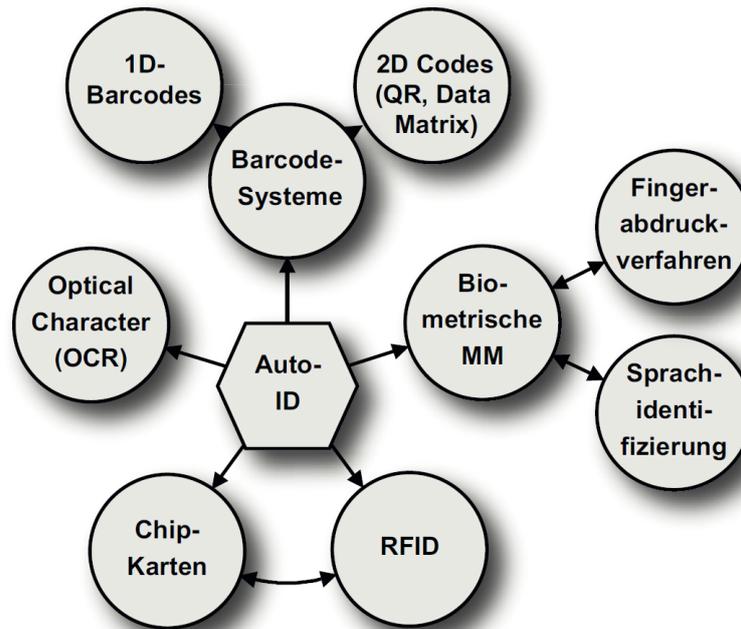


Abb. 2: Übersicht der automatischen Identifikationssysteme, Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 2.

3.1 Identifikationsmerkmale

Zur maschinellen Objekterkennung werden Identifikationsmerkmale herangezogen. Je nach Bedarf werden anstelle des Objektes nur gewisse Objekteigenschaften identifiziert. Die Objekteigenschaften können klassifiziert und darauf aufbauend die Objekte nach den Eigenschaften sortiert werden. Um einige Objekteigenschaften zu aufzuzählen, werden hierbei

- die Farbe,
- das Gewicht,
- der Werkstoff,
- die Abmessungen,
- das Volumen,
- die Temperatur und
- das Verpackungsmaterial beispielhaft genannt.

Eine Bestimmung des Objektes kann auch aus mehreren Eigenschaften hervorgehen.⁹

3.1.1 Natürliche Identifikationsmerkmale

„Die Biometrik ist die Disziplin der Vermessung quantitativer Identifikationsmerkmale von Individuen. Diese Merkmale dienen, als digitales Referenzmuster abgespeichert, entweder der Authentifikation oder der Identifikation. Bei der Authentifikation wird verifiziert, ob das Individuum einer definierten Gruppe von

⁹ Vgl. Hompel; Büchter; Franzke (2008), S. 10 f.

Individuen angehört, wogegen bei der Identifikation eine eindeutige Erkennung aus einem Kreis undefinierter Individuen vorgenommen wird. In beiden Fällen arbeitet das biometrische System mit der Methode des Vergleiches des Referenzmusters mit dem neu erfassten Muster.“¹⁰

Oftmals kommt es hierbei zu einer signifikanten Datenansammlung, was aufwendig zu verarbeiten für die Informationstechnologie ist. Zu den typischen natürlichen Identifikationsmerkmalen zählen unter anderen die Fingerabdrücke, das Gesicht, die DNA, die Körpergröße, die Retina, die Iris, die Stimme und die Unterschrift eines Menschen.¹¹

3.1.2 Künstliche Identifikationsmerkmale

Als künstliche Identifikationsmerkmale werden beispielsweise Telefonnummern verstanden. Firmenintern würde die Zuordnung der Telefonnummern an die jeweiligen Geräte für eine eindeutige Identifikation genügen. Nicht ausreichen würde die Identifikationsnummer (ID) bei Betrachtung von mehreren Firmen untereinander. Demzufolge werden für eine eindeutige ID mehrere zusammengesetzte Indikatoren benötigt, damit diese innerhalb eines Aktionsraumes eindeutig ist. Als Beispiel kann hier die Sozialversicherungsnummer herangezogen werden, welche aus mehreren Indikatoren besteht, nämlich dem Geburtsdatum und einer vierstelligen Zahlenfolge. Gespeichert werden diese Indikatoren auf unterschiedlichsten Materialien wie Papier, Magnetkarten oder RFID-Transpondern.¹²

3.2 Barcodesysteme

Dieses Unterkapitel beschäftigt sich mit optischen Codes. Es wird auf den generellen Aufbau von Barcodes, deren Vor- und Nachteile sowie deren Einsatzmöglichkeiten eingegangen.

Erfunden wurde der Barcode im Jahre 1949 von Bernard Silver und Normen Joseph Woodland. Beide waren Dozenten an der Drexel University of Philadelphia. Ein Supermarktleiter wollte damals eine Forschungsbitte an der Universität einreichen. Die Aufgabenstellung war es, Produktinformationen an den Kassen automatisch einlesen zu können. Nachdem die Bitte von der Universität abgelehnt wurde, nahmen Silver und Woodland die Aufgabenstellung selbst in die Hand. Gerüchten zufolge kam Woodland die entscheidende Idee während eines Strandbesuches. Dort malte er den sog. Morse-Code in den Sand und verlängerte die Punkte und Striche senkrecht, sodass Linien entstanden. Dies war somit die Geburtsstunde des Strichcodes. Im Jahre 1971 wurde das erste Produkt an einer Supermarktkasse eingescannt. Dies war eine Zehnerpackung Kaugummi. Seitdem findet sich der Barcode an verschiedensten Materialien wieder. In Industrie und Handel sind diese Codes nicht mehr wegzudenken.¹³

Seit der Erfindung des Barcodes steigt der Bedarf ständig an, Produkte in Industrie und Handel maschinenlesbar zu machen. Dies wird mit Hilfe von lesbaren Markierungen möglich gemacht. Dadurch ist

¹⁰ Hompel; Büchter; Franzke (2008), S. 11.

¹¹ Vgl. Hompel; Büchter; Franzke (2008), S. 11 f.

¹² Hompel; Büchter; Franzke (2008), S. 12 f.

¹³ Vgl. Iwantschew (2019), Online-Quelle [06.09.2020].

die Identifizierung der Produkte während des Produktionsprozesses, sowie in der Lieferkette, bis hin zum Endkunden möglich.¹⁴

3.2.1 Eindimensionale Barcodes

Der Barcode besteht aus mehreren parallel angeordneten Strichen und Abständen. Die Striche repräsentieren einen Binärcode und sind nach einem bestimmten Muster angeordnet. Die Abfolge von dünnen und dicken Strichen kann sowohl numerisch als auch alphanumerisch aufgefasst werden. Durch den Einsatz von Lasern ist es möglich, die Reflexionen der Striche abzutasten und zu identifizieren. Heutzutage ist der European Artikel Number Code, kurz EAN-Code, der weltweit meistverbreitete Strichcode. Der EAN-Code ist die Weiterentwicklung des amerikanischen UPC-Codes (Universal Product Code). Durch die internationale Standardisierung des EAN-Codes und die Vergabe der Nummernbereiche an die jeweiligen Staaten ist dieser Code eindeutig. Von links beginnend stehen die ersten drei Ziffern für die Länderkennung, die nächsten drei bis fünf Ziffern für die Unternehmensnummer und die restlichen Ziffern spezifizieren das Produkt. In Summe stehen 13 Ziffern zur Verfügung.¹⁵ Da es mit diesem Code leicht möglich ist, 13 Ziffern aufzunehmen, wird dieser vorwiegend in Warenhäusern und Supermärkten eingesetzt. In der folgenden Abbildung ist ein EAN13-Strichcode abgebildet.



Abb. 3: EAN13-Strichcode, Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 4.

3.2.2 Weiterentwicklung des 1D-Barcodes

Bisher war der Strichcode, der vorwiegend an Handelsverpackungen angebracht ist, sehr erfolgreich. Jedoch weisen diese Arten von Codes einige Nachteile auf, beispielsweise die analoge Datencodierung, die sich auf die Vermessung von Strichbreiten und Abständen bezieht. Weiterhin benötigen die Codes Platz an den Produkten, vor allem, wenn größere Datenmengen durch 1D-Code abgebildet werden sollen. Weitere Einschränkungen sind die geringe Datensicherheit und die Lesbarkeit aus nur einer Richtung. Infolgedessen ergibt sich ein gewisser Bedarf nach Weiterentwicklung dieser Codes.¹⁶

Da mit den einfachen Codes nur Ziffern abgebildet werden können, entstand zunächst der Bedarf nach einem größeren Zeichensatz. Es wurden neue Codes entwickelt, welche nicht nur Ziffern, sondern auch Klein- und Großbuchstaben sowie einige Sonderzeichen abbilden können. Einer der populärsten Barcodes,

¹⁴ Vgl. Bartneck; Weinländer (2008), S. 41.

¹⁵ Vgl. Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 2 f.

¹⁶ Vgl. Bartneck; Weinländer (2008), S. 41.

der diese Bedingungen erfüllt, ist der Barcode Code 39. Nachteilig bei diesem Code ist dessen Gesamtlänge. Basierend auf diesem Barcode wurde deshalb der Code 128 entwickelt. Der Code 128 weist eine sehr hohe Datendichte auf einem kleineren Raum als der Code 39 auf. Überdies können mit ihm alle Zeichen der ASCII-Tabelle abgebildet werden.¹⁷ Beide Codes sind vor allem in der Industrie weit verbreitet. In der folgenden Abbildung sind die beiden Barcodes abgebildet.

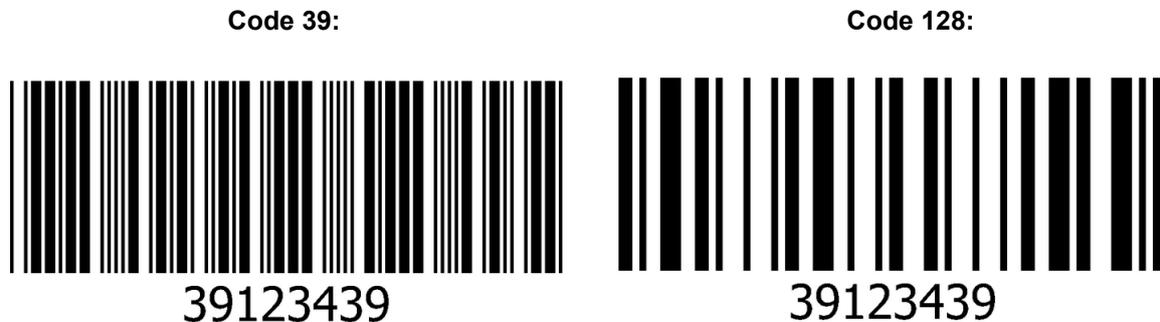


Abb. 4: Code 39 und Code 128, Quelle: Strekkodernorge, Online-Quelle [08.11.2020].

3.2.3 Zweidimensionale Barcodes

Durch die Entwicklung des zweidimensionalen Barcodes konnten die Schwächen des eindimensionalen Barcodes beseitigt werden. Die Ziele der Entwicklung waren

- die Reduktion des Platzbedarfes,
- die Vereinfachung des omnidirektionalen Lesens,
- die Toleranz bzgl. geringerer Kontraste aufgrund digitaler Codierung,
- die Erhöhung des codierbaren Datenvolumens sowie
- die Erhöhung der Lesesicherheit durch leistungsfähigere Fehlerkorrektur.

Nebenbei wurden einige Verfahren entwickelt, um Werkstücke mechanisch mit zweidimensionalen Codes zu markieren. Solche Markierverfahren an Werkstücken werden als „Direkt Part Marking“ (DPM) bezeichnet. Die Direktmarkierung wirkt sich insbesondere vorteilhaft auf die Lebensdauer der Markierung aus, da die Direktbedruckung eine höhere Robustheit gegenüber äußeren Einflüssen aufweist als die Beschilderung mit Codes an Werkstücken. Ebenso wird der Verlust des Codes durch Direktbedruckung erschwert.¹⁸

Seit Ende der 1980er-Jahre wird der als DataMatrix-Code bezeichnete 2D-Code in der Industrie eingesetzt. Durch seine Form lassen sich bis zu 1556 Bytes oder 235 ASCII-Zeichen kodieren.

Im Jahre 1994 wurde der QR-Code entwickelt. Das Entwicklungsziel dieses Codes war es, die Baugruppen und Bauteile eines Konzernes von der Anlieferung bis zur Auslieferung zu identifizieren. Dieser Code weist eine quadratische Form auf und besitzt drei Eckformen. In Abhängigkeit von der Art des Fehlerkorrektur-

¹⁷ Vgl. Schneider (2019), Online-Quelle [08.11.2020].

¹⁸ Vgl. Bartneck; Weinländer (2008), S. 41 f.

Levels kann dieser Code teilweise auch noch bei einer 30-prozentigen Zerstörung ausgelesen werden. QR-Codes finden heutzutage nicht nur in der Industrie, sondern auch an ganz unterschiedlichen Einsatzgebieten wie Eintrittskarten, Postern oder Visitenkarten Verwendung. Diese QR-Codes können ebenfalls mithilfe der Kamera eines Smartphones ausgelesen werden. Die im Code gespeicherten Daten können Informationen, wie Texte, Verweise auf Webseiten, und viele mehr beinhalten. Der Speicherbereich eines QR-Codes beläuft sich auf 2953 Bytes oder 4296 ASCII-Zeichen.¹⁹ In der folgenden Abbildung sind auf der linken Seite ein DataMatrix-Code und auf der rechten Seite ein QR-Code abgebildet.

DataMatrix-Code:



QR-Code:



Abb. 5: 2D-Codes, Quelle: Laserax (2019), Online-Quelle [06.09.2020].

Neben den gewöhnlichen schwarz-weißen Barcodes wurden auch farbige zweidimensionale Barcodes entwickelt, High-Capacity-Color-Barcode (HCCB) genannt. Durch die Einbringung der Farbe wird eine wesentlich höhere Datendichte auf gleichem Raum wie ein normaler zweidimensionaler Barcode erreicht. Diese farbigen Codes zählen bereits zu den 3D-Codes. Entwickelt worden ist dieser Barcode von der Firma Microsoft. Es besteht die Möglichkeit zur Speicherung von 3500 Zeichen auf circa 6,45 cm². Aufgebaut ist der HCCB-Code aus kleinen Dreiecken, welche aus vier oder acht verschiedene Farben bestehen. Außerdem besitzt der Barcode eine Fehlerkorrektur bei der Kanalcodierung. Zurzeit findet dieser Barcode im Bereich des „Mobile-Tagging“ Anwendung.²⁰ In der folgenden Abbildung ist solch ein farbiger Barcode ersichtlich.

¹⁹ Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 3 f.

²⁰ Lipinski (2012), Online-Quelle [08.11.2020].

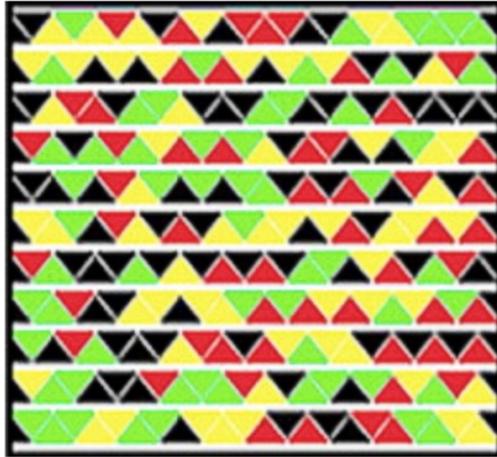


Abb. 6: Farbiger Barcode (HCCB), Quelle: Lipinski (2012), Online-Quelle [08.11.2020].

3.2.4 Optische Kopplung zur Code-Identifizierung

Durch den Einsatz von Barcodescannern können verschiedene Codes optisch erfasst werden. Das Prinzip beruht auf der Reflexion und Kontraständerung von Licht auf einer Oberfläche. Grundvoraussetzung für die Funktion sind eine definierte Lichtquelle und ein lichtempfindlicher Empfänger. Als Lichtquelle werden meist Laserdioden oder Gaslaser eingesetzt. Als Fotoelemente dienen Fototransistoren. Diese erfassen die reflektierenden Lichtstrahlen und wandeln sie in elektrische Signale um. In der folgenden Abbildung ist das Funktionsprinzip abgebildet.²¹

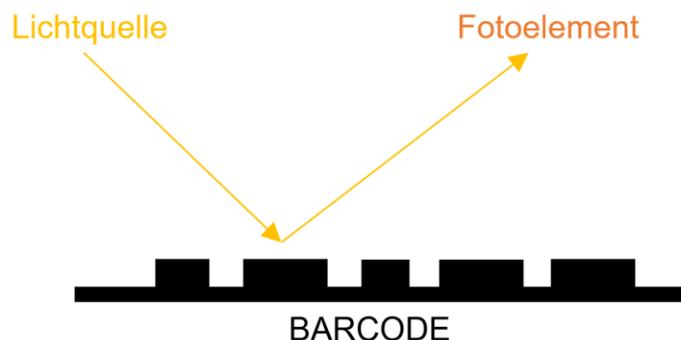


Abb. 7: Prinzip optische Kopplung, Quelle: Eigene Darstellung.

Da in der Regel nicht nur ein Lichtpunkt erfasst werden muss, sondern eine Zeile oder eine Fläche, wird hierbei zwischen einer seriellen und einer parallelen Erfassung unterschieden. Bei der Parallelerfassung sind mehrere Fototransistoren nebeneinander oder in Form einer Matrix angeordnet und können somit die Information übertragen. Auf diese Weise lassen sich Strichkodierungen erfassen, ebenfalls wird diese

²¹ Krämer (2002), S. 94 f.

Technik zur Klarschrifterkennung eingesetzt.²² Das Thema Klarschrifterkennung (optical character recognition) wird im folgenden Unterkapitel erläutert.

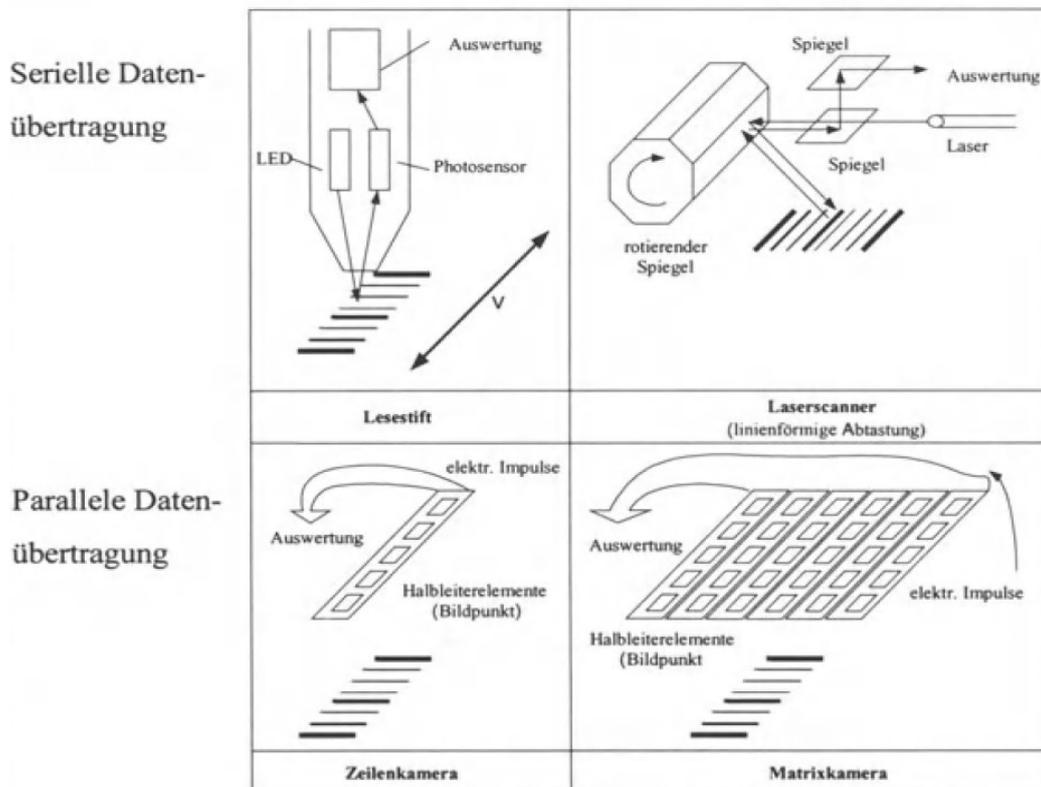


Abb. 8: Informationsträger zur optischen Detektion, Quelle: Krämer (2002), S. 96.

3.2.5 Risiken und Schwächen eines Barcodesystems

Nur durch Einhaltung von bestimmten Grundbedingungen kann ein Barcodesystem reibungslos funktionieren. Der Barcode darf nicht zerkratzt bzw. zerstört werden, da es dann nicht mehr möglich ist, den Code mithilfe eines Barcodescanners zu lesen. Außerdem muss der eingesetzte Barcode im System bekannt sein. Wird ein Barcode eingesetzt, welcher ein hochauflösendes Druckbild und somit viele Informationen beinhaltet, so muss sichergestellt sein, dass auch der Barcodedrucker eine dementsprechende Druckqualität liefern kann. Bei Druckern mit integriertem Barcodegenerator funktioniert dies meist reibungslos. Bei einer automatisierten Bestandsaufnahme beinhaltet das Barcodesystem einige Tücken. Es muss immer ein Sichtkontakt zwischen dem Barcode und dem Scanner bei der Identifizierung bestehen. Des Weiteren können die Artikel nur hintereinander aufgenommen werden, d. h. in einem sequentiellen Ablauf. Dieses Abscannen ist ggf. sehr zeitaufwendig, deshalb setzen sich zur automatischen Bestandsaufnahme zunehmend andere Auto-ID-Verfahren wie die RFID-Technologie durch. Mit diesen ist es möglich, Inventarisierungen per Knopfdruck durchzuführen.²³

²² Vgl. Krämer (2002), S. 96.

²³ Vgl. Stanger, Online-Quelle [20.09.2020].

3.2.6 Anwendungsgebiete

Anwendung finden Barcodesysteme überwiegend in Supermärkten, da lediglich der Barcode eingescannt werden muss, um den Artikel zu identifizieren. Ebenso werden Barcodesysteme in der Lagerhaltung eingesetzt. Bei einer Inventarisierung muss zur Artikelidentifizierung ebenfalls nur der Barcode eingescannt werden. In der Lagerhaltung werden Barcodesysteme auch für den automatischen Bestellvorgang eingesetzt. Wird bei der Entnahme eines Artikels der Barcode eingescannt und somit die kritische Mindestbestandsmenge im Lager unterschritten, kann automatisiert ein Bestellvorgang ausgelöst werden. Im Logistikbereich spielt der Barcode eine bedeutende Rolle. Bei einer Kommissionierung werden die Auftragspapiere eingescannt. Infolgedessen kann in dem Logistiksystem festgestellt werden, welche Artikel zu welchem Auftrag zu kommissionieren sind.²⁴

3.3 Optical Character Recognition

Die Fortschritte in der IT haben es inzwischen ermöglicht, menschliche Handlungen wie das Lesen oder das Schreiben mit einem Computer nachzuahmen. Die Forschung in optical character recognition (OCR) lassen sich bis in die frühen 1950er-Jahre zurückverfolgen, als Wissenschaftler versuchten, Bilder und Zeichen von Texten zu erfassen. Die ersten geglückten Versuche, Papier zu scannen, waren langsam und es konnte durch die Bewegung des Scanners oder des Papierträgers jeweils nur eine Zeile mit Zeichen digitalisiert werden. Beschleunigt wurde das Scannen durch die Entwicklung von Trommel- und Flachbettscannern, mit denen sich bereits vollständige Seiten scannen ließen. Weitere Fortschritte brachten integrierte Schaltkreise. Dadurch verbesserte sich die Geschwindigkeit beim Scannen und bei der digitalen Konvertierung der Daten. Ebenso wurde hierdurch auch die Zeichenerkennung maßgeblich verbessert, die Produktionskosten gesenkt und es wurde möglich, eine Vielfalt an Formularen und Dokumenten zu verarbeiten. In den 1960er- und 1970er-Jahren entstanden OCR-Anwendungen für Eisenbahn- und Flugzeugunternehmen, Banken, Einzelhandelsgeschäfte und andere Branchen. Zeitgleich wurde in den akademischen und industriellen Labors intensiv an der Zeichenerkennung geforscht. OCR-Maschinen waren in den 1960er-Jahren aufgrund von Leistungsdefiziten der damaligen Computer, der schlechten Druckqualität, der großen Unterschiede in den Schriftarten sowie der Rauheit des Papierses noch stark fehlerbehaftet.²⁵ Seit der Entwicklung von speziellen Schrifttypen im Jahre 1968 können Schriften nicht nur von Menschen gelesen, sondern maschinell durch Klarschriftlaser erfasst werden. Ein Vorteil gegenüber anderen Technologien ist die hohe Informationsdichte. Verwendung finden OCR-Schriften überwiegend bei Formularen und ähnlichen Schriftstücken.²⁶

Heutzutage wird OCR beispielsweise in der Industrie zur Bauteilüberprüfung und in Banken zum automatisierten Lesen von Überweisungsbelegen eingesetzt. In der folgenden Abbildung ist ein OCR-Sensor ersichtlich, welcher Bauteile auf ihre richtige Nummerierung überprüft.

²⁴ Vgl. Stanger, Online-Quelle [20.09.2020].

²⁵ Cheriet (2007), S. 2.

²⁶ Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 4 f.

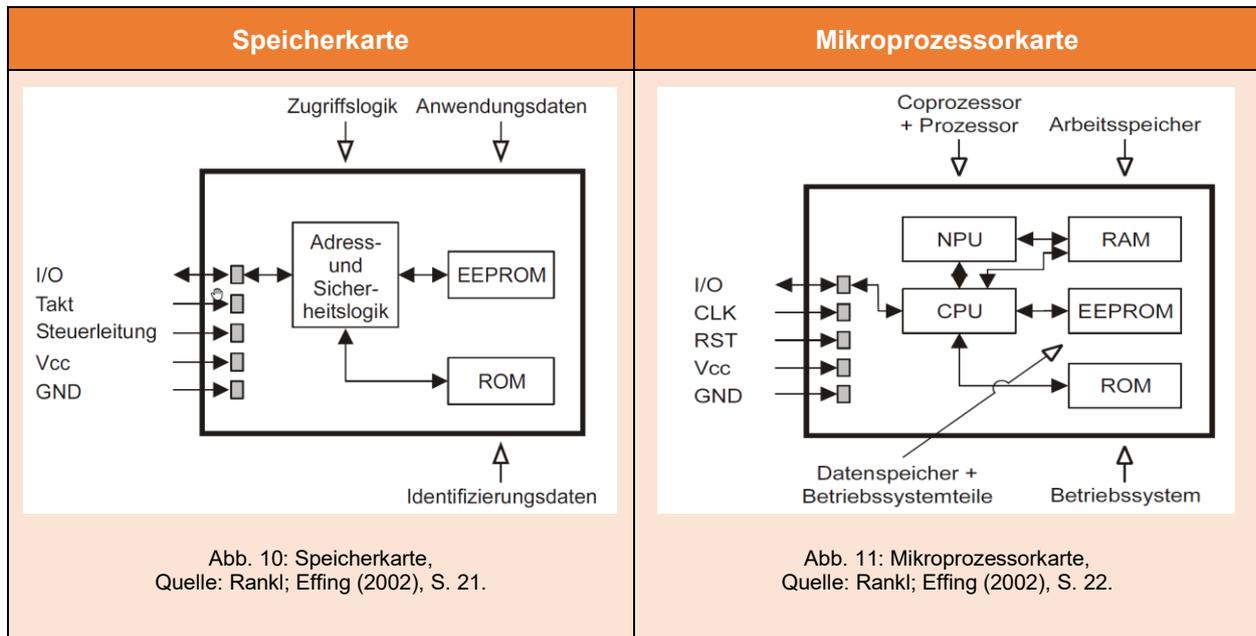


Abb. 9: OCR-Sensor, Quelle: Keyence Deutschland (2020), Online-Quelle [11.11.2020].

3.4 Chipkarte

Die Chipkarte gilt als die neueste Technologie in der Gruppe der Identifikationskarten im ID-1-Format. Durch integrierte Schaltkreise ist es möglich, Daten zu speichern und zu verarbeiten. Die Kommunikation erfolgt entweder taktil oder kontaktlos durch elektromagnetische Felder. Bei einem Vergleich mit einer gewöhnlichen Magnetstreifenkarte zeigt die Chipkarte einige Vorteile, zum Beispiel eine vielfach größere Speicherkapazität. Ein wichtiger Vorteil der Chipkarte gegenüber Magnetstreifenkarten ist die Möglichkeit, die gespeicherten Daten gegen unerlaubten Zugriff und Manipulation zu schützen. Weitere Vorteile sind die hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer im Vergleich zu Magnetstreifenkarten, deren Haltbarkeit sich auf ein paar Jahre beschränkt. Aufgrund des großen Preisunterschiedes wird zwischen Speicherkarten und Mikroprozessorkarten unterschieden. Die Speicherkarten besitzen einen Speicher, meistens ein EEPROM, in den die Daten abgelegt werden. Mithilfe von Sicherheitslogik wird der Zugriff auf die Speicherkarte kontrolliert. Oftmals bestehen diese Sicherheitslogiken aus einem einfachen Schreib- oder Löscheschutz. Es gibt aber auch komplexere Sicherheitslogiken mit einem höheren Sicherheitslevel, die einfache Verschlüsselungen von Daten durchführen können. Die Datenübertragung erfolgt über den I/O-Port der Speicherkarte. Im Gegensatz zu Speicherkarten besitzen Mikroprozessorkarten als Herzstück einen Prozessor. Für gewöhnlich ist dieser Prozessor von vier Funktionsblöcken umschlossen, nämlich dem Masken-ROM, dem EEPROM, dem RAM und dem I/O-Port. Das Betriebssystem kommt aus dem Masken-ROM. Der remanente Speicher, das EEPROM, dient als Speicherbereich des Chips. Dort werden die Daten und der Programmcode unter der Aufsicht eines Betriebssystems verändert. Als Arbeitsspeicher dient das flüchtige RAM. Wird die Versorgungsspannung unterbrochen, verliert das RAM seine Daten. Die Kommunikation mit der Außenwelt wird durch das I/O-Port der Mikroprozessorkarte sichergestellt. Durch den physikalischen Aufbau der Mikroprozessorkarten sind diese für verschiedene Anwendungsfälle einsetzbar. In Bezug auf moderne Chipkartenbetriebssysteme ist es möglich, mehrere Anwendungen in einer einzigen Karte zu implementieren. Bei modernen Mikroprozessorkarten ist es sogar möglich, Anwendungen später zu laden, nachdem die Karte personalisiert und an den Besitzer ausgehändigt

worden ist.²⁷ In den folgenden Abbildungen ist auf der linken Seite ein schematischer Aufbau einer Speicherkarte und auf der rechten Seite eine Mikroprozessorkarte abgebildet.



3.5 RFID

„Während die Radiofrequenz-Identifikation (RFID) in der Vergangenheit vor allem zur Tieridentifikation, in Wegfahrsperrern und zur Zugangskontrolle u. a. bei Ski-Anlagen eingesetzt wurde, erweitert sich das Anwendungsfeld nun zunehmend. Die öffentliche Thematisierung der RFID-Transpondertechnik durch das Auto-ID Center und der geplante Einsatz in der Lieferkette von Handelsunternehmen (wie beispielsweise Wal-Mart und Metro) oder in den Logistikprozessen des amerikanischen Verteidigungsministeriums haben dazu geführt, dass den Potenzialen der Technologie zur Verbesserung betriebswirtschaftlicher Prozesse zunehmende Bedeutung geschenkt wird. Insbesondere die Vermeidung von Medienbrüchen steht hier im Vordergrund, da die kontaktlose, automatische Identifikation durch die RFID-Transpondertechnik es erlaubt, die Lücke zwischen der realen Welt der physischen Objekte und Produkte einerseits und der digitalen Welt in Form von Warenwirtschaftssystemen und SCM-Lösungen andererseits zu verkleinern. Die Folge sind u.a. niedrigere Fehlerquoten, höhere Prozesseffizienz, gesteigerte Produktqualität sowie Kosteneinsparungen durch schnellere und bessere Informationsverarbeitung.“²⁸

Zu beachten gilt hierbei aber, dass die Detektion und die Abbildung von betrieblichen Realwelt-Vorgängen immer einen gewissen Aufwand bedeuten. Infolgedessen muss der Nutzen eines RFID-Systems größer sein als die entstandenen Aufwände. Werden RFID-Komponenten in der industriellen Fertigung eingesetzt, ergibt sich der Nutzen aus den technischen Gegebenheiten der RFID-Technologie. Dadurch können

²⁷ Rankl; Effing (2002), S. 20 f.

²⁸ Fleisch; Mattern (2005), S. 69.

betriebliche Prozesse effizienter aufgesetzt werden. Der generelle Nutzen von RFID-Systemen beschränkt sich nicht nur auf Kosteneinsparung und Einsparungen von Personal (z.B. beim manuellen Zählen von Gütern), sondern es lassen sich weitere Nutzen aus den gewonnenen Daten ziehen. Mithilfe der vier Dimensionen, nämlich der Zeitgranularität, der Objektgranularität, der Messstrecke und der Semantik lässt sich der Nutzen, aus einem RFID System genauer erklären.²⁹

3.5.1 Klassifizierung von RFID-Systemen

Je nach Erfordernis können unterschiedliche RFID-Systeme zum Einsatz kommen. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal ist die Art der Energieversorgung von Transpondern. Hierbei wird zwischen aktiven und passiven Systemen unterschieden.

Passive Transponder besitzen keine eigenständige Stromversorgung wie z.B. eine Batterie oder einen Akkumulator. Um trotzdem mit dem Reader kommunizieren zu können, gehen die Transponder eine magnetische oder elektromagnetische Koppelung mit der Antenne des Lesegerätes ein. Dadurch werden sie mit genügend Energie versorgt, um mit der Leseeinheit kommunizieren zu können. Ein Nachteil der passiven Transponder, hervorgerufen durch die fehlende Stromversorgung, ist die kürzere Reichweite und ein geringeres Datenvolumen im Chip. Aus diesem Grund werden passive Transponder vorwiegend dort eingesetzt, wo nur geringe Reichweiten bis einigen Metern zur Kommunikation gefordert sind. Das Pendant dazu ist der aktive Transponder. Dieser wird durch eine Spannungsversorgung mit Energie versorgt. Aufgrund der eingebauten Antenne erzielen aktive Transponder eine signifikant größere Reichweite als passive Transponder. Hierbei können Reichweiten von bis zu 300 Meter erzielt werden. Sobald eine Leseeinheit ein spezielles Funksignal ausstrahlt, wird die Antenne des aktiven Transponders aktiviert und fängt an zu kommunizieren. Ein weiteres Merkmal ist die meist größere Speicherkapazität mit bis zu 256 kBit. Verwendung finden aktive Transponder vorwiegend zur Markierung von Containern und größeren Objekten und ermöglichen somit die Ortung und Verfolgung über eine größere Strecke. Eine Variante der aktiven Transponder sind Beacons. Diese werden nicht durch ein Funksignal der Leseeinheit geweckt, sondern senden Daten in einem voreingestellten Intervall aus. Sie finden Anwendung bei Systemen, bei denen der Ort des Objektes ständig bekannt sein muss. Diese Systeme werden als Realtime Locating Systems (RTLS) bezeichnet. Ein Anwendungsbeispiel ist die Automobilindustrie. Einige Automobilhersteller montieren diese Transponder am Ende der Fertigung an den Fahrzeugen, bevor sie die Neuwagen auf den Betriebsparkplätzen abstellen. Da dort RFID-Leseeinheiten installiert sind, ist es jederzeit möglich, Standort und Anzahl der Fahrzeuge genau zu bestimmen. Die Folge davon sind kürzere Umschlagszeiten, weniger Lagerbestand und eine Steigerung der Kundenzufriedenheit. Das zweite wesentliche Unterscheidungsmerkmal bei RFID-Systemen ist die Art der Datenspeicherung bei der Identifikation eines Objektes. Die Daten werden entweder direkt auf dem RFID-Transponder gespeichert oder es wird nur die ID des Transponders ausgelesen und die Daten samt ID auf einer Datenbank gespeichert, welche sich auf einem Server befindet. Bei der Methode „Data-on-Network“ werden die Informationen eines gechippten Objektes in einer unternehmensinternen Datenbank gesichert. Mithilfe einer eindeutigen Identifikationsnummer erfolgt lediglich die Identifikation der Objekte. Bei der Vergabe der

²⁹ Müller (2017), S. 33.

Seriennummer sollte ein standardisiertes Nummerierungsschema eingesetzt werden. Der Electronic Product Code (EPC) kann hier beispielsweise zur Verwendung angeführt werden. Bei der Methode „Data-on-Tag“ werden die Nutzdaten nicht in eine Datenbank, sondern direkt auf einen Transponder geschrieben. Dadurch entfällt das Auslesen der Daten aus einer Datenbank und überdies sind die Daten sofort verfügbar. Aufgrund der Datenspeicherung direkt am Transponder ist es möglich, die Daten mit jedem RFID-Reader auszulesen. Eine Ankoppelung des Readers an die Datenbank der Transponder ist somit hinfällig. Die höhere Speicherkapazität bei der „Data-on-Tag“-Methode spiegelt sich auch im höheren Einkaufspreis wieder. Als drittes Unterscheidungsmerkmal bei RFID-Systemen gilt die eingesetzte Kommunikationsfrequenz. Hierbei wird zwischen Low Frequency (LF), High Frequency (HF), Ultra High Frequency (UHF) und Super High Frequency (SHF) unterschieden.³⁰

Durch die Unterteilung der Frequenzen in vier Bandbreiten finden RFID-Systeme bei verschiedensten Einsatzreichweiten und Verwendungsszenarien Anwendung. In den folgenden Unterkapiteln wird genauer auf die einzelnen Einsatzfrequenzen sowie die allgemeinen Grundkomponenten eines RFID-Systems eingegangen.

3.5.2 Grundfunktionen und Komponenten eines RFID-Systems

Im Allgemeinen besteht ein RFID-System immer aus mehreren Komponenten. Es werden ein Rechner, ein Lesegerät samt Antenne zur Kopplung sowie ein RFID-Transponder benötigt. Für die Kommunikation zwischen dem Rechner und der Leseinheit wird eine serielle oder eine netzwerkfähige Schnittstelle eingesetzt. Die Leseinheit dient entweder dazu, die Transponder nur auszulesen, oder bei Bedarf auch Schreibvorgänge auf den Transpondern auszuführen. Das Programm, welches am Rechner installiert ist, schickt Befehle an das Lesegerät und bekommt im Gegenzug Antwortdaten zurück. Beispielfhaft kann hier der Befehl für das Auslesen der ID aller Transponder im Lesebereich angeführt werden. Dadurch werden alle Transponder, die sich im Lesebereich der Antenne befinden, durch das magnetische bzw. elektromagnetische Wechselfeld mit Energie versorgt und empfangen die von der Leseinheit mittels Antenne ausgestrahlten Befehlsdaten. Nach dem Empfang der Daten werden die Antwortdaten generiert und zurück an die Leseinheit übermittelt.³¹ Zum besseren Verständnis sind in der folgenden Abbildung die Grundkomponenten eines RFID-Systems abgebildet.

³⁰ Weigert (2006), S. 25 ff.

³¹ Fleisch; Mattern (2005), S. 70.

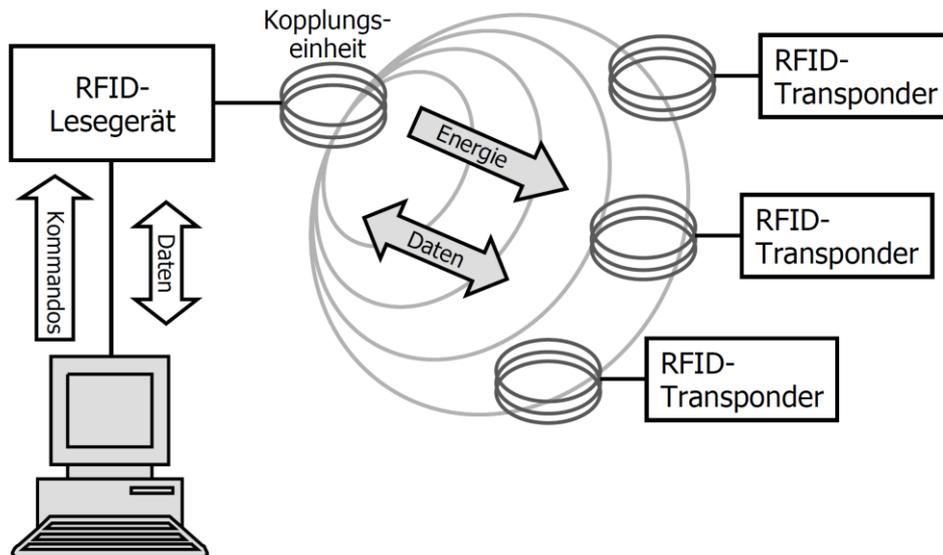


Abb. 12: Die Komponenten eines RFID-Systems, Quelle: Fleisch; Mattern (2005), S. 71.

3.5.2.1 Leseinheit

„Die Aufgaben eines RFID-Lesegeräts liegen darin, die Kommunikation zu den angeschlossenen Informationssystemen zu gewährleisten bzw. die empfangenen Steuerbefehle auszuführen, die Verbindung zu den Transpondern herzustellen, die Antikollision und Authentifizierung zu gewährleisten, Daten vom Transponder auszulesen und zu schreiben oder auch einen Kill-Befehl auszuführen und den RFID-Transponder damit zu deaktivieren.“³²

Der Begriff Lesegerät ist die übliche Bezeichnung, unabhängig davon, ob das verwendete Gerät als Lese- oder Schreibgerät für RFID-Transponder Verwendung findet. Als mobiles Gerät oder auch Handheld werden Lesegeräte bezeichnet, welche gleichzeitig Antenne und Lesegerät repräsentieren. Sie sind zumeist klein und kompakt. Bei stationären Lesegeräten ist das Lesegerät über ein Kabel mit der externen Antenne verbunden. Es ist auch möglich, dass mehrere Antennen an ein Lesegerät angeschlossen sind. Dadurch wird die Reichweite des Lesegerätes erhöht. Als Anwendungsbeispiel kann hier ein RFID-Tor herangezogen werden, welches in der folgenden Abbildung dargestellt ist. Bezüglich der Kosten von RFID-Leseeinheiten wie von Transpondern schwanken die Preise zwischen einigen hundert Euro und mehreren tausend Euro. Beim Einsatz von RFID-Toren samt Gerüst, Verwendung von mehreren Antennen sowie der gesamten Verkabelung sind die Kosten dementsprechend höher angesiedelt.³³

³² Tamm; Tribowski (2010), S. 17.

³³ Vgl. Tamm; Tribowski (2010), S. 17 f.



Abb. 13: Anwendung RFID-Tor, Quelle: Vendita Sigilli di Sicurezza e Garanzia (2018), Online-Quelle [11.11.2020].

3.5.2.2 Antenne des Readers

Für die meisten Anwendungen genügen Einzelantennen. Im Allgemeinen gilt, je größer die Antennenfläche, desto größer ist die Lesereichweite. Dies gilt für das Lesegerät wie auch für die Transpondergröße.

Die Baugröße und die Formgebung der Antenne können je nach Verwendungszweck sehr unterschiedlich sein. Faktoren wie die Reichweite, die Detektion von mehreren Bauteilen zur gleichen Zeit, die geforderte Mindestschutzart der Antenne, die eingesetzte RFID-Technologie oder die verwendete Frequenz tragen maßgebend zur Formgestaltung bei. Zumeist werden RFID-Antennen über eine koaxiale Leitung an das Lesegerät angeschlossen. Durch sachgemäße Verlegung der Leitungen können Schäden wie Knicke, die zu einem höheren Wellenwiderstand führen, vermieden werden. Ein höherer Wellenwiderstand hat die Folge, dass die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems herabgesetzt wird.³⁴

Wichtig bei der Auswahl der Antenne ist die Art der Polarisation der Antenne. Grundsätzlich gibt es hierbei zwei unterschiedliche Arten von Antennen, nämlich die zirkular polarisierende und die linear polarisierende Antennenform. Eine zirkular polarisierte Antenne eignet sich gut für Anwendungen, bei denen der Standort des getaggtten Artikels nicht bekannt ist oder in verschiedenen Ebenen liegt. Aufgrund dessen, dass das Antennenfeld rotiert, erlaubt es eine etwas größere Positionsunsicherheit der getaggtten Gegenstände. Als beispielhafter Einsatzbereich sei hierbei die Identifikation von palettierten Kisten genannt, die durch ein Gate geschleust werden. Wenn eine linear polarisierte Antenne Wellen auf einer horizontalen Ebene ausstrahlt, sollte das Empfangsetikett ebenfalls horizontal und in gleichbleibender Höhe angeordnet sein.³⁵ In der folgenden Abbildung ist die Wellenausbreitung einer linear und einer zirkular polarisierenden Antenne abgebildet.

³⁴ Vgl. Bartneck; Weinländer (2008), S. 30 f.

³⁵ Vgl. atlasRFIDstore (2020), Online-Quelle [14.09.2020].

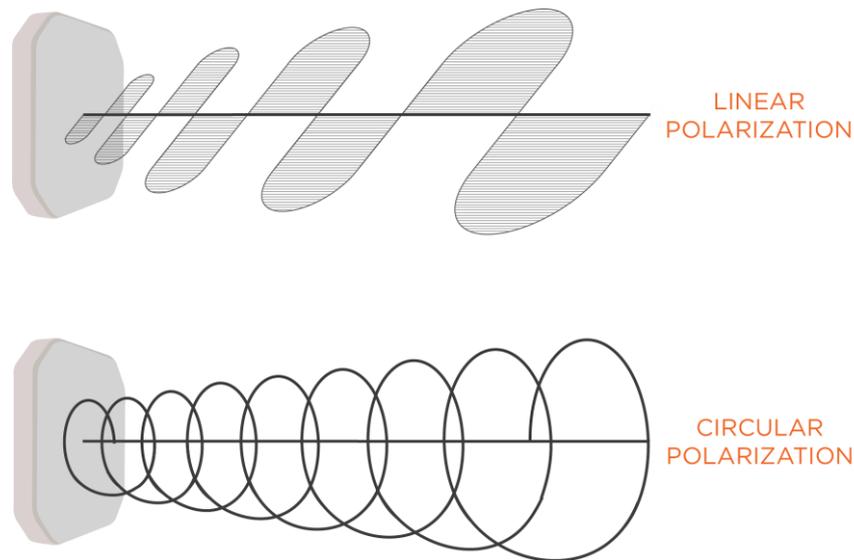


Abb. 14: Linear und zirkular polarisierende RFID-Antenne, Quelle: atlasRFIDstore (2020), Online-Quelle [14.09.2020].

Das wichtigste Merkmal einer RFID-Antenne aus Benutzersicht ist in der Regel die Lesereichweite – das bedeutet, wie weit die Wellen in ein geometrisches Feld ausstrahlen. Mehrere Faktoren bestimmen die von einer RFID-Antenne erzeugte Lesereichweite, wie z. B. die Sendeleistung des Lesegeräts, die Verlustleistung durch das Kabel, die Kopplungstechnik, der Antennengewinn und die Antennenstrahlbreite. Entscheidend ist bei jeder RFID-Antenne, ob es sich um eine Fernfeld- oder Nahfeldantenne handelt. Der Unterschied zwischen den beiden liegt in der Art und Weise der Kommunikation mit einem RFID-Tag. Bei Nahfeldantennen beruht diese normalerweise auf einer magnetischen oder induktiven Kopplung. Nahfeldantennen können in der Regel nur mit Transpondern in wenigen Zentimetern Entfernung kommunizieren. Im Gegensatz basiert die Kommunikation bei Fernfeldantennen auf der Rückstreuung. Rückstreuung ist eine Kommunikationsmethode, bei der die Antenne Energie an den Transponder übermittelt, der den Mikrochip mit Energie versorgt. Beim Einsatz von Fernfeldantennen ist es in einer optimalen Umgebung möglich, bis zu einige Meter weit zu kommunizieren.³⁶

3.5.2.3 Transponder

Es wird in der RFID-Technologie zwischen drei verschiedenen Transponderarten unterschieden, den passiven, aktiven und semi-aktiven Transpondern. Bei den aktiven Transpondern ist eine Batterie als Energiequelle inkludiert. Bei den passiven Systemen beziehen die Transponder die Energie aus einer induktiven Kopplung mit der Antenne. Die dritte Transponderart, die semi-aktiven Transponder, zählen sowohl zu den aktiven als auch zu den passiven Transpondern. Grund dafür ist, dass bei Überschreitung einer maximal geforderten Lesereichweiten eine Batterie die benötigte Energie zur Kommunikation bereitstellt. Findet eine induktive Kopplung eines semi-aktiven Transponders statt, kann die Batterie durch das magnetische Feld aufgeladen werden. Durch die hohen Kosten sind semi-aktive Transponder auf Spezialanwendungen beschränkt.³⁷ In der folgenden Abbildung sind Transponder verschiedener Größen abgebildet.

³⁶ Vgl. atlasRFIDstore (2020), Online-Quelle [14.09.2020].

³⁷ Vgl. Kern (2006), S. 47.



Abb. 15: Verschiedene Transpondergrößen, Quelle: Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 14.

3.5.2.4 Betriebsarten der Transponder

Hinsichtlich der Betriebsarten werden das Vollduplex-Verfahren, das Halbduplex-Verfahren und das sequentielle Verfahren unterschieden. Anwendung finden diese Systeme bei Transpondern, deren Kommunikation mit dem Lesegerät über den Umfang von einigen Bits hinausgeht. Bei den beiden Duplexverfahren findet eine permanente Energieversorgung vom Lesegerät zum Transponder statt, ansonsten gibt es keine Gemeinsamkeiten bei den Verfahren. Die Übertragung der Daten vom Transponder zur Leseinheit findet beim Halbduplexverfahren zeitversetzt statt. Überwiegend wird hierbei das Verfahren „Lastmodulation“ verwendet. Kommt ein Transponder in den Lesebereich der RFID-Antenne, wird Energie aus dem Feld entzogen und somit wird der Transponder von dem Lesegerät wahrgenommen. Zur Datenübermittlung zwischen den beiden Geräten werden sogenannte Lastwiderstände ein- und ausgeschaltet. Infolgedessen entstehen im Feld Spannungsänderungen. Diese können nun von den Geräten interpretiert und verarbeitet werden. Die Lastmodulation wird vorwiegend bei Systemen bis zu 30 MHz verwendet. Eine Weiterentwicklung dieses Verfahrens ist die Lastmodulation mit Hilfsträgern. Grund für die Weiterentwicklung sind die physikalischen Einflüsse, welche auf die Transponder und Antennen in Form von Spannungsunterschieden einwirken. Ohne Hilfsträger ergäbe sich lediglich ein geringes Nutzsignal, das nur mit technisch aufwendigen Schaltungen erfassbar ist. Wird im Transponder die Taktfrequenz gesteigert, so entstehen zwei Spektrallinien. Somit werden auf den gleichen Frequenzen zwei Signale vom Transponder abgestrahlt. Infolgedessen entstehen zwei Seitenbänder, welche das Signal des Lesegeräts deutlich verstärken. Beide Lastmodulationsarten finden bei Voll- und Halbduplex-Verfahren sowie auch beim sequenziellen Verfahren Anwendung. Hierbei können Reichweiten bis zu einem Meter erzielt werden. Für Einsatzbereiche, bei denen größere Lesereichweiten gefordert sind, wird das Backscatter-Verfahren angewendet. Aufgrund der Wichtigkeit, wird dieses Verfahren im Unterkapitel 3.5.3.3 näher behandelt. Dabei werden von der Antenne des Lesegerätes elektromagnetische Wellen ausgestrahlt. Erreichen die ausgestrahlten Wellen den Transponder, moduliert dieser die Wellen und reflektiert diese zurück. Findet die Datenübertragung zwischen dem Lesegerät und dem Transponder zur gleichen Zeit statt, wird vom Vollduplex-Verfahren gesprochen. Sowohl beim Vollduplex- als auch beim Halbduplex-Verfahren kommen zur Datenübermittlung die drei Verfahren Amplituden-, Frequenz-, und

Phasenmodulation zum Einsatz. Aufgrund seiner Einfachheit wird das Amplitudenmodulationsverfahren am häufigsten angewendet. Im Gegensatz zu den Duplexverfahren findet beim sequentiellen Verfahren keine permanente Energieübertragung zum Transponder statt. Diese Systeme werden auch als sog. „gepulste Systeme“ bezeichnet. Durch einen Puls des Lesegerätes wird ein Speicher, meist in Form eines Kondensators, im Transponder aufgeladen. Die Aufladung nimmt nur einige Millisekunden in Anspruch. Sobald dieser aufgeladen ist, schaltet das Lesegerät seine Pulse ab und der Transponder fängt an zu kommunizieren. Vorteilhaft hierbei wirkt sich aus, dass der Mikrochip immer mit der gleichen Spannung betrieben wird. De facto lässt sich der Lesevorgang eines sequentiellen Systems in zwei Abschnitte unterteilen. Als Erstes kommt die Ladephase, um Energie zu tanken, und im Anschluss antwortet der Transponder der Leseinheit des RFID-Systems und endet schlussendlich im Stand-by Modus, wartend auf neue Energiepulse.³⁸ In der folgenden Abbildung sind die beiden Duplexverfahren und das sequentielle Verfahren im zeitlichen Verlauf abgebildet. Zwischen den Duplexverfahren und dem sequentiellen Verfahren sind zeitlich deutliche Unterschiede bei den Energieübertragungen sichtbar. Der Unterschied zwischen den beiden Duplexverfahren spiegelt sich in der Kommunikation zwischen Lesegerät und Transponder wider.

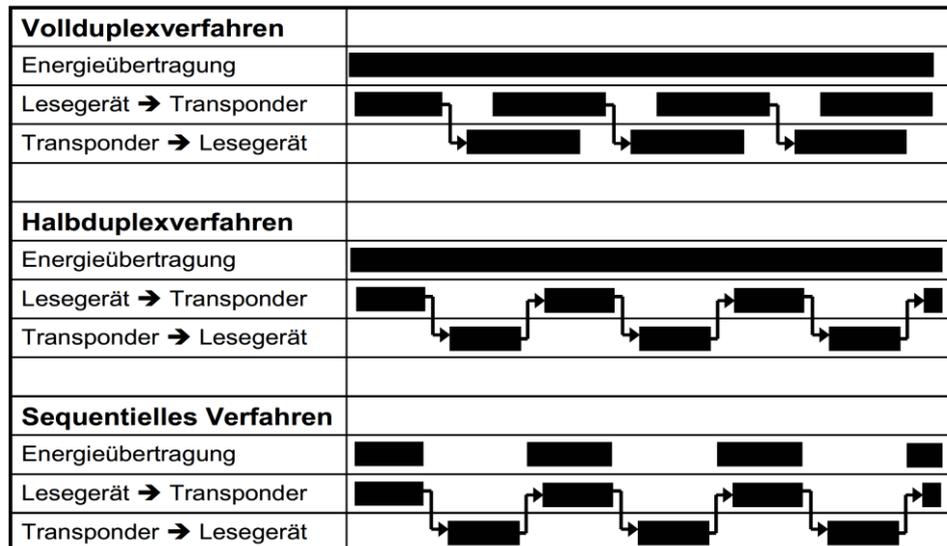


Abb. 16: Übertragungsverfahren von Transpondern, Quelle: Franke; Dangelmaier; Sprenger; Wecker (2006), S. 31.

3.5.3 Übertragungsverfahren

Die Übertragung der Daten zwischen der Antenne des Lesegerätes kann auf drei verschiedene Arten erfolgen. Für den Nahbereich (einige Zentimeter) wird eine kapazitive Kopplung verwendet. Durch induktive Kopplung können Reichweiten bis circa einem Meter überwunden werden. Beim Einsatz von RFID-Systemen mit Reichweiten von über einem Meter wird das sogenannte Backscatter-Verfahren eingesetzt. In den folgenden Unterkapiteln wird auf die drei Verfahren genauer eingegangen. Vorerst wird noch beschrieben, was unter einem Nah- und Fernfeld zu verstehen ist.

³⁸ Vgl. Franke; Dangelmaier; Sprenger; Wecker (2006), S. 27 ff.

3.5.3.1 Kapazitive Kopplung

„Bei dieser Art der Übertragung entsteht die Kopplung über einen Plattenkondensator. Das zwischen den parallel angeordneten Platten entstehende elektrische Feld kann sich ändern. Aus dem Wechsel dieses Feldes wird das Transpondersignal dekodiert. Bei kontaktlosen Chipkarten befinden sich auf der Leser- und der Transponderseite jeweils Kondensatorplatten, zwischen denen das elektrische Feld erzeugt wird.“³⁹

In der Praxis hat sich diese Technik jedoch aufgrund von stark schwankenden Lesereichweiten und dem damit verbundenen unzuverlässigen Auslesen der Transponder noch nicht behaupten können.⁴⁰ In der folgenden Abbildung ist die kapazitive Kopplung dargestellt.

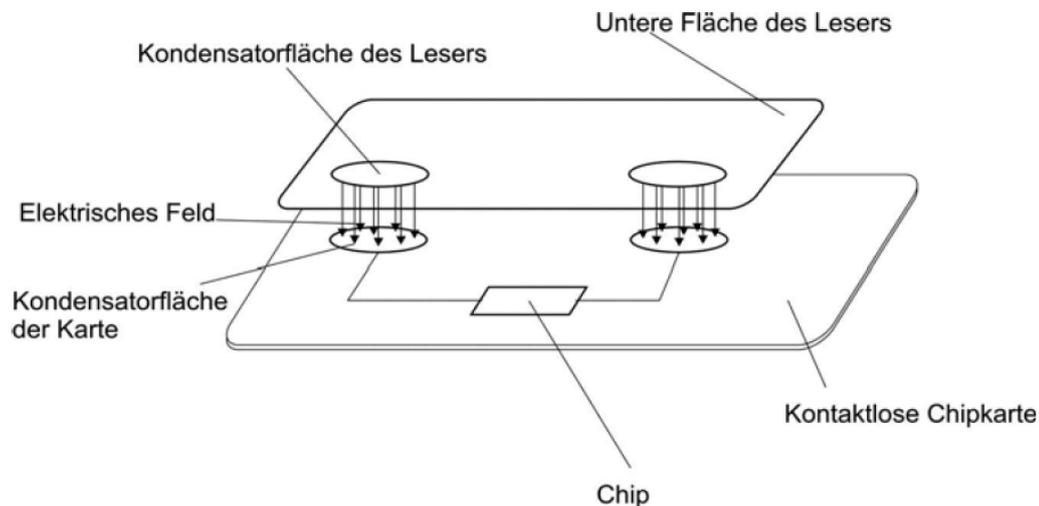


Abb. 17: Kapazitive Kopplung, Quelle: Kern (2006), S. 49.

3.5.3.2 Induktive Kopplung

Die Energieversorgung wird durch Induktion des Transponders sichergestellt. Dieser Transponder besteht aus einem Chip und einer großflächigen Spule, die als Antenne eingesetzt wird. Induktiv gekoppelte Systeme werden fast zur Gänze passiv betrieben. Das heißt, das Lesegerät stellt sämtliche benötigte Versorgungsenergie zur Verfügung. Die Antennenspule erzeugt ein starkes elektromagnetisches Wechselfeld, welches die Transponderspule durchströmt und eine elektrische Spannung induziert. Durch die Gleichrichtung der Wechselfeldspannung entsteht eine Gleichspannung, die den Transponder mit Energie versorgt. Durch Parallelschaltung eines Kondensators in der Antennenspule des Lesegerätes entsteht ein Schwingkreis, während im Transponder aus einem Kondensator und der Antennenspule des Transponders ebenfalls ein Schwingkreis gebildet wird. Infolgedessen kann eine induktive Kopplung zwischen dem Lesegerät und einem sich im Feld befindenden Transponder stattfinden.⁴¹ In der folgenden Abbildung ist eine schematische Darstellung einer induktiven Kopplung dargestellt.

³⁹ Kern (2006), S. 48.

⁴⁰ Vgl. Kern (2006), S. 48.

⁴¹ Vgl. Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 44.

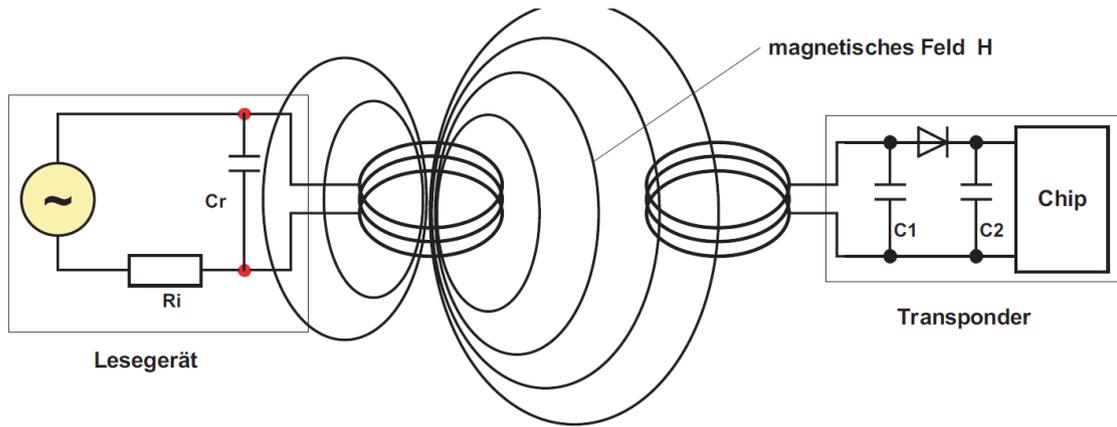


Abb. 18: Induktive Kopplung, Quelle: Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 44.

3.5.3.3 Backscatter-Verfahren

Bei dem Backscatter-Verfahren handelt es sich um eine elektromagnetische Kopplung von Lesegerät und Transpondern. Eingesetzt wird das Verfahren für Reichweiten von mehr als einem Meter. Diese Systeme werden im Allgemeinen als Long-Range-Systeme bezeichnet. Ab circa einem Meter liefert das magnetische Wechselfeld der Antenne des RFID-Systems nicht mehr genügend Energie, um die Energiezufuhr des Transponders sicherzustellen. Aus diesem Grund wird sich hier einer anderen Technik bedient, welche auch in der Radartechnik eingesetzt wird. Das Prinzip beruht darauf, dass jede Welle, welches halb so groß ist wie die halbe Wellenlänge des ausgesandten Strahls, reflektiert wird. Das Backscatter-Verfahren beruht auf grundlegend anderen Antennenarten, nämlich sogenannten Dipolantennen. Hierbei wird eine Hochfrequenzspannung in der Dipolantenne erzeugt, die dem Transponder-Chip die nötige Energie liefert, um mit dem Lesegerät zu kommunizieren. Die eingesetzten Transponder können mithilfe von diesem Verfahren eine Identifikationsreichweite von mehreren Metern erreichen. Bei Verwendung von aktiven Transpondern könnte diese Reichweite sogar um ein Vielfaches gesteigert werden. Hierbei sollte man aber nicht vergessen, dass die Energieversorgung aktiver Transponder im UHF-Bereich lediglich für die Funktion des Chips verantwortlich ist und nicht für die Kommunikation mit den Lesegeräten. Das Signal wird lediglich reflektiert. Das Backscatter-Verfahren beruht also nicht auf dem Zurücksenden von Signalen, sondern nur auf der Reflexion der vom Lesegerät ausgesandten Welle. Der Datenaustausch wird durch geänderte Rückstrahleigenschaften durch Zu- und Abschalten eines Lastwiderstandes im Transponder erreicht. Die Folge ist, dass sich die Dipolantennen wechselweise besser und schlechter in Resonanz befinden. Außerdem gibt es einige Faktoren, die beachtet werden müssen, um den Lesebereich und die Lesereichweite zu beeinflussen. Ein Faktor ist hierbei die Orientierung der Dipolantenne in Bezug auf die Polarisierung und auf das Drehfeld. Weiterhin sind die Oberfläche und die Inhaltsstoffe des getaggten Transponders von Bedeutung. Ebenso können andere Gegenstände die Reflexionen umlenken und somit Störungen hervorrufen.⁴²

⁴² Vgl. Kern (2006), S. 55 ff.

Die folgende Abbildung veranschaulicht den Datenaustausch zwischen dem RFID-Lesegerät samt Dipolantenne und einem Transponder. Zu erkennen ist auch der Lastwiderstand RL , welcher verwendet wird, um die Resonanz des Schwingkreises zu verändern.

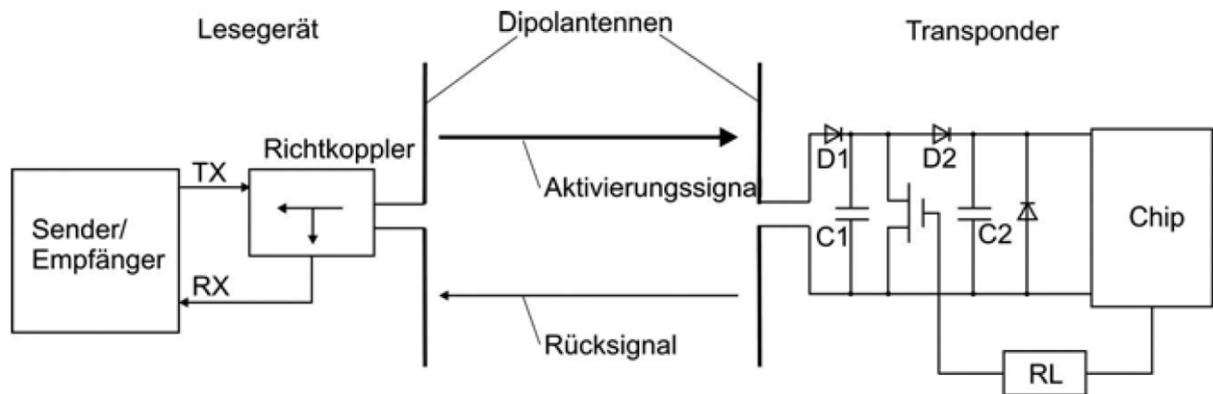


Abb. 19: Grundfunktion des Backscatter-Verfahrens, Quelle: Kern (2006), S. 57.

3.5.4 Frequenzbereiche

In diesem und den folgenden Unterkapiteln werden die vier Frequenzbereiche der RFID-Systeme behandelt. Als Erstes wird auf den Bereich Low-Frequency (LF) eingegangen, gefolgt vom High-Frequency-(HF)-Bereich. Als dritte Einsatzfrequenz wird die Ultra-High-Frequency (UHF) behandelt. Im Gigahertzbereich sind als vierte Einsatzfrequenz die Mikrowellen angesiedelt. Sämtliche Angaben für zugelassene Frequenzen gelten hierbei nur für den Großraum Europa. In Asien und anderen Kontinenten wird teilweise auf anderen Frequenzen kommuniziert. Um Komplikationen mit anderen Systemen zu vermeiden, sind alle Frequenzbänder in Zulassungsvorschriften reglementiert.⁴³

3.5.4.1 Entstehung einer elektromagnetischen Welle

„Ein Dipol (z. B. langer gerader Draht), in dem die Richtung des Stromflusses periodisch geändert wird, kann Ausgangspunkt für elektromagnetische Wellen sein. Bei der Änderung der Stromrichtung werden die Ladungsträger im Leitungsdraht beschleunigt. Modellhaft lässt sich die Entstehung der elektromagnetischen Welle auf folgende Weise verstehen: Im Dipol fließt ein periodisch wechselnder Strom. Wenn die Stromstärke am größten ist, dann baut sich um den Dipol ein kreisförmiges Magnetfeld auf, dessen Orientierung von der Stromrichtung vorgegeben wird. Während einer vollständigen Schwingung kommt der Stromfluss zwei Mal vollständig zum Erliegen. Dann sind die Ladungsträger an den Enden des Dipols konzentriert. Von dem positiven Dipolende gehen elektrische Feldlinien aus, die zum negativ geladenen Dipolende verlaufen. Nach Umpolung entladen sich die Dipolenden und das elektrische Feld wird schwächer, während sich gleichzeitig wieder ein Magnetfeld um den Leitungsdraht aufbaut. Bei diesem Prozess wechseln sich also ständig der Auf- und Abbau elektrischer und magnetischer Felder

⁴³ Vgl. Hompel; Büchter; Franzke (2008), S. 106 f.

miteinander ab. Es entsteht ein periodisches elektromagnetisches Wechselfeld. Dieses Feld ist in der Lage, sich von der Oberfläche des Dipols zu lösen. Nach seiner Freisetzung breitet es sich mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum hindurch aus. Eine elektromagnetische Welle ist entstanden.“⁴⁴

Zum besseren Verständnis wird in der folgenden Abbildung die Entstehung einer elektromagnetischen Welle zeitlich dargestellt. Es ist zu beachten, dass die elektromagnetische Welle in den Bildern „a“ und „b“ beim Entstehen ist, sich in Bild „c“ kurz vor dem Austreten befindet und ab Bild „d“ den Dipol verlassen hat und nun mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum schwingt.

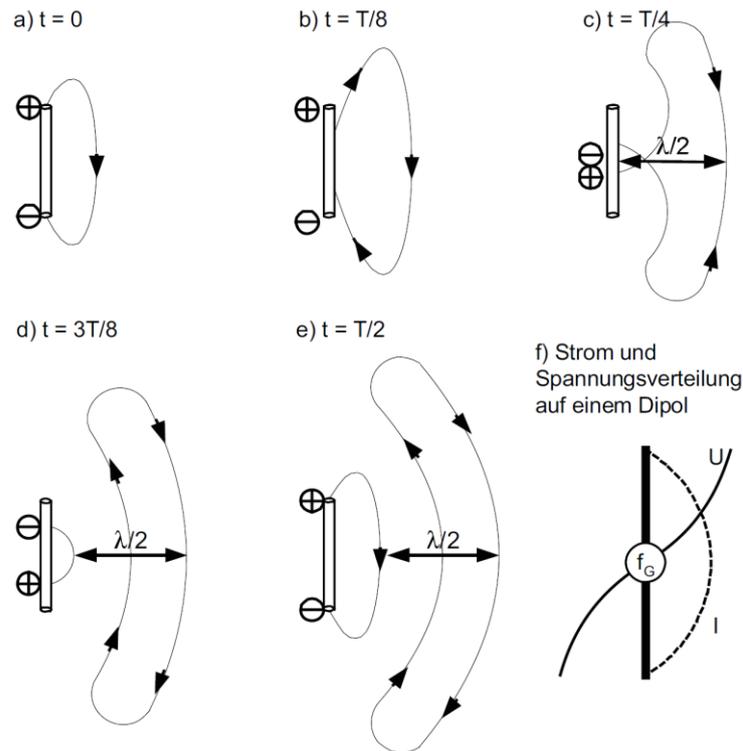


Abb. 20: Entstehung einer elektromagnetischen Welle, Quelle: Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 120.

3.5.4.2 Das elektromagnetische Spektrum

Das elektromagnetische Spektrum beinhaltet alle Arten elektromagnetischer Wellen verschiedener Wellenlängen und Frequenzen. Dieses Spektrum lässt sich in Kategorien von Strahlungsarten unterteilen, niederfrequent angefangen mit Radiowellen, weiter über Mikrowellen, den Infrarotbereich, den UV-Bereich, die Röntgenstrahlung bis hin zur Gammastrahlung. Jede Kategorie weist ihre typischen Frequenzbereiche und somit auch typspezifische Wellenlängen auf. In der folgenden Abbildung ist das elektromagnetische Spektrum vom niederfrequenten Bereich bis zum hochfrequenten Bereich ersichtlich. Charakterisiert werden die einzelnen Kategorien durch ihre Wellenlänge λ oder durch die Frequenz f . Die elektromagnetischen Wellen breiten sich immer in Lichtgeschwindigkeit c aus. Die Lichtgeschwindigkeit

⁴⁴ Reinking, Online-Quelle [06.11.2020].

beträgt $3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$. Die folgende Formel veranschaulicht den umgekehrt proportionalen Zusammenhang zwischen der Frequenz und der Wellenlänge.⁴⁵

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

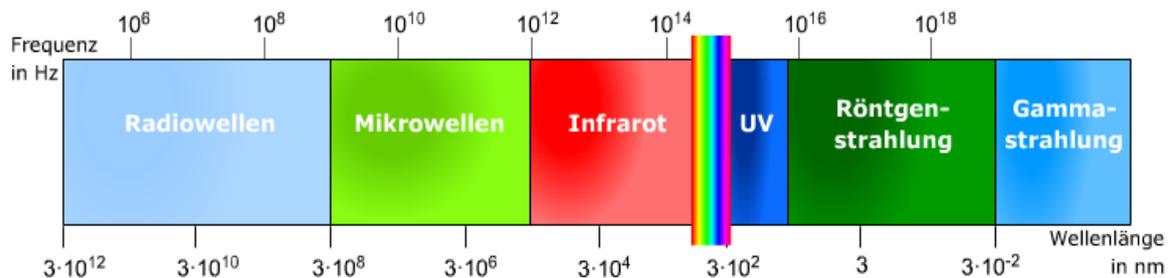


Abb. 21: Elektromagnetisches Spektrum, Online-Quelle: Gauglitz; Löbert; Sollmann (2011), Online-Quelle [11.11.2020].

3.5.4.3 Nah- und Fernfeld

„Ein wichtiges Kriterium neben der Arbeitsfrequenz ist die Kopplung eines Empfängers an den Sender. Hier unterscheidet man zwischen Nah- und Fernfeld. Im Nahfeld hat sich die elektromagnetische Welle noch nicht von der Antenne gelöst. Durch eine Last kann das Feld geschwächt werden, was an der Sendeantenne gemessen werden kann. Im Fernfeld kann eine solche Rückwirkung nicht festgestellt werden. Die Grenze zwischen Nah- und Fernfeld ist abhängig von der Wellenlänge ($\lambda / 2\pi$).“⁴⁶

In der folgenden Abbildung sind die einzelnen Frequenzbereiche mit ihren Wellenlängen und Grenzen von Nahfeld zu Fernfeld abgebildet.

⁴⁵ Vgl. Studyflix, Online-Quelle [06.11.2020].

⁴⁶ Ubbens (2017), Online-Quelle [06.11.2020].

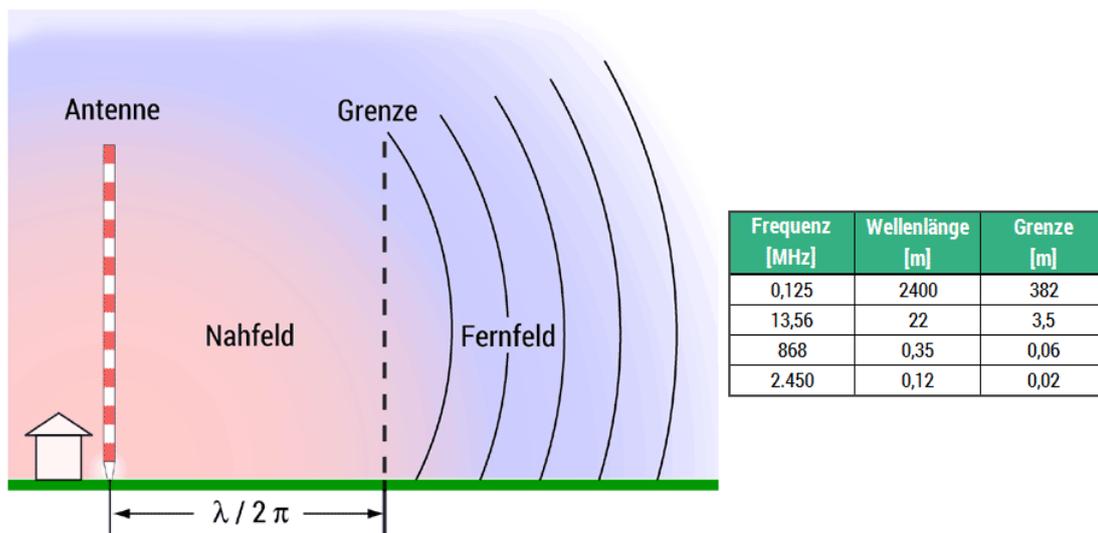


Abb. 22: Nah- und Fernfeld des RFID-Bereichs, Quelle: Ubbens (2017), Online-Quelle [06.11.2020].

3.5.4.4 Low Frequency

Der LF-Bereich erstreckt sich über eine Bandbreite von 125 – 135 kHz, somit fällt die LF-Technologie in den Bereich der Radiowellen. In diesem Frequenzbereich werden Transponder mit geringem Speicherplatz eingesetzt. Neben der eindeutigen Identifikationsnummer weisen die Transponder häufig einen RAM auf. Die maximale Übertragungsgeschwindigkeit beträgt bei diesem Takt 4 kBit/s. Aufgrund dieser langsamen Geschwindigkeit werden solche Transponder nur zur Identifikation und nicht zur Speicherung größerer Daten eingesetzt. Die Datenübertragung findet mittels induktiver Kopplung statt, wobei Reichweiten von bis zu einem Meter überwunden werden können. Zu den Einsatzgebieten von LF-Transpondern zählen unter anderem die Identifikation von Tieren oder die Verwendung als Bestandteil einer Wegfahrsperre bei Autos. Zudem werden sie in der industriellen Umgebung, z. B. bei Anlagen oder Prozessen eingesetzt. Als Vorteil wird die Resistenz gegenüber Wasser und Feuchte sowie das Durchdringen nichtmetallischer Gegenstände gesehen. Selbst metallische Gegenstände können bedingt durchdrungen werden. Die Lesung durch metallische Folien ist um Umständen möglich, da das elektromagnetische Feld beim Eintritt der Welle in einen metallischen Gegenstand exponentiell zur Eindringtiefe abnimmt. Als Nachteil dieser Einsatzfrequenz wird die geringe Speicherkapazität sowie die geringe Schreib- und Lesegeschwindigkeit gesehen. Außerdem können sich in der Nähe befindende metallische Gegenstände negativ auf die Lesbarkeit von Transpondern auswirken. Grund dafür ist, dass diese wie ein faradayscher Käfig wirken und somit das Auslesen der Daten verhindern können.⁴⁷

⁴⁷ Vgl. Hompel; Büchter; Franzke (2008), S. 106 ff.

3.5.4.5 High Frequency

Transponder im HF-Bereich kommunizieren auf einer Frequenz von 13,56 MHz. Somit ordnet sich der HF-Bereich im Frequenzspektrum bei den Radiowellen ein. Im Gegensatz zu den LF-Transpondern wird mit der ISO 15693 und der ISO 14443 versucht, die Kompatibilität unterschiedlicher Geräte zu erreichen. In dieser Norm ist festgelegt, dass ein Transponder per eindeutiger ID ansprechbar sein muss. Diese ID setzt sich aus acht Bytes zusammen und ist mit einem standardisierten Befehl auslesbar. Durch eine Unterteilung in beschreibbare und nicht beschreibbare Blöcke ist es möglich, Daten irreversibel auf die Transponder zu schreiben und dauerhaft zu speichern. Bezugnehmend auf die Lese- und Schreibweite spricht man hierbei von einer Reichweite bis zu drei Metern. Abhängig ist dies von der Antennenform des Transponders und der Antenne des Lesegerätes. Der Vorteil gegenüber LF-Systemen ist die Mehrfachlesbarkeit von Transpondern. Darunter wird ein Anti-Kollisionsverfahren verstanden, das eingesetzt wird, um die Transponder nacheinander einzulesen und mit ihnen zu kommunizieren. Die erhöhte Lese- und Schreibgeschwindigkeit von maximal 26 kBit/s wirkt sich ebenfalls vorteilhaft gegenüber der LF-Technik aus.⁴⁸

3.5.4.6 Ultra High Frequency

Die ISO 18000-6 definiert die Einsatzfrequenz für den UHF-Bereich. Kommuniziert wird dabei auf einer Frequenz von 865 bis 868 MHz. Außerdem bietet diese Norm eine gemeinsame technische Spezifikation für RFID-Geräte. Mithilfe dieser Norm soll eine europaweite Kompatibilität von UHF-Geräten erreicht und der internationale Markt gefördert werden⁴⁹. Im UHF-Bereich basiert die Kopplung zwischen der Antenne des Lesegerätes und dem Transponder nicht mehr auf einer induktiven Kopplung. Stattdessen wird mithilfe einer Dipolantenne und einer hochfrequenten Spannung eine elektromagnetische Welle erzeugt, die sich im Raum kugelförmig ausbreitet.⁵⁰

Ein UHF-Transponder besitzt neben dem Electronic Product Code (EPC) noch weitere 256 Bits. Diese Bits können kunden- oder prozessspezifische Daten wie zum Beispiel ein Haltbarkeitsdatum enthalten. Die Reichweite von passiven UHF-Systemen kann je nach Antenne bis zu 10 Meter betragen. Bei Verwendung von aktiven Transpondern kann die Reichweite noch deutlich gesteigert werden.⁵¹

Zu den Anwendungsgebieten der UHF-Technologie zählen unter anderem die Lagerhaltung, die Paletten-Erfassung oder auch das Container-Tracking. UHF-Transponder ermöglichen es, die Waren über die gesamte Lieferkette zu verfolgen. Dadurch ist eine transparente Produktrückverfolgung der Waren gegeben. Im Waren- und Bestandsmanagement werden UHF-Transponder oft eingesetzt, weil hiermit eine Pulk-Erfassung möglich ist. Aus diesem Grund wird die UHF-Technologie auch häufig in Bibliotheken eingesetzt, da durch Pulk-Erfassung in kürzester Zeit festgestellt werden kann, wie viele bzw. welche

⁴⁸ Vgl. Hompel; Büchter; Franzke (2008), S. 110 ff.

⁴⁹ Vgl. ISO/IEC (2012), S. 1.

⁵⁰ Vgl. Helmus (2009), S. 285.

⁵¹ Vgl. Hompel; Büchter; Franzke (2008), S. 113 f.

Bücher in der Bibliothek vorhanden sind. Ein weiteres Beispiel für die UHF-Technologie ist der Einsatz in der Produktion. Anwendungsmöglichkeiten sind hierbei die Waren- und Materialverfolgung oder auch die Automatisierung von Produktionsstraßen. Dabei zielt der Einsatz nicht nur auf die Beschleunigung der Prozesse ab, sondern Arbeitsplatzsicherheit und Qualitätskontrolle können ebenfalls gesteigert werden. Dabei ist die grundlegende Idee, das jedes einzelne Produkt und Werkzeug mit einem Transponder ausgestattet wird und somit eindeutig identifiziert werden kann. Dadurch werden Informationen über die Verarbeitung, Montage und Instandhaltung oder auch Entsorgung zur Verfügung gestellt.⁵²

3.5.4.7 Mikrowelle

Mikrowellen bzw. Super-High-Frequency (SHF) haben eine Frequenz von 2,45 GHz bzw. 5,8 GHz. Durch das hohe Frequenzband ist es möglich, einen hohen Datendurchsatz zu erzielen. Die Reichweiten von passiven SFH-Transpondern beträgt bis zu drei Metern. Werden aktive Transponder, also jene mit Batterie eingesetzt, können Reichweiten von bis zu 300 Metern erzielt werden.⁵³

„Eingesetzt werden Mikrowellensysteme unter anderem in der Containerverfolgung, etwa in Hafenanlagen, und bei der Mauterfassung. Während LF- und HF-Transponder nicht direkt auf metallischen Gegenständen angebracht werden sollen, können UHF- und Mikrowellentransponder auf metallischen Hintergrund bedingt eingesetzt werden. Je nach Montageabstand und Isoliermaterial (Dielektrikum) zwischen Transponder und Metall können sich verstärkende oder abschwächende Effekte einstellen. Mikrowellensysteme sollten nicht in feuchten Umgebungen eingesetzt werden, weil sie sonst, wie jeder Mikrowellenofen, ihre Energie in der Erwärmung der Wasserdipole verlieren.“⁵⁴

3.5.5 Pulk-Erfassung

Unter dem Begriff „Pulk-Erfassung“ wird die gleichzeitige Identifikation mehrerer Transponder innerhalb von wenigen Sekunden verstanden. Dabei wird meist der Electronic Product Code (EPC) zur Identifizierung der Transponder herangezogen. Die Pulk-Erfassung hat gegenüber anderen Auto-ID-Systemen wie dem Barcode (bei dem jeder einzelne Code händisch oder automatisiert gescannt werden muss) den Vorteil einer signifikanten Zeitersparnis. Ebenso können mithilfe der Pulk-Erfassung einzelne Prozessschritte optimiert werden. Anwendung findet die Pulk-Erfassung vor allem in Bereichen des Warenein- und Ausganges sowie bei Inventuren. Meist werden in der Logistik sogenannte UHF-Tunnelgates verwendet. Hierbei passiert das Gut einen RFID-Tunnel. Dabei wird das vollständige Erfassen von bis zu 500 Transponder pro Sekunde ermöglicht. Durch eine gute Abschirmung des Tunnels von der Umgebung werden Störeinflüsse minimiert. Um eine funktionierende Pulk-Erfassung zu ermöglichen, muss der Fokus auf einige wichtige Parameter gelegt werden. Hierzu zählen die eingesetzte Systemfrequenz, die zu lesende Datenmenge und die Stückzahl der zu identifizierenden Transponder im Lesebereich. Ebenfalls

⁵² 1&1 IONOS SE (2018), Online-Quelle [08.11.2020].

⁵³ 1&1 IONOS SE (2018), Online-Quelle [08.11.2020].

⁵⁴ Hompel; Büchter; Franzke (2008), S. 114.

sind die Ausrichtung und die Position der Transponder untereinander bzw. im Erfassungsbereich maßgebend für eine ausreichende Pulk-Erfassung.⁵⁵



Abb. 23: Pulk-Erfassung eines Lkw, Quelle: Schen, Online-Quelle [19.09.2020].

3.5.6 Electronic Product Code

Der electronic product code (EPC) dient als Identifikationsschema der Transponder. Die Kennzeichnung erfolgt mit einem eindeutigen seriellen Identifikationsschlüssel. Als Folge davon ist es möglich, jedem Bauteil eine weltweit eigene Seriennummer zu geben. Daraus ergeben sich Vorteile wie die Transparenz im Produktionsvorgang von Objekten, die Rückverfolgbarkeit von Erzeugnissen oder auch die höhere Fälschungssicherheit. Durch diese signifikanten Faktoren entstehen Vorteile für den Hersteller und auch für den Kunden⁵⁶.

Ein EPC weist eine Mindestbitanzahl von 96 auf. Die Unterteilung erfolgt in vier Bereiche. Dabei sind 8 Bit für den Header reserviert, 28 Bit für den EPC-Manager, 24 Bit für die Object Class und weitere 36 Bits bilden die Seriennummer. Der EPC-Manager bezieht sich auf die organisatorische Einheit, während die Object Class den Produkttypen zur eindeutigen Identifizierung dient.⁵⁷ Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau eines EPC-Codes mit den vier Unterteilungen.

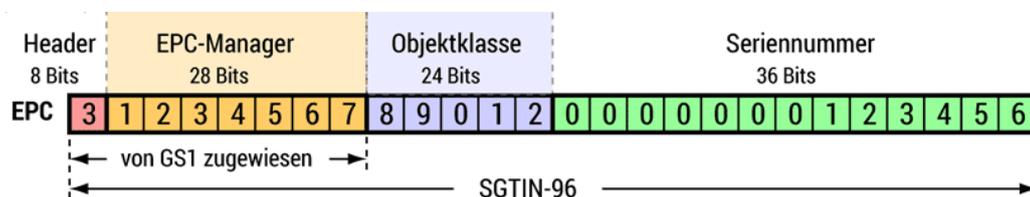


Abb. 24: Aufbau des EPC-Codes, Quelle: Infotip Service GmbH (2017), Online-Quelle [11.11.2020].

⁵⁵ Dr. Thomas und Partner GmbH & Co. KG (2015), Online-Quelle [19.09.2020].

⁵⁶ ECR (2017), Online-Quelle [19.09.2020].

⁵⁷ Lipinski (2020), Online-Quelle [19.09.2020].

3.5.7 Datenbanksystem zur Verwaltung produktspezifischer Informationen

Durch den Einsatz eines Datenmanagementsystems (DBMS) ist es möglich, produktrelevante Daten auf Servern zu speichern und zu verwalten. Im Allgemeinen besteht ein DBMS aus einer oder mehreren Datenbanken und dem Verwaltungssystem. Zu den Aufgaben des Verwaltungssystems gehören u. a. die physikalische Verwaltung der Informationen, das Abarbeiten von Datenbankabfragen durch User, Sicherstellung des Datenschutzes und der Verwaltung der Zugriffsrechte, Bereitstellung von Hilfstools für das Entwerfen von Datenbanken und auch von Werkzeugen für das Erstellen von Auswertungen und Formularen. Ebenso sind das Konvertieren von Daten in andere Formate Aufgaben von Datenbankmanagementsystemen⁵⁸. In der folgenden Abbildung ist ein DBMS schematisch veranschaulicht. Das DBMS liegt an zentraler Stelle und verwaltet die einzelnen Datenbanken. Die jeweiligen Anwender können je nach Zugriffsrechten über das DBMS auf die einzelnen Daten zugreifen und diese verwalten.

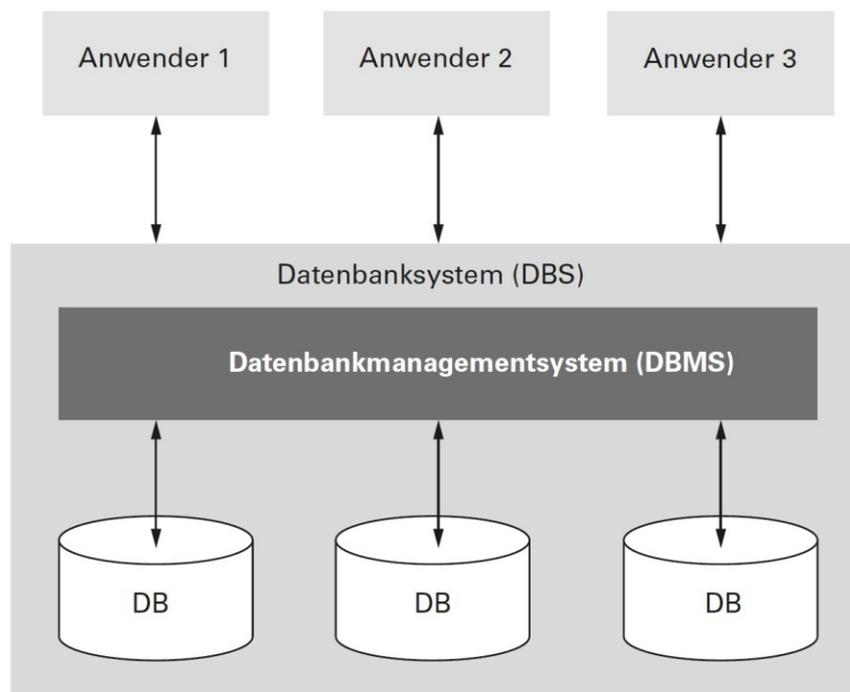


Abb. 25: Schematische Abb. eines DBMS Systems, Quelle: Bühler; Schlaich; Sinner (2019), S. 51.

DBMS werden grundsätzlich in zwei unterschiedliche Systeme unterteilt. Bei dem Fileserver-System liegen die Datenbanken an einem zentralen Ort, d. h. auf dem eigenen PC oder auf einem Server. Liegen die Daten auf dem eigenen PC, handelt es sich um Einbenutzerbetrieb, bei dem Serverbetrieb um Mehrbenutzerbetrieb. Die gesamte Verwaltung der Daten erfolgt also auf der Seite des Clients. Nachteilig wirkt sich dieses System auf die Netzlast aus, weil bei Abfragen oft große Datenmengen vom Server an den lokalen Benutzer übertragen werden müssen, beispielsweise zur Auswertung von Daten. Aus diesem Grund kommen Fileserverssysteme nur für kleine Applikationen zur Anwendung. Für größere Anwendungen

⁵⁸ Vgl. Bühler; Schlaich; Sinner (2019), S. 50 f.

wird ein Client-Server-System eingesetzt. Hierbei befinden sich sämtliche Datenbanken als auch das gesamte DBMS auf den Servern. Dabei entsteht ein Vorteil gegenüber dem Fileserver-System, da durch die Auslagerung des DBMS die Netzlast drastisch reduziert wird. So müssen nur noch die fertigen Auswertungen an den Client übermittelt werden. Bei Systemen wie Microsoft SQL oder MySQL ist es möglich, umfangreiche Datenbanken mit zahlreichen Benutzern zu verwalten. Um Abfragen durch Benutzer zu ermöglichen, wird die standardisierte Abfragesprache SQL eingesetzt. Ausgesprochen bedeutet SQL „Structured Query Language“ und ist eine ISO-standardisierte und plattformunabhängige Sprache. Zu den Aufgaben von SQL gehören das Erzeugen von relationalen Datenbanken samt dazugehörigen Tabellen, die Verwaltung und die Abfrage von Datensätzen⁵⁹.

3.5.8 Risiken und Schwächen eines RFID-Systems

„Die Integrität von RFID-Systemen beruht entscheidend darauf, dass die folgenden drei Beziehungen gesichert sind: 1. Die Beziehung zwischen den auf einem Transponder (RFID-Tag) gespeicherten Daten und dem Transponder selbst. Hierbei muss es sich um eine eindeutige Beziehung handeln, weil der Transponder ausschließlich durch die Daten identifiziert wird. Wichtigster Bestandteil der Daten ist eine eindeutige ID-Nummer (Serien). In jedem Fall muss ausgeschlossen werden, dass zwei Tags mit gleicher Identität existieren. 2. Die Beziehung zwischen dem Transponder und dem Trägerobjekt, zu dessen Identifikation er dient (mechanische Verbindung). Diese Beziehung muss ebenfalls eindeutig sein, das heißt, es darf nicht vorkommen, dass ein Transponder während seiner Nutzungsphase wechselnden Objekten zugeordnet wird. 3. Die Beziehung zwischen Transponder und Lesegerät (Luftschnittstelle). Sie muss so realisiert sein, dass autorisierte Lesegeräte auf die Daten korrekt zugreifen können, nicht autorisierte Lesegeräte dagegen vom Zugriff ausgeschlossen bleiben.“⁶⁰

Basierend auf den drei Voraussetzungen ergeben sich unterschiedliche Schwächen und somit auch Risiken für RFID-Systeme. Je weiter die Lesereichweite eines Transponders ist, desto leichter ist es für einen Angreifer, einen Transponder auszulesen. Bei Transpondern mit geringer Reichweite ist das Risiko entsprechend geringer. Des Weiteren lassen sich Daten von wiederbeschreibbaren Transpondern nicht nur auslesen, sondern mit geeigneten Mitteln auch manipulieren. Eine weitere Angriffsmöglichkeit ist das Klonen und anschließende Emulieren der Transponder. Dabei werden die Daten der Transponder ausgelesen und auf einen neuen Transponder übertragen. Dadurch kann es zur Vortäuschung der Identität des originalen Transponders kommen. Auch vor mechanischen Manipulationen sind RFID-Systeme nicht immer sicher. Beispielsweise ist es bei einigen RFID-Tags möglich, diese vom Objekt abzulösen und an einem anderen Objekt oder Bauteil wieder anzubringen. Dies kann als Folge für Verwirrung sorgen oder es können dadurch auch finanzielle Schäden entstehen. Störsignale, erzeugt von Störsendern, können die Funktion eines RFID-Systems ohne weiteres zum Erliegen bringen. Zwar ist der Besitz eines solchen Störsenders illegal und die Geräte für nicht technisch ausgebildete Personen schwierig zu erwerben, aber Amateurfunker haben grundsätzlich den Zugang zu dieser Technologie. Wird eine relevante Menge an Wasser, Metall oder Ferrit in die Nähe der Leseantenne gebracht, so kann dies eine Frequenzverstimmung

⁵⁹ Vgl. Bühler; Schlaich; Sinner (2019), S. 50 ff.

⁶⁰ Bundesamt für Sicherheit in der Informatik (2005), Online-Quelle [19.09.2020]., S. 13.

des Systems hervorrufen. Diese Schwächung des Systems ist aber bei weitem nicht so effizient wie eine elektromagnetische Abschirmung des Transponders mit einer metallischen Folie. Für die meisten der genannten Schwächen und somit Risiken des Systems gibt es Gegenmaßnahmen, mit denen diese je nach Bedrohung mit einem hohen Aufwand abgeblockt werden können.⁶¹

3.5.9 Anwendungsgebiete

Zu den ersten Anwendungen eines RFID-Systems zählte das Radar zur Feinderkennung, welches im Zweiten Weltkrieg eingesetzt wurde. Es diente zur Identifizierung von feindlichen Panzern und Flugzeugen. Seitdem wurde die RFID-Technik ständig weiterentwickelt. Heutzutage findet diese Technologie in den unterschiedlichsten Märkten und in verschiedensten Ausführungen Anwendung. Um einige Anwendungsgebiete zu nennen, wird hier auf

- die Identifikation und Überwachung von Personen,
- die Überprüfung von Reisepässen,
- Diebstahlsicherung von Waren,
- Zugangskontrollen sowie Zeiterfassungssysteme,
- Bezahlssysteme sowie
- die Verwendung in der Industrie verwiesen.⁶²

Da sich diese Arbeit mit der Produktrückverfolgbarkeit in der industriellen Umgebung befasst, wird der Einsatzbereich in der Produktion nachfolgend genauer erläutert.

Mithilfe der RFID-Technologie ist es möglich, Produktionslinien zu automatisieren und dadurch auf Änderungen leichter zu reagieren. Hierfür werden die Werkzeuge und die einzelnen Bauteile mit einem RFID-Transponder ausgestattet. Somit lassen sich Bauteile vor und nach einem Prozess identifizieren und Prozessdaten auf den dazugehörigen Transpondern vermerken. Dies dient einer ausführlichen Dokumentation, mit der die Transparenz, die Zuverlässigkeit und die Sicherheit in den einzelnen Produktionsschritten gesteigert wird. Überdies gestaltet sich das Werkzeughandling durch die Verfolgung aller Bearbeitungswerkzeuge deutlich einfacher und übersichtlicher. Ebenso wirkt sich die RFID-Technologie auf das Bestandswesen aus. Die Identifikation und Überwachung der Anzahl von Bauteilen kann einfach realisiert werden. Außerdem setzen heutzutage bereits zahlreiche Maschinenhersteller die RFID-Technologie als Plagiatsschutz ein. Hierbei werden Maschinenbauteile oder komplette Maschinen mit Transpondern ausgestattet. Benötigt ein Kunde ein Ersatzteil einer Maschine, kann er dabei nicht auf gefälschte Nachbauprodukte zurückgreifen, weil diese ohne passenden RFID-Chip nicht funktionieren werden. Ein weiterer Anwendungsfall ist die Möglichkeit für Automobilproduzenten, die Bauteile in ihren Produktionslinien und anderen Fertigungsprozessen zu überwachen, zu automatisieren und, wenn nötig, einzugreifen. Es kann somit der gesamte Entstehungsprozess von Autobauteilen rückverfolgt werden. Die Feststellung, wo, wann und mit welchen Maschinen die Bauteile gefertigt wurden, spielt dabei eine signifikante Rolle. Der Volkswagenkonzern setzt bei Versuchsfahrzeugen für Prototypentestungen, dem

⁶¹ Vgl. Bundesamt für Sicherheit in der Informatik (2005), Online-Quelle [19.09.2020].

⁶² Vgl. Informatik Aktuell (2019), Online-Quelle [20.09.2020].

„Gläsernen Prototyp“, vermehrt auf die RFID-Technologie. Dabei werden alle Veränderungen in der Phase der Entwicklung automatisch dokumentiert. Die daraus gewonnenen Informationen dienen der Optimierung der Bauteile für die Serienfertigung.⁶³

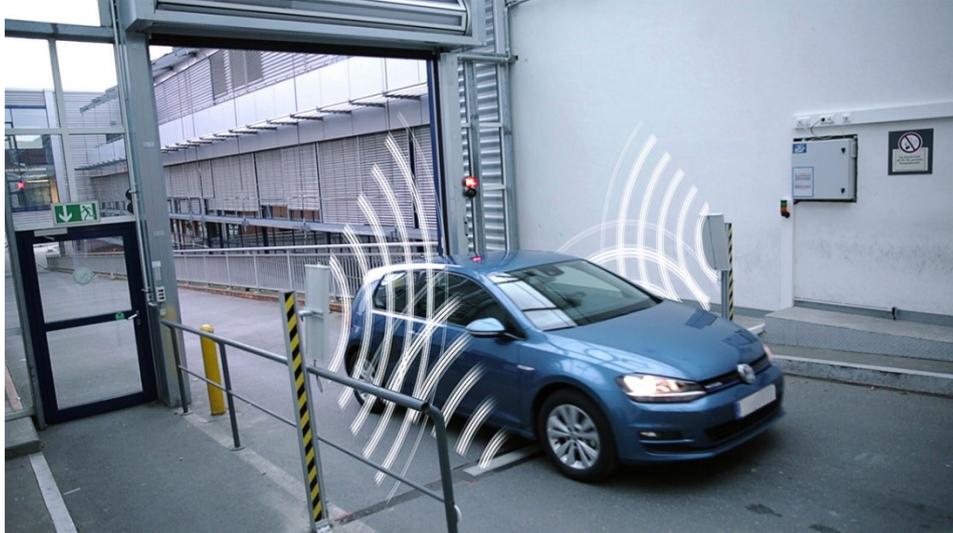


Abb. 26: „Gläserner Prototyp“ in einem RFID-Tor, Quelle: Informatik Aktuell (2019), Online-Quelle [20.09.2020].

⁶³ Informatik Aktuell (2019), Online-Quelle [20.09.2020].

4 EINFÜHRUNG EINES AUTO-ID-SYSTEMS

In diesem Kapitel wird auf die Voraussetzungen für die Einführbarkeit eines Auto-ID-Systems eingegangen. Dabei spielen die informationstechnischen Systeme und die Mitarbeiter eine wesentliche Rolle. Es wird darauf eingegangen, warum es durch den Einsatz eines Auto-ID-Systems zu einer Effizienzsteigerung kommen wird.

Mithilfe eines Auto-ID-Systems kann regelnd auf die Produktion bzw. auf die einzelnen Prozessschritte eingegriffen werden und somit eine Optimierung des Prozessablaufes erfolgen. Dadurch kann eine höhere Gesamteffizienz in der Produktion erzielt werden. Folglich sind aber auch etwaige Risiken zu untersuchen, die den ordnungsgemäßen Prozessablauf negativ beeinflussen können. Für die Gewährleistung der Prozesssicherheit bedarf es einer lückenlosen Bauteilidentifikation, um auszuschließen, dass markierte Bauteile beim Transport in die Fertigungszelle nicht ordnungsgemäß identifiziert werden. Daher gilt es herauszufinden, mit welchem Auto-ID-System diese Prozesssicherheit am zielführendsten erreicht werden kann.

4.1 Motivation für die Bauteilidentifizierung

Der Identifizierung und Rückverfolgung von Bauteilen kommt in der Industrie eine wachsende Bedeutung zu. In der Fertigungshalle werden Sondermaschinen zusammengebaut und anschließend auf ihre Funktionstüchtigkeit getestet. Vor dem Projektstart wird durch den Projektleiter und den Montageleiter der bevorstehende Zusammenbau der Sondermaschine besprochen und gegebenenfalls der Zeitplan angepasst.

Ebenso ist der Projektstart zu planen. Bevor die Fertigungsmonteuere ihre Zusammenbautätigkeit aufnehmen, werden sämtliche relevante Bauteile manuell vom Projektleiter durchgesehen. Dies dient der Feststellung, ob mit dem Zusammenbau begonnen werden kann oder ob noch relevante Bauteile fehlen. Im schlimmsten Fall werden fehlende Bauteile übersehen und die Monteuere können den Zusammenbau der Maschine nicht fortsetzen. Folglich sind die Mitarbeiter nicht mehr ausgelastet und kontaktieren den Projektleiter bzgl. des fehlenden Bauteils. Werden die benötigten Bauteile gefunden, kann mit dem verzögerten Zusammenbau fortgefahren werden. Sind aber die benötigten Bauteile unauffindbar, wird den Mitarbeitern eine andere Tätigkeit zugewiesen. De facto geht hierbei Arbeitszeit für die Bauteilsuche verloren und es kann zu Verzögerungen im Projektzeitplan kommen. Mithilfe eines Auto-ID-Systems wäre es möglich, Abhilfe zu schaffen. Durch die Identifikation eines jeden Bauteils vor oder beim Ablegen im Fertigungsregal könnten diese ungewollten Stresssituationen vermieden werden.

4.2 Gegenwärtiger Stand der Technik

In den letzten Jahren hat sich die Methode „Lean Management“ in zahlreichen Unternehmen etabliert. Dadurch werden die Prozesse verschwendungsfreier. Ebenso werden Prozessabläufe durch den Einsatz von Auto-ID-Systemen sicherer und fehlerfreier gestaltet.⁶⁴

„Bei der Überwachung der Wertschöpfungsschritte im Bereich von Fertigung und Montage werden diese heute oft vom Mitarbeiter oder vom Vorgesetzten auf Baugruppen bzw. Fertigstellungsebene am PC zurückgemeldet. Hier erfolgt überwiegend nur eine Fertigmeldung des Arbeitsschrittes. Eine Bewertung von Qualität oder eine Weitermeldung für den nächsten Wertschöpfungsschritt fehlt oftmals gänzlich. In fortschrittlichen Unternehmen können über die Artikelnummer die Teile als Zeichnung oder Bilder aus der Artikelstammdatendatei aufgerufen werden. Diese Möglichkeit nimmt dem Suchenden etwas Unsicherheit, aber die Eindeutigkeit eines Artikels ist nicht gegeben.“⁶⁵

4.3 Effizienzsteigerung durch ein Auto-ID-System

Eine Kernfrage in Unternehmen ist, wie und mit welchen Mitteln die Effizienz gesteigert werden kann. Dabei besteht die Möglichkeit, entweder den Aufwand zur Herstellung der Produkte zu senken oder die Produktqualität zu verbessern. Somit kann die Effizienz eines Betriebes durch verschiedene Maßnahmen gesteuert werden.

Einige wesentliche Faktoren für die Produktion sind hierbei die natürlichen Ressourcen, das Kapital, die Erzeugnisse, die Gerätschaften sowie auch die allgemeine Betriebsausstattung. Das Kapital wird hierbei in Form von Roh- und Werkstoffen in Betracht gezogen. Weitere Faktoren sind die Mitarbeiter mit ihrem technischen Wissen. Durch technische Optimierungen von Arbeitsschritten in der Produktion oder in der Lagerhaltung lassen sich Verbesserungen erzielen. Aus ökonomischer Sicht ist es zur Effizienzsteigerung sinnvoll, nur die Bereiche zu betrachten, in denen ein Betrieb regelnd eingreifen kann.

Grundbedingung für die Regelung ist es, die Voraussetzungen und Zustände der einzelnen Prozesse zu erfassen. Infolgedessen muss eine Rückkopplung zum Prozess hergestellt werden. Materialdefizite führen zu Fehlern, die sich in höheren Aufwendungen oder reduzierten Erträgen widerspiegeln. Um diese kostenerzeugenden Fehler zu vermeiden, kann der Einsatz von neuen Technologien Abhilfe schaffen. Dabei müssen diese Systeme den Medienbruch zwischen der realen und der virtuellen Umgebung möglichst gut schließen. Infolgedessen können manuelle Eingaben und Aufbereitungen von Erzeugnissen reduziert bzw. vermieden werden. Durch Integration eines Auto-ID-Systems im Kontext der allgegenwärtigen Datenverarbeitung lassen sich Bauteile identifizieren und durch weitere Unterstützung von Sensorik und Aktorik ist es möglich, regelnd auf Prozessabläufe einzuwirken.⁶⁶

⁶⁴ Vgl. Hippenmeyer; Moosmann (2016b), S. 1.

⁶⁵ Hippenmeyer; Moosmann (2016a), S. 1 f.

⁶⁶ Vgl. Müller (2017), S. 30 ff.

4.4 Prozesssicherheit durch Auto-ID-Systeme

Grundlage für eine hohe Prozesssicherheit ist die Artikelnummer bzw. eine eindeutige Seriennummer eines Bauteils. Durch diese Seriennummer entsteht eine eindeutig zuweisbare Identifikationsnummer eines Objektes. Wird eine Objektkennzeichnung durchgeführt, können bei Verwendung von speziellen Codes, zum Beispiel zweidimensionalen Codes, zusätzliche Informationen zu der Seriennummer hinterlegt werden. Dies kann zur Sicherstellung der Prozessgenauigkeit und der Qualität von Produkten verwendet werden.

Oftmals scheitern Prozessoptimierungen an fehlenden durchgängigen Prozessinformationen. Durch Erfassung der eindeutigen Objektkennzeichnung ist es möglich, Zielgrößen wie beispielsweise die Kosten, die Fehlerquote oder die Zeit zu erfassen und zu bewerten. Die dadurch gewonnenen Informationen können zudem als Grundlage für die Weiterentwicklung von zukünftigen Produkten dienen. Außerdem ist es durch die Objektidentifikation möglich, die körperliche Arbeit von Mitarbeitern mit der Kenngröße „Körperbelastung“ zu bewerten. Hieraus können anschließend Schlüsse gezogen werden, ob sich ein Einsatz eines Roboters anstelle des Mitarbeiterarbeitsplatzes mit hoher körperlicher Belastung auszahlen würde.

Ein weiterer Punkt, der für die hohe Prozesssicherheit spricht, ist das Track & Trace in der chemischen Industrie. Dort gehört es bereits zum Stand der Technik, dass Informationen entlang der Lieferkette miteinander verknüpft sind. Darunter werden zum Beispiel Standortinformationen von Lkw verstanden oder die Nachverfolgung von Transportdienstleistern, die am Ziel eintreffen und die Ladung entladen. Alle diese Informationen können über Auto-ID-Systeme an den Auftraggeber rückgemeldet werden. Außerdem können durch Track & Trace Transportrouten vernetzt und optimiert werden, um die Transportkapazitäten optimal auszunutzen und Kostenersparnisse zu erzielen.

Eine weitere Prozesssicherheit kann beim Einsatz von Auto-ID-Systemen bei KANBAN-Kreisläufen erreicht werden. Die Bestände werden informationstechnisch überwacht und bei Unterschreitung eines Mindestbestandes automatisch nachbestellt.

Aus diesen hier genannten Beispielen ist zu erkennen, dass Auto-ID-Systeme bei durchdachter Verwendung eine wesentliche Bereicherung für die gesamte Supply Chain bedeuten. Zum einem steigen in der Produktion und in der Logistik die Prognosesicherheit und zum anderen die Kundenzufriedenheit, hervorgerufen durch eine höhere Verfügbarkeit von Rohstoffen und Materialien. Schlussendlich können durch Auto-ID-Systeme Engpässe frühzeitig detektiert und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.⁶⁷

⁶⁷ Vgl. Hippenmeyer; Moosmann (2016b), S. 4 f.

4.5 Betriebliche Voraussetzungen für die Einführbarkeit

Um ein Auto-ID-Verfahren erfolgreich in der Produktion einzuführen, bedarf es der Einhaltung einiger Grundvoraussetzungen. Im Allgemeinen muss dieses Auto-ID-System von jedem Mitarbeiter akzeptiert werden. Es ist nicht zielführend, wenn nur ein Teil der Mitarbeiter den Ablauf befolgt und andere Mitarbeiter die Bauteile ohne Identifikationsmerkmal in die Fertigungszelle transportieren. Außerdem bedarf es einer entsprechenden Mitarbeiterschulung, um die Grundidee eines Auto-ID-Systems zu vermitteln und Akzeptanz zu schaffen. Dabei müssen die Mitarbeiter aufgeklärt werden, warum und weshalb eine Produktrückverfolgbarkeit wichtig ist. Ebenso muss der Ablauf, angefangen mit der Anbringung des Identifikationsmerkmals über den Transport und die Identifizierung sowie das richtige Ablegen der Bauteile in der Fertigungszelle erklärt und von den Mitarbeitern verstanden werden. Die im Hintergrund laufenden Systeme sollten vom Prinzip her einfach zu bedienen sein. Die Anbringungsorte der Barcodescanner oder RFID-Leseinheiten sollten klar ersichtlich sein. Ebenso muss bekannt sein, wie die Bauteile identifiziert werden. Dabei können die Bauteile in Boxen gegeben und die Identifikationsmerkmale an Behältern angebracht werden. Andererseits können auch die Erzeugnisse direkt markiert werden. Solche Fragen sind vorab zu klären, um die Voraussetzungen für die Durchführung zu schaffen.

4.6 Potentiale und Risiken durch die Einführung

In diesem Unterkapitel soll geklärt werden, welche Potentiale durch die Einführung eines Auto-ID-Systems ausgeschöpft werden können.

Wird das Augenmerk beim Zusammenbau einer Maschine auf die Arbeitszeit gelegt, lässt sich beobachten, dass die Mitarbeiter mit dem Suchen der einzelnen Bauteile bis zu einer halben Stunde beschäftigt sind. Ein weiteres Potential liegt in der Möglichkeit der Prozessumgestaltung. Durch diese Umgestaltung könnte die Ressourcenplanung effizienter durchgeführt werden. Da die Produktrückverfolgbarkeit zunehmend an Bedeutung gewinnt, wäre es möglich, die Prozessdaten der Maschinen mit den zu erzeugenden Produkten zu verknüpfen. Sollen in Zukunft die Parameter ermittelt werden, mit denen die einzelnen Bauteile bearbeitet wurden, lassen sich diese Informationen durch die Möglichkeit der Produktrückverfolgung einfach nachsehen. Sollte es beispielsweise dazu kommen, dass ganze Chargen fehlerhaft produziert wurden, ließe sich somit feststellen, in welchen Maschinenteilen die fehlerhaften Produkte eingebaut wurden. Folglich können die Schlechteile durch neue Bauteile ausgetauscht und weitere Schäden vermieden werden.

Im Gegenzug birgt die Einführung eines Auto-ID Systems auch ein gewisses Maß an Risiken. Bei einer unsauberen Planung des Auto-ID-Systems wäre es möglich, dass sich die Einführung des neuen Prozesses sehr zeit- und kostenintensiv herausstellt. Beispielsweise kann es sein, dass die Anbringung der Markierungen an den Bauteilen nicht ordnungsgemäß durchführbar ist. Der Faktor Kosten muss bei der Einführung ebenfalls durchdacht werden, da neben dem Kauf der initialen Hardware zudem Arbeitszeit für die Installation der Software einzukalkulieren ist. Konkret handelt es sich um die Anbindung eines Datenbankmanagementsystems, das die Gesamtverwaltung des Rückverfolgbarkeitsprozesses beinhaltet. Ein weiterer Aspekt könnte sein, dass die Beschriftung und anschließende digitale Erfassung zu zeitaufwendig und infolgedessen eine Installation wirtschaftlich nicht vertretbar ist. Daher wird in den Versuchsaufbauten ein besonderes Augenmerk auf den Faktor Zeit gelegt, um etwaige zeittechnische

Risiken einschätzen zu können. Mithilfe der Versuchsaufbauten, welche in der realen Produktionsumgebung stattfinden, sollen weitere mögliche Hürden und Schwächen des angedachten Auto-ID-Systems zum Vorschein kommen. Nach den Versuchstests wird es möglich sein, weitere Potentiale und Risiken herauszufinden und darauf zu reagieren.

4.7 Ziele der Prozessumgestaltung

Durch die Einführung eines Auto-ID-Systems soll sichergestellt werden, dass Unternehmensziele erreicht bzw. gesichert werden. Dies sind unter anderem die Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Mitbewerbern am aktuellen Markt. Der ideale Sollzustand sieht einen dauerhaften wirtschaftlichen Erfolg vor. De facto soll das neue Auto-ID-System eine spürbare Hilfe bei der Prozessplanung sein. Es muss sichergestellt werden, dass der Zusammenbau der einzelnen Baugruppen erst dann erfolgt, nachdem sich alle relevanten Bauteile in der Fertigungszelle befinden. Ein wirtschaftlicher Erfolg ist spürbar, wenn es gelingt, die Montagetermine so zu koordinieren, dass die Leerlaufzeiten der Produktionsmitarbeiter auf ein Minimum reduziert werden. Dadurch sollen die Rahmenbedingungen für ein effizientes und vor allem auch effektives Arbeiten geschaffen werden.

Es lässt sich zusammenfassen, dass eines der Hauptziele dieser Prozessumgestaltung die Minimierung der Leerlaufzeiten und der damit verbundenen Mitarbeiterkosten ist. Ein weiteres Ziel ist die Schaffung der Möglichkeit der Produktrückverfolgbarkeit. Durch die Einführung eines Auto-ID-Systems soll also ein spürbarer Mehrwert und auch eine Arbeitserleichterung in der gesamten Produktionsstätte entstehen.

5 VERSUCHSAUFBAU EINES AUTO-ID-SYSTEMS

In diesem Kapitel werden praktische Versuchsaufbauten zur Detektion und Identifizierung von Bauteilen durchgeführt. Da sich in der Industrie vor allem zwei Auto-ID-Systeme etabliert haben, werden die Versuchsaufbauten mit beiden Techniken erprobt. Als Erstes soll versucht werden, Erzeugnisse mittels Barcodetechnologie erfolgreich zu identifizieren. Im zweiten Schritt soll ein Versuchsaufbau zur Identifizierung verschiedener Bauteile mit einem RFID-System realisiert werden. Bei beiden Systemen wird untersucht, welche spezifische Systemtechnologie für den rauen Industrieinsatz am zielführendsten ist.

5.1 Örtliche Gegebenheiten für die Identifizierung

Bei der Örtlichkeit handelt es sich um einen Industriebetrieb, in dem Erzeugnisse identifiziert werden sollen. Als Folge der Identifizierung sämtlicher Bauteile erfolgt die Freigabe des Zusammenbaus einer Baugruppe. Im Allgemeinen besteht eine Sondermaschine aus mehreren Baugruppen. Diese Baugruppen werden aus einzelnen Bauteilen zusammengesetzt. Diese können unter anderem Erzeugnisse aus dem eigenen Betrieb oder auch Zukaufteile sein. Die Montage der einzelnen Baugruppen erfolgt an einem dafür vorbereiteten Fertigungsplatz. An diesem Fertigungsplatz befinden sich Regale und Montagetische, in und auf denen die einzelnen Bauteile entweder in Plastikschrütten oder frei liegend für den Zusammenbau eingelagert werden. In der folgenden Abbildung ist ein typischer Fertigungsplatz ersichtlich. In den Regalen links und rechts in der Abbildung werden die einzelnen Komponenten eingelagert. Am dafür vorgesehenen Fertigungstisch erfolgt der Zusammenbau.



Abb. 27: Fertigungsplatz, Quelle: Eigene Darstellung.

5.2 Schematischer Ablauf mit einem Auto-ID-System

In diesem Unterkapitel werden der schematische Aufbau und Ablauf eines Barcode- und RFID-Systems beschrieben. Es ist zu unterscheiden, ob die Bauteile zugekauft werden (Zukaufteile) oder aus dem betriebsinternen Fräszentrum stammen (Eigenerzeugnis). Zukaufteile durchlaufen eine Kommissionierungsstation, in der den Bauteilen eine eindeutige Identifikation zugeordnet wird. Nach der Kommissionierung werden die Bauteile mit einem Flurförderfahrzeug in die Fertigungszelle transportiert. Dort angekommen, werden die Bauteile identifiziert und in das Projektregal eingelagert. Eigenerzeugnisse, wie zum Beispiel Frästeile, werden aus dem Bearbeitungszentrum ebenso in eine Kommissionierungsstation transportiert und erhalten jeweils ein Identifikationsmerkmal. Mit einem Flurfördergerät werden diese ebenfalls in die Fertigungszelle befördert, identifiziert und im Projektregal eingelagert. Zuvor muss der Projektleiter die Datenbank mit den relevanten Bauteilen abgleichen. Nachdem festgestellt wurde, dass die benötigten Bauteile im Projektregal vorhanden sind, kann dieser den Projektstart einplanen. In der folgenden Abbildung ist der schematische Aufbau eines solchen Systems abgebildet.

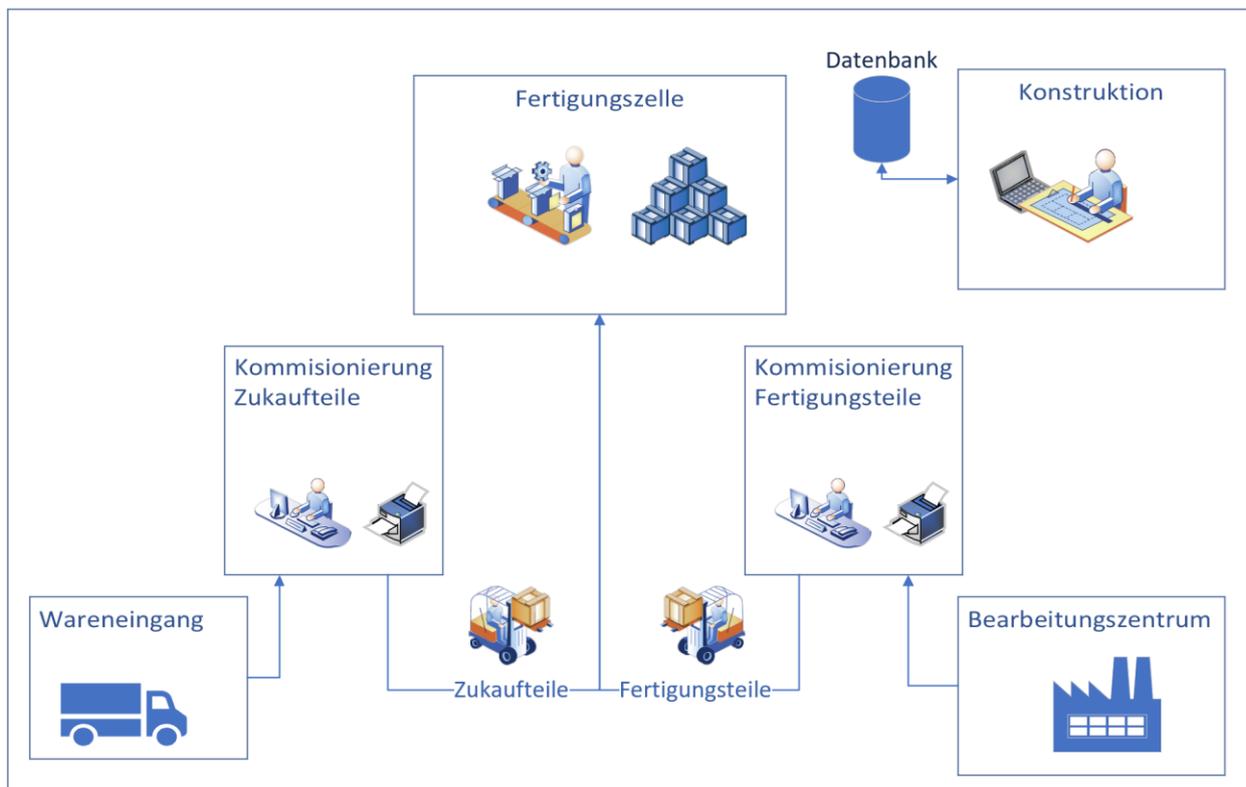


Abb. 28: Schematischer Ablauf mit einem Auto-ID-System, Quelle: Eigene Darstellung.

5.3 Versuchsaufbau eines Barcodesystems

Für den Versuchsaufbau wird ein Barcodescanner mit Anbindung an eine Datenbank benötigt. In der Datenbank sind alle für den Zusammenbau relevanten Bauteile vermerkt und mit Barcodenummern versehen. Dadurch können sämtliche Bauteile eindeutig identifiziert werden. Der Barcodescanner wird am Eingangsbereich des Fertigungsplatzes platziert. Bezugnehmend auf den Anbringungsort des Barcodescanners gilt es, ein besonderes Augenmerk auf die Ergonomie des Barcodescanners zu legen.

Am Eingang müssen alle Fertigungsbauteile sequentiell erfasst werden, bevor diese in die Fertigungsregale weitertransportiert werden. Gleiches gilt für projektbezogene Zukaufteile.

Es soll untersucht werden, welche Art von Barcodescanner für die Identifikation am zielführendsten ist. Werden Artikel mit einem Flurförderfahrzeug transportiert, kann sich zur Identifikation der Palette ein stationär befestigter Barcodescanner eignen. Sind jedoch mehrere Bauteile in Schütten oder in loser Form vorhanden, wird der Einsatz eines stationär befestigten Scanners zu Schwierigkeiten führen. Hier würde sich ein mobiles Endgerät besser eignen.

Sobald alle relevanten Bauteile im Fertigungsregal vorhanden sind, muss erkenntlich sein, dass ein Zusammenbau erfolgen kann. Die Festlegung aller wichtigen Bauteile einer Baugruppe hat der Projektleiter im Vorfeld zu bestimmen und im System zu vermerken. Um sicherzustellen, dass alle Bauteile ordnungsgemäß vor dem Einräumen in die Regale identifiziert werden, ist zudem eine ausführliche Unterweisung der Disponenten im Umgang mit dem Barcodesystem erforderlich.

5.4 Auswahl geeigneter Codes zur fehlerfreien Detektion

Je nach Erfordernis sind geeignete Codes zur eindeutigen Identifikation auszuwählen. Die Auswahl hängt davon ab, welche Daten auf den Barcodes erfasst werden sollen. Im einfachsten Fall werden die Bauteile mit einem Nummernschema versehen. Alle Hintergrunddaten, zum Beispiel, auf welcher Maschine, mit welchen Parametern und Werkzeugen und zu welcher Zeit ein Bauteil bearbeitet wurde, müssten somit in einer Datenbank mit der ID des Barcodes verkettet werden. Hierbei würde ein eindimensionaler Barcode seinen Zweck erfüllen.

Sollen Datenmengen auf den Barcodes gespeichert werden, die mehr als einige Zahlen umfassen, dann wären zweidimensionale Barcodes zu empfehlen, da diese über eine deutlich höhere Datenkapazität verfügen. Eine Datenbank im Hintergrund würde überflüssig werden, da die relevanten Informationen bereits im Barcode enthalten sind. Aus Gründen der Qualitätssicherung und zur Erstellung von dokumentierter Information wird die Verwendung einer Datenbank jedoch trotzdem empfohlen.

Des Weiteren ist zu überlegen, in welcher Form die Barcodes an den Bauteilen angebracht werden sollen. Eine verbreitete Art der Barcode-Kennzeichnung ist das Ausdrucken von Klebeetiketts. Diese Art der Kennzeichnung ist gut geeignet für Untergründe wie Karton- und Papierverpackungen. Auf Plastikschütten können die Klebeetiketts ebenfalls gut befestigt werden. Eine ungenügende Haftung weisen jedoch unebene Formen auf. Eine andere Art der Beschriftung ist die Lasergravierung. Der Vorteil, den Barcode direkt auf dem Fertigungsteil mit Laser einzugravieren, liegt darin, dass eine dauerhafte Beschriftung des Bauteils sichergestellt wird. Sollte ein lasermarkiertes Bauteil bei einem Kunden ausgetauscht werden müssen, so kann dieser den Barcode abfotografieren bzw. scannen und die Informationen an den Hersteller übermitteln. Somit ist zudem sichergestellt, dass das richtige Bauteil nachbestellt wird. Ein besonderes Augenmerk ist auf den maximal erforderlichen Leseabstand zwischen Bauteil und Barcodescanner zu legen. Die minimale Barcodegröße darf nicht den maximalen Leseabstand unterschreiten, da der Barcodescanner ansonsten das Pixelbild nicht mehr auflösen kann und es zu einer Fehllösung kommt. Als eine weitere Markierungsart von Bauteilen könnten lasergravierte Schilder erstellt werden, die mit einer geeigneten Befestigung, zum Beispiel einem Magnet, an den metallischen Bauteilen angebracht und bei der Fertigung wieder abgenommen werden. Dies hätte als Vorteil, dass das Drucken

bzw. Lasern von Barcodes entfällt und zudem die Befestigung an jeder Bauform gegeben ist. Die Vorgehensweise sieht dabei so aus, dass ein Fertigungsbauteil vor dem Verlassen des Bearbeitungszentrums ein Barcodeschild bekommt. Bevor das Bauteil in das Projektregal transportiert wird, muss der Barcode eingescannt und mit dem Projektartikel in der Datenbank verknüpft werden. Als Nachteil erweist sich hier, dass die Produktrückverfolgbarkeit beim Zusammenbau, also bei Abnahme des Schildes vom Bauteil, verloren geht.

5.5 Datenverwaltung im Hintergrund

Angekoppelt an ein Barcodesystem, verwaltet ein Programm die Barcodegenerierung und das Zusammenspiel mit einer Datenbank. Das Verwaltungsprogramm dient dazu, die generierten Barcodes mit den spezifischen Bauteilen zu verknüpfen. Die Datenbank sollte mindestens grundlegende Details wie die CAD-Nummer des Bauteils und die generierte Bauteilnummer enthalten. Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft, wie eine solche Tabelle aussehen kann. Die Spalte „Art“ kann entweder ein EP für Eigenproduktion oder ZK für Zukaufteil enthalten. Die CAD-Nr. gibt Auskunft über die Bauteilnummer im Zeichenprogramm des Konstrukteurs. Die fünfte Spalte stellt den Barcode in Form eines EAN13-Codes in dezimaler Form dar. Spalten Nummer sechs und sieben enthalten den EAN13-Code bzw. den QR-Code.

Auftragsnummer P000070_00100						
Art	Stk	Bauteilbez.	CAD- Nr.	Barcode (dezimal)	Barcode (EAN13)	Barcode (QR-Code)
EP	2	Eisenwinkel 100	S3000000.100	0000 0000 0100		
EP	3	Spannschieber	S3000000.101	0000 0000 0101		
EP	1	Führungsbuchse	S3000000.102	0000 0000 0102		
ZK	20	Rollenlager	S3000000.103	0000 0000 0103		
ZK	5	Gewindestange M20	S3000000.104	0000 0000 0104		

Tab. 2: Beispiel Datenbank für ein Barcodesystem, Quelle: Eigene Darstellung.

5.6 Versuchsaufbau mit einem RFID-Reader

Der Versuchsaufbau mit RFID-Technik ähnelt dem Aufbau des Barcodesystems. Die Zukaufteile werden von dem Wareneingang in die Kommissionierung transportiert. Dort werden Einheiten, je nach Größe und Beschaffenheit der Artikel, mit einem RFID-Transponder versehen. Liegt der Artikel in Form eines Schüttgutes vor, werden die Bauteile in eine Plastikschütte gegeben und die Schütte mit einem Transponder gechippt. Anschließend findet der Transport von der Kommissionierung zur Fertigungszelle statt. Das Vorgehen im Bearbeitungszentrum ist analog. Die Eigenerzeugnisse werden mithilfe geeigneter Transponder in der Kommissionierung identifizierbar gemacht. Daraufhin liefert ein Flurförderfahrzeug die Erzeugnisse von der Kommissionierung zur Fertigungszelle.

Bevor die Bauteile in die jeweilige Fertigungszelle transportiert werden, müssen alle gechippten Bauteile ein RFID-Lesegerät passieren. Dies dient der Sicherstellung, dass alle relevanten Bauteile den Weg von der Produktion in die jeweilige Fertigungszelle absolviert haben. Sind die Güter mit den Flurförderfahrzeugen oder auch händisch in die Fertigungszelle transportiert worden, können diese in die Fertigungsregale abgelegt werden. Je nach RFID-Technologie und Chip ist es nun möglich, die Transponder nochmals per Pulk-Erfassung zu identifizieren. Gründe für diesen Vorgang könnten sein, dass ein Transponder beim erstmaligen Passieren des RFID-Lesegerätes nicht identifiziert werden konnte und man mit dieser Weise feststellen möchte, ob das vermisste Bauteil sich nicht doch bereits in der Fertigungszelle befindet.

Die geeignete Technologie wird in Abhängigkeit von der gewünschten Lesereichweite der RFID-Antenne ausgewählt. Ein weiterer Aspekt sind die Materialien, auf denen die Transponder befestigt werden. Je nach Erfordernis ist es abzuwägen, ob es ausreichend ist, die Transponder nur von einer Seite lesen zu können, oder ob die Installation eines RFID-Gates für die lückenlose Identifikation sinnvoll wäre. RFID-Gates sind Passagen, welche mit mindestens zwei versetzten RFID-Antennen ausgestattet sind und somit die Transponder aus mehreren Richtungen wahrnehmen können.

5.7 Auswahl des Frequenzbereiches und der Antennen

Eine federführende Rolle bei RFID-Systemen spielt die Einsatzfrequenz. Je nach Erfordernis fällt die Entscheidung jeweils für eine spezielle Einsatzfrequenz. Kriterien für die Auswahl sind beispielsweise die Lese- und Schreibreichweite von Lesegerät zu Transponder, die Schreibgeschwindigkeit oder die gleichzeitige Detektion von mehreren Transpondern.

Ist ein großer Lese- und Schreibabstand gefordert, erweist sich ein System auf UHF-Basis als vorteilhaft. Damit können unter optimalen Bedingungen Reichweiten von mehreren Metern erreicht werden. Dagegen sind im LF-Bereich nur einige Zentimeter und im HF-Bereich nur Reichweiten bis zu circa einem Meter möglich. In der Praxis kann es der Fall sein, dass das Auslesen von Transpondern auf eine größere Reichweite nicht gewünscht ist. Gründe dafür sind beispielsweise die Vermeidung von Fehlidentifikationen von Bauteilen oder auch Sicherheitsaspekte. Ebenso sollte bei der Auswahl der Antenne der Einsatzort berücksichtigt werden.

Je nach benötigter Einsatzreichweite fällt die Entscheidung auf eine Low-Range-, Mid-Range- oder eine Wide-Range-Antenne. Beispielsweise wird sich ein Low-Range-Antenne für die Vergabe des EPC an den

Transponder anbieten, da es mit einer Antenne größerer Reichweite möglich ist, dass versehentlich ein falscher Transponder beschrieben wird. Hingegen wird eine Low-Range-Antenne in der Regel nicht für RFID-Gates eingesetzt, da die Transponder mit dieser Reichweite nicht sicher identifiziert werden können. Befinden sich metallische Gegenstände im Lesebereich der Antenne, wird das Feld signifikant abgeschwächt und die Lese- und Schreibweite verringert.

Vor der Auswahl der Antenne sollten die räumlichen Positionen der Transponder bekannt sein, da die Energieversorgung des Transponders von dem Winkel abhängt, in dem der Transponder zu der Leseantenne liegt. Zudem hat der Montageort der Antenne einen Einfluss auf die Qualität des Signals. Dabei sollte das Augenmerk auf der Schutzart der Antenne liegen. Hierfür sind zwei Kennzahlen ausschlaggebend. Die erste Zahl beschreibt den Schutz gegen Eindringen von Festkörpern in das Gehäuse. Die zweite Zahl repräsentiert den Schutz gegen Wasser. Eine höhere Kennzahl entspricht einem besseren Schutz des Antennengehäuses. Im rauen Industriebereich sollte Wert auf eine ausreichende Schutzklasse gelegt werden.

5.8 Auswahl der Transponder

Für die Transponderauswahl ist der Frequenzbereich entscheidend. Wie im Unterkapitel 5.7 („Auswahl des Frequenzbereiches und der Antennen“) beschrieben, muss zuerst die Entscheidung für den Frequenzbereich des RFID-Systems getroffen werden. Für eine Identifikation der Transponder im UHF-Bereich verläuft die Kommunikation im elektromagnetischen Bereich, d. h. im Fernfeld einer Antenne. Die Kommunikation zwischen Lesegerät und Transponder funktioniert mithilfe von modulierten Signalen. Ist eine Reichweite von mehreren Metern gefordert, empfiehlt sich der UHF-Bereich mit UHF-Transpondern.

Bei der Auswahl geeigneter Transponder müssen das Untergrundmaterial und die Anbringungsart der Transponder an den zu identifizierenden Materialien bekannt sein. Für eine Detektion von Kunststoffteilen genügen beispielsweise gewöhnliche UHF-Transponder. Wird hingegen die Detektion von metallischen Bauteilen gefordert, bedarf es speziell dafür entwickelter und gebauter On-Metal-Transponder. Durch ihren spezifischen Aufbau und die Ausrichtung der Antenne ist es generell möglich, Transponder zu identifizieren, die auf metallischen Gegenständen befestigt sind. Dabei spielen Einflussfaktoren wie zum Beispiel Position und Winkel des Transponders zur RFID-Antenne wie auch andere metallische Gegenstände oder Transponder im Nahbereich des zu identifizierenden Transponders eine wesentliche Rolle. Jedoch lassen sich die Transponder nicht sicher identifizieren, wenn sich der Transponder auf der Rückseite eines metallischen Gegenstandes befindet. Je nach Ablenkung der elektromagnetischen Strahlen und der daraus resultierenden Versorgung bzw. Unterversorgung der Transponder mit Energie kann es vorkommen, dass ein Transponder auf der Rückseite wahrgenommen bzw. nicht wahrgenommen wird.



Abb. 29: UHF On-Metal-Transponder, Quelle: Confidex (2017), Online-Quelle [11.11.2020].

5.9 Pulk-Erfassung von Erzeugnissen

Ein Pulk-Erfassung ist die gleichzeitige Identifikation von mehreren Transpondern. Eine sogenannte Massendetektion von Transpondern ist nur mit der Einsatzfrequenz UHF möglich.

Die Pulk-Erfassung ist bei der Identifikation einer beladenen Palette mit mehreren RFID-Transpondern von Vorteil. Werden die mit UHF-Transpondern versehenen Waren im Wareneingangsbereich oder in der Kommissionierung durch eine RFID-Schleuse befördert, können die Transponder in Bruchteilen einer Sekunde identifiziert und digital im ERP-System erfasst werden. Die gleiche Vorgehensweise lässt sich in einer Fertigungszelle einsetzen. Diese RFID-Technologie bietet eine signifikante Zeitersparnis, da eine Vereinzelung aller Produkte für eine optische Erfassung nicht erforderlich ist. Das heißt, es ist unwesentlich, ob die UHF-Transponder verschmutzt oder sogar zerkratzt sind. Bei einem optischen Identifikationsvorgang hingegen, würden – je nach Zerstörungsgrad des Labels – Fehlesungen entstehen. Ferner gibt es mobile UHF-Leseeinheiten, mit denen gechippte Bauteile in Fertigungsregalen identifiziert werden können. Dieser Vorgang bietet sich als zusätzliche Kontrolle auf Vorhandensein aller relevanten Bauteile in der Fertigungszelle an. In der folgenden Abbildung ist der Einsatz eines mobilen RFID Lesegerätes zu sehen.



Abb. 30: Bauteilkontrolle mittels mobilem RFID-Reader, Quelle: Eigene Darstellung.

6 PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG DER PRODUKTDETEKTION

Dieses Kapitel behandelt die praktische Durchführung von Produktidentifikationen. Um die Systeme unter Realbedingungen testen zu können, werden sämtliche Versuchsaufbauten im Produktionsbereich der Firma Alba tooling & engineering GmbH durchgeführt. Da das Unternehmen Sondermaschinen in Losgröße Eins fertigt, werden verschiedenste Bauteile zugekauft bzw. im hausinternen Fräszentrum zerspant. Deshalb soll praktisch untersucht werden, wie Identifikationsmerkmale an sämtlichen Bauteilen mit komplexen Oberflächen angebracht werden können.

Als Erstes wird ein Versuchsaufbau für ein Barcodesystem zur Durchführung von Tests errichtet und getestet. Dabei wird auf die Möglichkeit der nachhaltigen Identifikation besonderer Wert gelegt. Unter nachhaltiger Identifikation wird die Produktidentifikation im maschinenfertigen Zustand verstanden. Damit soll eine Produktrückverfolgbarkeit bis an das Produktlebensende geschaffen werden.

Beim zweiten Testaufbau werden Bauteile mit verschiedenen UHF-Transpondern ausgestattet. Es wird der gesamte Prozessablauf untersucht, angefangen vom Beschreiben eines Transponders über das einzelne Auslesen, bis hin zur Pulk-Erfassung von Transpondern.

Bei beiden Versuchsstationen wird das Augenmerk auf die erfolgreiche Identifikation von Bauteilen gelegt. Ebenso wird auf die Kostenfaktoren Zeit und Fehleranfälligkeit analysiert.

6.1 Beschreibung der Bauteile

Es besteht die Möglichkeit, dass ein Bauteil als Zukaufteil über den Wareneingang bezogen oder im hausinternen Bearbeitungszentrum gefertigt wird. Größe, Form und Material des Bauteiles können hierbei ganz unterschiedlich sein. In der Wareneingangskommissionierung werden kleinere Bauteile in Auftragsschütten zusammengelegt und anschließend in die Fertigungszelle transportiert. In der Kommissionierstation des Bearbeitungszentrums werden Fertigungsteile je nach Größe und Gewicht einzeln oder in Gruppen auf eine Palette geladen und anschließend mit Flurförderfahrzeugen in die Fertigungszelle transportiert. In den folgenden Abbildungen sind Bauteile aus den beiden Kommissionierstationen ersichtlich. In Abbildung 31 sind Zukaufteile und in Abbildung 32 Bauteile aus dem hausinternen Fräszentrum ersichtlich. Es wird deutlich, dass sich die jeweiligen Bauteilgrößen, Formen und Materialien signifikant voneinander unterscheiden können.



Abb. 31: Beispiel von Zukaufteilen, Quelle: Eigene Darstellung.



Abb. 32: Bauteile aus dem hausinternen Fräszentrum, Quelle: Eigene Darstellung.

6.2 Identifikationstests mithilfe von Barcodes

In diesem Unterkapitel wird der Versuchsaufbau des Barcodesystems durchgeführt. Getestet werden sollen in diesem Versuchsaufbau sowohl Herstellung und Anbringungsmöglichkeiten der Codes, die Identifikation vor der Fertigungszelle als auch die Rückverfolgbarkeit der Produkte.

6.2.1 Herstellung und Anbringung der Barcodes

Für die Identifizierung der Bauteile werden drei verschiedene Barcodelabels getestet. Als Erstes werden Barcodes in Form von Etiketts ausgedruckt und damit sämtliche Zukaufteile markiert. Ebenso werden, wenn nötig, die Plastikschütten markiert. Bei den Fertigungsbauteilen soll untersucht werden, wie sich die Klebeetiketts hinsichtlich der Anbringung und der Haltbarkeit an metallischen Bauteilen verhalten. Als Zweites werden Barcodes in Form von lasergebrannten Schildern angebracht. Dabei werden die Codes mit einer Laser-Graviermaschine auf kleine Metallschilder aufgebracht. Es soll ermittelt werden, wie diese Schilder am zielführendsten an Bauteilen und Plastikboxen befestigt werden können. Im dritten Versuch werden die Bauteile durch Laserbeschriftung oder Nadelpräger identifizierbar gemacht. Bei allen drei Versuchen steht der Aspekt der Produktrückverfolgbarkeit im Fokus.

6.2.1.1 Klebeetikett

In den folgenden Abbildungen sind selbst erstellte Klebeetiketts dargestellt. Auf der linken Abbildung ist es an einer Plastikbox für Zukaufteile angebracht. Wie erwartet, haftet das Klebeetikett flächenbündig am Material. Auf der rechten Abbildung ist die Befestigung eines Klebeetiketts an einem Fertigungsbauteil ersichtlich. Durch dessen unebene Formgebung lässt sich das Etikett nicht flächenbündig anbringen und es entstehen Lufteinschlüsse zwischen dem Etikett und dem Fertigungsteil.



Abb. 33: Klebeetikette befestigt an einer Plastikschütte, Quelle: Eigene Darstellung.



Abb. 34: Klebeetikette befestigt an Fertigungsbauteil, Quelle: Eigene Darstellung.

6.2.1.2 Gravierbeschilderung

Durch das Einlegen von kleinen Metallschildern in eine Laser-Graviermaschine werden QR-Codes in die Oberflächen gelasert. Dadurch soll eine lebenslange Haltbarkeit des Metallschildes hergestellt werden. In der folgenden Abbildung sind lagergravierte Bauteile dargestellt. Es wurde ein EAN13-Schild gelasert und erfolgreich durch Barcodelaser identifiziert. Weiterhin wurden QR-Codes gelasert. Hierbei wurde ein Augenmerk auf die Mindestgröße der einzelnen Lasergravierungen gelegt. Mit einem Smartphone war es möglich, auch den kleinsten QR-Code mit einer Fläche von 10 x 10 Millimetern erfolgreich zu identifizieren. Somit kann sichergestellt werden, dass auch kleine Bauteile mit lasergravierten Schildern ausgestattet werden können.

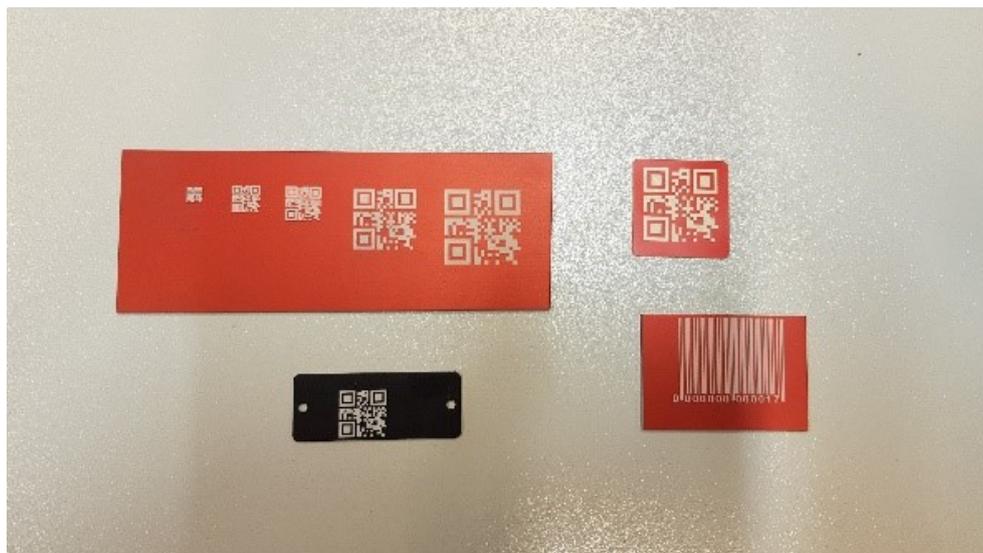


Abb. 35: Laser-Graviermaschine beim Lasern von Metallschildern, Quelle: Eigene Darstellung.

Durch Anbringungsversuche der Schilder konnten die zielführendsten Methoden ermittelt werden. Zur Markierung von Plastikboxen eignet sich das Annieten der Schilder. Hierbei ist zu beachten, dass die Identifizierung der Bauteile nur solange gilt, bis sie aus der Plastikschrütte entnommen werden. Danach ist keine Produktrückverfolgbarkeit mehr gegeben. Eine direkte Beschriftung der Zukaufteile ist nur durch den Einsatz von zusätzlichen Befestigungsmaßnahmen wie Kabelbinder zielführend. Diese Befestigungen können aber nur temporär dienen. Beim Zusammenbau der Sondermaschine stehen die Befestigungen im Wege und werden entfernt; somit erlischt an dieser Stelle die Produktrückverfolgbarkeit. Für die Markierung der Fertigungsbauteile sind ebenfalls nur diese beiden Möglichkeiten gegeben. Bei geradflächigen Bauteilen besteht die Möglichkeit, die Beschilderung anzunieten; bei formfreien Flächen besteht die Möglichkeit, mit einer geeigneten Befestigung zu arbeiten. In den folgenden Abbildungen ist links die Befestigung an Zukaufteilen und rechts die Befestigung an Fertigungsbauteilen dargestellt.



Abb. 36: Gravierschild befestigt an Plastikschrütte,
Quelle: Eigene Darstellung.



Abb. 37: Gravierschild befestigt an Fertigungsbauteil,
Quelle: Eigene Darstellung.

6.2.1.3 Lasergravierung

Eine Technik zur lebenslangen Bauteilbeschriftung ist das Anbringen des Codes an bzw. im Bauteil. Hierbei gibt es verschiedene Möglichkeiten und Techniken, Identifikationsmerkmale an Bauteilen anzubringen. Kleinere Bauteile können mit einer Laser-Graviermaschine direkt beschriftet werden. Dabei werden die zu beschriftenden Bauteile vor dem Einlegen in die Laser-Graviermaschine mit Lackspray besprüht. Dadurch werden die Laserstrahlen nicht an der Oberfläche des metallisch glänzenden Bauteils reflektiert, sondern können in das Bauteil eindringen. Nach dem Einlegen in die Laser-Graviermaschine lasert ein vorher eingestellter Laserstrahl den Barcode in das Bauteil. Diese Art der Beschriftung ist nur für kleine Bauteile gedacht, für größere Bauteile fehlt der nötige Platz in der Maschine. Zur Beschriftung größerer Bauteile können sogenannte Nadelpräger eingesetzt werden, die mithilfe einer pneumatisch oder elektrisch angetriebenen Nadel punktuell ein Muster wie z. B. einen QR-Code in das Produkt stanzen. In den folgenden Abbildungen ist ein lasergraviertes Bauteil dargestellt. Ebenfalls ist der graue Lack am Bauteil noch deutlich zu sehen. In der Abbildung 34 wurde der Lackspray noch nicht vom Bauteil weggewischt. In

der Abbildung 35 ist es ersichtlich, dass der graue Lackspray bereits teilweise entfernt wurde. Anzumerken gilt hierbei noch, dass auch versucht wurde, den QR-Code wegzuwischen, dieser aber tief genug in das Material eingebrannt werden konnte und somit eine dauerhafte Markierung erfolgte. Diese Art der Markierung stellt eine sehr zeitaufwendige Beschriftungsmethode dar, weil zuerst der Lackspray nach dem Auftragen auf das Bauteil für ca. 3 Minuten trocknen muss. Danach kann das jeweilige Bauteil gelasert werden. Dies dauert je nach gewünschter Codegröße und Einbrenntiefe bis zu zwei Minuten. Im Gegensatz zu diesem Laserverfahren, welche mit Hilfe eines Lackes gravieren, gibt es die Möglichkeit mit einer anderen Lasertechnologie, die Bauteile direkt zu lasergravieren. Dabei entfällt der Einsatz des Lackes. Da im Betrieb Alba tooling & engineering GmbH ein solcher Lasergravierer nicht zur Verfügung steht, können die Versuche nur mit dem ersten Laserverfahren ausprobiert werden.



Abb. 38: Lasergraviertes Bauteil,
Quelle: Eigene Darstellung.



Abb. 39: Teilweise gereinigtes, lasergraviertes Bauteil,
Quelle: Eigene Darstellung.

6.2.2 Anbringung der Markierungen in den Kommissionierstationen

In der Kommissionierstation für Zukaufteile beweist sich die direkte Anbringung der Klebeetiketts an den Zukaufteilen. Das zeitaufwendige Anbringen von lasergravierten Schildern kann sich dagegen nicht durchsetzen. Die dritte Beschriftungsmöglichkeit, das direkte Lasergravieren der Bauteile, setzt sich nur bedingt durch. Es können mithilfe der hausinternen Lasergraviermaschine nur Bauteile bis zu einer Gesamtgröße von 600 mm Länge und einer Breite von 300 mm beschriftet werden. Die

Beschriftungsversuche von Plastikteilen führen zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis, da die Codes je nach Einstellwerten zu tief gelasert werden und im Endeffekt maschinell unlesbar sind. Somit setzt sich die erste Möglichkeit durch, die Beschriftung mit Klebeetiketts für Zukaufteile. Nach erfolgreicher Markierung werden die kleineren Bauteile in Projektschütten zusammengelegt, größere Bauteile werden nach ihrer Markierung auf Paletten abgelegt. Anschließend findet der Transport in die Fertigungszelle statt.

In der Kommissionierstation für Fertigungsteile funktioniert die Beschriftung mit Klebeetiketts nur bedingt. Eine zu geringe Haftung auf unebenen metallischen Oberflächen kann hierbei als Nachteil gesehen werden. An den zerspannten Bauteilen befinden sich häufig Schmierrückstände, die eine Etikettbeschriftung deutlich erschweren. Abhilfe schafft das Reinigen mit geeigneten Reinigungsmitteln. Nach dem Reinigen der Bauteile haftet das Klebeetikett gut an den Bauteilen. Die Methode der Gravierbeschilderung setzt sich bei Fertigungsteilen aufgrund des zeitaufwendigen Annetens an den Bauteilen nur bedingt durch. Es musste zuvor abgeklärt werden, wo eine solche Beschilderung angebracht werden kann, ohne den späteren Zusammenbau in der Fertigung zu stören. Bei kleinen Bauteilen ließ sich die Methode nicht anwenden, da das Anbohren eine Zerstörung des Bauteiles zur Folge gehabt hätte.

Somit stellte sich die Beschriftung mit Klebeetiketts als zielführendste Identifikationsmethode heraus. Diese Beschriftungsarbeiten nehmen zwar Beschriftungszeit in Anspruch, jedoch werden die Bauteile nicht beschädigt und es nicht erforderlich, auf eine exakte Anbringungsposition der Markierung zu achten.

6.2.3 Transport in die Fertigungszelle

Vor dem Transport der Zukauf- und Fertigungsteile in die Fertigungszelle müssen alle markierten Bauteile eingescannt werden. Somit findet der automatische Abgleich mit der Projektdatenbank statt. Nach erfolgreichem Einscannen der Bauteile kann der Weitertransport in die Projektregale erfolgen. Hierbei ist anzumerken, dass das Abscannen eines jeden Bauteiles durchschnittlich 5 Sekunden in Anspruch nimmt. Außerdem können menschliche Fehler wie das Übersehen von Barcodes in Schütten nicht ausgeschlossen werden. In der folgenden Abbildung ist der Projektzelleneingang ersichtlich. Auf der linken Eingangswand befindet sich das mobile Barcodelesegerät. Am Flurförderfahrzeug befinden sich Zukauf- und Fertigungsteile, welche nach erfolgreichem Abscannen weiter in die Projektzelle transportiert werden.



Abb. 40: Transport von Bauteilen in die Fertigungszelle, Quelle: Eigene Darstellung.

6.2.4 Erprobung des Rückverfolgbarkeitssystems

Nach dem Zusammenbau von einigen Baugruppen können bereits Rückschlüsse auf das Rückverfolgbarkeitssystem gezogen werden. Bei den Zukaufteilen ergibt sich des Öfteren das Problem, dass die Klebeetiketts beim Zusammenbau von zwei Körpern verschwinden und deren Produktrückverfolgbarkeit an dieser Stelle endet. Andere, noch sichtbare Etiketts an Zukaufteilen, sind bedingt beschädigt bzw. maschinell bereits unleserlich. Andere Klebeetiketts haben den Zusammenbau der Baugruppe unbeschadet überstanden und können noch immer rückverfolgt werden.

Ernste Bedenken ergeben sich hierbei für die Zukunft dieser Klebeetiketts. Die Sondermaschinen werden elektrisch beheizt und haben eine Betriebstemperatur von ca. 50 Grad Celsius. Daher werden sich die Klebeetiketts mit großer Wahrscheinlichkeit nach der Zeit von selbst lösen. Zusammenfassend lässt sich hier anmerken, dass die Bauteilmarkierung mit Klebeetiketts bis zum Zusammenbau der Baugruppe oder der Sondermaschine rückverfolgbar bzw. geeignet war.

Die Analyse der direkten Lasermarkierung der Bauteile ergibt ebenfalls Vor- und Nachteile. Analog zur Etikettierung ergibt sich ein Nachteil bei falscher Beschriftung, da diese nach der Montage durch aufeinanderliegende Bauteile verdeckt ist. Die Resistenz gegenüber Schmutz, Staub und Temperatur ist gegeben. Werden die verschmutzten Bauteile mit einem Reinigungsmittel gesäubert, kann das Bauteil mit

dem Barcodescanner problemlos maschinell identifiziert und somit zurückverfolgt werden. Die Laserbeschriftung erweist sich als beständig gegenüber größeren Temperaturunterschieden.

6.3 Identifikationstests mittels RFID

Bei der Identifikation von Bauteilen durch RFID-Technik werden Transponder für den UHF-Bereich eingesetzt. Grund für die Nutzung des UHF-Bereiches sind die Identifikationsreichweiten über mehrere Meter und die Möglichkeit der Pulk-Erfassung von Transpondern.

In der Kommissionierstation werden Bauteile mit dem Transponder verknüpft, um jedes Bauteil eindeutig identifizieren zu können. Danach findet der Transport in die Fertigungszelle statt. Vor der Fertigungszelle befindet sich eine stationäre RFID-Leseinheit und liest alle Transponder erneut aus. Damit soll sichergestellt werden, dass die Bauteile in die richtige Fertigungszelle transportiert werden. In der Fertigungszelle angekommen, werden die Bauteile in die Fertigungsregale abgelegt. Sind alle relevanten Bauteile in der Fertigungszelle angekommen, kann der Zusammenbau der Baugruppe oder Maschine erfolgen. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass der Transport in die Fertigungszelle nur über das RFID-Gate möglich ist, da es andernfalls zu Fehleinschleusungen von Bauteilen kommen kann. Sollten Bauteile beim Passieren des Lesebereiches der RFID-Antenne nicht identifiziert werden, besteht die Möglichkeit, das Vorhandensein der Erzeugnisse mithilfe des mobilen Lesegerätes zu prüfen. Hierbei dient die Pulk-Erfassung dazu, die Produkte in den Regalen nochmals zu identifizieren und den Baugruppenstamm zu berichtigen.

6.3.1 Auswahl und Anbringungsmöglichkeiten von geeigneten Transpondern

Um eine richtige Auswahl der Transponder treffen zu können, bedarf es der Information, welche Materialien bzw. Produkte identifiziert werden sollen. Da es sich überwiegend um die Identifikation von metallischen Bauteilen handelt, kommen sogenannte „On-Metal-Transponder“ zum Einsatz. Die Detektionsreichweite wird sich auf einige wenige Meter beschränken, daher ist der Einsatz von passiven Transpondern ausreichend. Für die Haftung auf eisenmetallischem Untergrund werden Transponder mit Haftmagnet ausgewählt, um eine einfache Anbringung der Transponder an metallischen Bauteilen zu gewährleisten. Da die Transponder an den Enden Löcher aufweisen, ist es überdies möglich, diese an nichtmetallischen Gegenständen wie zum Beispiel Plastikschrütten zu fixieren. In der folgenden Abbildung ist ein On-Metal Transponder dargestellt. Durch die Kraft des Magnetes wird der Transponder in senkrechter Lage auf dem Eisenbauteil gehalten.



Abb. 41: Anbringung des Transponders an einem metallischen Bauteil, Quelle: Eigene Darstellung.

6.3.2 Funktion und Aufgabe des Kommissionierplatzes

Die Aufgabe an den Kommissionierstationen ist es, die Bauteile mit den Transpondern zu verbinden, wobei jeder Transponder einen eindeutigen elektronischen Produktcode (EPC) erhält. Die Bauteile wurden bereits im Vorfeld in einer Datenbank mit einem EPC verknüpft. Anschließend wird der EPC über die RFID-Antenne auf den zu beschreibenden Transponder übertragen. Darauffolgend ist der Transponder ordnungsgemäß auf dem Bauteil anzubringen.

An den Kommissionierstationen kommen RFID-Antennen mit einer geringen Reichweite (Low-Range-Antenne) zur Anwendung. Daraus folgt, dass sich der Transponder zum Beschreiben in einer Reichweite von einigen Zentimetern zur Antenne befinden muss. Damit kann sichergestellt werden, dass sich nur der zu beschreibende Transponder im Antennenfeld befindet. Mithilfe eines geeigneten RFID-Readers und der Antenne werden nun die EPCs auf die einzelnen Transponder übertragen.

In dem Versuchsaufbau wird ein Reader der Marke Kathrein eingesetzt. Die Low-Range-Antenne stammt ebenfalls aus dem Hause Kathrein. Zur Steuerung des RFID-Readers wird das Programm „Reader Start V2“ verwendet, mit dem sich zudem EPCs auf die Transponder schreiben lassen. In der folgenden Abbildung ist der Aufbau der Kommissionierstation ersichtlich. Die Low-Range-Antenne befindet sich rechts neben dem Laptop.



Abb. 42: Low-Range-Antenne zur Übertragung des EPC, Quelle: Eigene Darstellung.

6.3.3 Produktidentifikation am Eingang der Fertigungszelle

Am Eingang der Fertigungszelle werden alle Transponder mittels Long-Range-Antenne identifiziert. Der Transport der Bauteile erfolgt mit einem Flurfördergerät. Die zu identifizierenden Bauteile befinden sich auf einer Palette und sollen beim Passieren des Fertigungseinganges automatisch identifiziert werden. Die Detektion erfolgt durch eine an der Seite montierte Long-Range-Antenne. Die Verwendung einer Long-Range-Antenne ist nötig, weil der Leseabstand aufgrund der metallischen Bauteile signifikant reduziert wird. In dem Versuchsaufbau soll festgestellt werden, ob sich alle Transponder auf der Palette erfolgreich identifizieren lassen. Die Befestigung und die Anbringungsposition der Transponder wurden willkürlich gewählt, um eventuelle Schwachstellen bzw. Identifikationslücken feststellen zu können. In der folgenden Abbildung ist ein Flurförderfahrzeug mit transponderbestückten Bauteilen ersichtlich.



Abb. 43: Flurförderfahrzeug mit Bauteilen, ausgestattet mit verschiedenen Transpondern, Quelle: Eigene Darstellung.

Werden Transponder erfolgreich beim Passieren des Gates identifiziert, erfolgt am PC ein visuelles Signal. Befindet sich ein Transponder im Lesebereich der RFID-Antenne, wird dieser im Programm angezeigt und mit grüner Farbe hinterlegt. Werden die Transponder in die Fertigungszelle transportiert und somit aus dem Lesebereich der Antenne entfernt, schaltet die Hintergrundfarbe von Grün auf Rot um.

Test mit einseitigem RFID-Gate

Bei diesem Test soll festgestellt werden, ob es möglich ist, alle Produkte mit nur einer RFID-Antenne zu identifizieren. Das Flurförderfahrzeug ist mit zehn Produkten bestückt und wird das einseitige RFID-Gate passieren.

Im Test zeigt sich, dass nur acht von zehn Produkten erfolgreich identifiziert werden können. Grund für das Nichterfassen zweier Bauteile ist, dass der neunte Transponder auf der gegenüberliegenden Seite hinter einem metallischen Bauteil platziert ist und der zehnte Transponder von mehreren metallischen Bauteilen eingeschlossen ist. Die Bauteile wirken als Abschirmung für Transponder. Daraus lässt sich schließen, dass eine fehlerfreie Identifikation der Bauteile mit dieser Methode nicht gewährleistet werden kann.

Test mit zweiseitigem RFID-Gate

Bei diesem Test soll geprüft werden, ob eine fehlerfreie Identifikation aller Bauteile mit zweiseitigem RFID-Gate möglich ist. Wiederum bewegt das Flurförderfahrzeug zehn markierte Bauteile durch das RFID-Gate. Es ist festzustellen, dass neun von zehn Bauteilen erfolgreich identifiziert werden können. Dabei wird wieder der Transponder nicht erkannt, der von metallischen Bauteilen umschlossen ist. Der Transponder, welcher im einseitigen Gate aufgrund seiner Lage nicht identifiziert werden kann, wird bei diesem Versuch erkannt. In der folgenden Abbildung ist der Versuchsaufbau eines zweiseitigen Gates ersichtlich. In den grünen Boxen, welche links und rechts von den Paletten montiert sind, befinden sich UHF Antennen zu Identifikation der Bauteile. Beim Versuch mittels einseitigem Gate wird lediglich die rechte Antenne abgeschlossen, um somit ein einseitiges Gate darzustellen.



Abb. 44: Zweiseitiges Gate, Quelle: Eigene Darstellung.

6.3.4 Erprobung des Rückverfolgbarkeitssystems

Nach der Durchführung der RFID-Tests sind die Lagerorte der Bauteile in der Fertigungszelle bekannt. Sobald alle relevanten Bauteile einer Baugruppe in den Lagerregalen vorhanden sind, kann der Zusammenbau angeordnet werden. Beim Zusammensetzen der einzelnen Bauteile zu einer Baugruppe müssen die RFID-Transponder vorher von den Bauteilen entfernt werden, da diese meistens im Weg sind. Daher endet hier die Produktrückverfolgbarkeit der einzelnen Bauteile.

Es wird auch ein Test durchgeführt, bei dem zehn Bauteile zusammengebaut und an möglichen Stellen mit On-Metal-Transpondern bestückt wurden. Danach wird versucht, die Baugruppe mit mobilen RFID-Scannern durch Pulk-Erfassung zu identifizieren. Das Ergebnis spricht gegen eine erfolgreiche Bauteilidentifikation. Da die Baugruppe überwiegend aus Metall besteht, können auf Anhieb nicht alle

Bauteile identifiziert werden, sondern es war nötig, die Bauteile aus verschiedensten Richtungen und Positionen zu scannen.

Ebenso stellt sich die Montage der On-Metal-Transponder auf kleinen Bauteilen aufgrund ihrer Baugröße als schwierig heraus. Die Vorteile der magnetischen Halterung gelten nicht für Edelstahl oder Hartplastikerzeugnisse. Hierbei ist es erforderlich, auf eine andere Befestigungsart auszuweichen, was zeitaufwendiger ist als die einfache magnetische Befestigung.

Bei den Gate-Tests kommt es mehrmals vor, dass relevante Bauteile in die Fertigungsregale geräumt werden, ohne im RFID-Gate detektiert worden zu sein. Mithilfe eines mobilen RFID-Scanners werden die Produkte in den Regalen nochmals geprüft und dadurch auch die „vermissten“ Bauteile erfolgreich identifiziert. Es gilt hierbei jedoch anzumerken, dass ein Augenmerk auf das richtige Ablegen der Bauteile zu legen ist. Der RFID-Transponder sollte sich nicht zwischen zwei metallischen Bauteilen befinden, sondern in Richtung des Monteurs schauen. Somit steht der nachträglichen mobilen Kontrolle nichts mehr im Wege und alle Produkte können erfolgreich identifiziert werden.

Bereits das Beladen der Palette in den Kommissionierstationen ist entscheidend. Werden zahlreiche metallische Bauteile transportiert, sollten die On-Metal-Transponder nicht von mehreren metallischen Bauteilen umschlossen sein. Die Position der einzelnen Transponder sollte eher im äußeren Bereich der Palette liegen. Eine weitere Verbesserung kann erzielt werden, wenn die Paletten mit weniger metallischen Erzeugnissen beladen werden. Als Folge davon finden mehrere Palettentransporte von den Kommissionierstationen zu den Fertigungszellen statt, was wiederum mehr Zeit in Anspruch nimmt. Mit diesen Maßnahmen ist die Identifikation an dem zweiseitigen Gate nahezu lückenlos.

Beim einseitigen Gate kommt es immer wieder zu Fehlidentifikationen durch die Feldschwächung bzw. Feldabschirmung, hervorgerufen durch große metallische Bauteile. Bei der Anbringung der Transponder im Außenbereich von Plastikschütten ist es jedoch kein Problem, wenn das Innere mit metallischen Bauteilen gefüllt ist. Der Transport von übereinandergestapelten Plastikbehältern durch die beiden RFID-Gates kann lückenlos durchgeführt werden. Im Versuchstest werden hierfür 20 Behälter mit UHF-Transpondern bestückt. Es werden keine On-Metal-Transponder verwendet, sondern herkömmliche UHF-Transponder getestet. Beim Passieren des einseitigen RFID-Gates erfolgt die Identifikation der Transponder lückenlos. Wie zu erwarten, werden auch alle Transponder im zweiseitigen Gate erfolgreich identifiziert.

Resultierend aus diesen Tests lässt sich schlussfolgern, dass das einseitige Gate nur für die Identifikation von Bauteilen geeignet ist, die in Plastikbehältnissen verwahrt werden. Eine Identifikation von metallischen Bauteilen auf Paletten funktioniert nur bedingt. Somit ist die Verwendung eines einseitigen Gates nicht optimal. Das zweiseitige Gate identifiziert bei richtiger Ausrichtung der Transponder nahezu alle metallischen Bauteile wie auch Plastikbehälter.

Nach den erfolgreichen Versuchen ist es für den Projektleiter übersichtlich und hilfreich zu wissen, welche Bauteile bereits in der Fertigungszelle eingelagert sind. Basierend auf diesen Standortinformationen erleichtert das die Zeitplanung und Freigabe von Zusammenbauten von Baugruppen oder Maschinen. Ebenso ist es möglich zu sehen, welche relevanten Bauteile im Fertigungsregal noch abgängig sind.

Infolgedessen kann das Beschaffen des fehlenden Bauteiles, wenn nötig, forciert und somit die Standzeit des Personals bereits im Vorhinein minimiert werden.

Wie bereits erwähnt, werden die RFID-Transponder beim Zusammenbau der einzelnen Bauteile entfernt und anschließend in Schütten zurück in die Kommissionierstationen transportiert. Dort bekommen sie neue eindeutige EPCs und werden vor der Anbringung am neuen Bauteil wieder mit diesem in der Datenbank verknüpft. Da die Transponder beim Zusammenbau der Maschine entfernt werden müssen, verliert sich hier demzufolge die Rückverfolgbarkeit eines einzelnen Bauteils.

6.4 Das Pro und Kontra der beiden Auto-ID-Systeme

Auto-ID-Systeme vereinfachen die Produktionsplanung und ermöglichen die Produktrückverfolgbarkeit. Jedoch weisen sie auch Schwachstellen auf.

Bezogen auf die Barcodetechnologie hat es sich als aufwendig erwiesen, die Bauteile mit Barcodebeschilderung zu versehen. Das Anbringen von Klebeetiketts nimmt weniger Zeit in Anspruch; wenn die Oberflächen der Produkte jedoch mit Ölen oder Fettrückständen überzogen sind, muss das Produkt zuerst gereinigt werden, damit die Klebeetiketts halten. Dies bedeutet wiederum einen gewissen Zeitaufwand. Die Direktbeschriftung mit Laser-Graviermaschine bietet keine mögliche Alternative zur Bauteilbeschriftung, da die Gravur nicht tief genug in das Material eingebrannt werden kann. Das Anbringen der Klebeetiketten funktioniert bei Zukaufteilen, welche meist mit einer Verpackung umhüllt sind, hingegen rasch.

Das Abscannen der Barcodes an den Eingängen der Fertigungszellen, sowohl mit mobilen als auch stationären Barcodescannern, ist wiederum eine zeitintensive Tätigkeit. In Abhängigkeit von der Lage der Produkte auf der Palette müssen die Produkte ggf. zunächst umgedreht werden, um Zugang zum Barcode zu haben. Außerdem sind menschliche Fehler möglich, sodass ein Produkt am Gate übersehen, nicht eingescannt und somit informationstechnisch nicht in der Fertigungszelle erfasst wird. Dadurch ist das Produkt zwar physisch in der Fertigungszelle angekommen, aber es kann informationstechnisch keine Freigabe des Zusammenbaus einer Baugruppe erfolgen, da das Produkt nicht ordnungsgemäß erfasst worden ist.

Im Allgemeinen muss die Fertigungszelle so errichtet werden, dass diese nur über eine Art Schleuse betreten werden kann, um sicherzustellen, dass die Produkte nicht an den Scannern vorbeigeschleust werden. Ist es gefordert, alle Produkte in der Fertigungszelle erneut zu überprüfen, ist der Vorgang mit Barcodetechnologie zeitaufwendig und daher nicht effizient. Es müssten sämtliche markierten Produkte per Scan mit der Datenbank abgeglichen werden. Beim Zusammenbau der Bauteile kann es bei Verwendung von lasermarkierten Barcodes der Fall sein, dass diese nach dem Zusammenbau verdeckt sind und das Einscannen des Codes nicht mehr möglich ist. Aufgrund dessen erlischt die Produktrückverfolgbarkeit an dieser Stelle.

Auch die RFID-Technologie offenbart einige Systemschwächen. In der Kommissionierstation kann das Anbringen der Transponder an größeren nichtmetallischen Gegenständen, trotz Magneten und einer Schlaufe zur Kabelbinderbefestigung, zur Herausforderung werden. Das Anbringen eines Transponders an metallischen Bauteilen ist durch den eingebauten Magnet hingegen problemlos. Beim Anbringen von

Transpondern an Zukaufteilen, die in einer Verpackung geliefert werden, ist die Schlaufe für die Kabelbinderbefestigung sehr hilfreich. Beim Anbringen der Transponder ist es für den weiteren Verlauf wesentlich, wie das Bauteil auf der Transportpalette platziert wird. Zeigt der Transponder zur Mitte der Palette, kann dieser von umliegenden metallischen Gegenständen vom elektromagnetischen Feld abgeschirmt und beim Passieren des Gates nicht mehr ordnungsgemäß identifiziert werden.

RFID-Gates haben im Gegensatz zur Barcode-Technologie den Vorteil, dass ein Zwischenstopp der Palette zur Identifizierung der Transponder entfällt, da die Transponder durch die Kommunikation über das Fernfeld identifiziert werden können (sofern sie nicht von umliegenden metallischen Gegenständen abgeschirmt sind). Ist es gefordert, die Bauteile in der Fertigungszelle erneut zu identifizieren, kann dieser Vorgang beim Einsatz der RFID-Technologie mithilfe der Pulk-Erfassung effizient und innerhalb von Minuten realisiert werden. Die Voraussetzung dafür ist zum einen ein mobiles RFID-Lesegerät und zum anderen die korrekte Lage der Transponder, die in den Regalen nicht von metallischen Bauteilen abgeschirmt sein dürfen.

Beim Zusammenbau der Bauteile zu einer Baugruppe müssen alle Transponder entfernt werden. Grund dafür ist, dass die Transponder entweder unter metallischen Bauteilen verschwinden würden und somit eine Identifikation hinfällig ist oder die Transponder im Weg sind. Somit erlischt auch bei der RFID-Technologie die Produktrückverfolgbarkeit beim Zusammenbau.

Im Gegensatz zu den Barcode-Klebeetiketts, die nur für eine einmalige Verwendung bestimmt sind, kann einem RFID-Transponder jedoch eine neue EPC zugewiesen werden. Eine Wiederverwendbarkeit ist somit gegeben.

Zur Methode der Beschilderung mit Barcodes ist anzumerken, dass sich die Schilder demontieren lassen. Da diesen jedoch keine neue Produktnummer zugewiesen werden kann, sind Komplikationen mit der Datenbank möglich, wenn ein Barcodeschild bereits für ein anderes Projekt verwendet wird, während das vorherige noch nicht abgeschlossen ist.

7 AUSWERTUNGEN UND ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die Technologien RFID und Barcode abschließend ausgewertet und das Ergebnis dargestellt und begründet. Die Auswertung erfolgt durch eine technische Gegenüberstellung in einem Radardiagramm. Als Erstes werden die einzelnen Bewertungskriterien beschrieben. In weiterer Folge sollen die Barcode- und die RFID-Technologie bewertet und grafisch dargestellt werden. Hierauf werden die Bewertungskriterien näher erläutert.

7.1 Technische Gegenüberstellung der verwendeten Systeme

Die Stärken und Schwächen der beiden Technologien sollen nachfolgend anhand eines Radar-Diagramms dargestellt werden. Ein Radardiagramm weist die Form eines Spinnennetzes auf und ist deshalb auch unter dem Namen Spinnennetzdiagramm bekannt. Jedem Merkmal wird eine Achse zugeordnet. Die besseren Werte sind außen an dem Spinnennetz angesiedelt. Der Vorteil dieser Darstellungsart ist, dass sich diese Diagrammform für das Visualisieren von Evaluationen im Vorfeld definierter Merkmale eignet.

Zu visualisieren sind die Barcode- und die RFID-Technologie. Die Bewertung erfolgt anhand eines Punktesystems. Die Benotungspunkte werden nummerisch von null („Sehr schlecht“) bis hin zu fünf Punkten („Sehr gut“) vergeben. Die Technologie, welche im Radardiagramm eine größere Gesamtfläche einnimmt, weist in Summe bessere Ergebnisse auf.

Das erste Bewertungskriterium ist die Datenmenge. Es wird bewertet, wie viele Daten an zu identifizierenden Bauteil gespeichert werden können. Als zweites Kriterium wird die Datenübertragung gewählt. Hierbei wird bewertet, ob die eingesetzte Technologie unidirektional oder bidirektional ist. Das nächste Bewertungskriterium ist die Wiederverwendbarkeit der Markierungen. Ist diese nicht gegeben, wird die Technologie mit „null“ bewertet. Das vierte Bewertungskriterium ist die gleichzeitige Erfassung mehrerer Bauteilmarkierungen. Das fünfte Kriterium ist der maximale Lese- und Schreibabstand zur Markierung. Je größer die Abstände sein können, desto mehr Punkte werden hierbei vergeben. Der sechste Aspekt sind die Anschaffungskosten der initialen Hardware. Sind diese preislich hoch angesiedelt, wird die zu bewertende Technologie mit einer geringen Punktzahl bewertet. Die siebte und letzte zu bewertende Eigenschaft ist die Einwirkung von äußeren Störeinflüssen auf die eingesetzte Technologie. Eine niedrige Punktezahl bedeutet, dass die Technologie störanfällig gegenüber äußeren Einwirkungen ist.

In der folgenden Abbildung ist ein Radardiagramm mit den ermittelten Werten der beiden Technologien dargestellt. In den weiteren Unterkapiteln wird die Punktevergabe begründet.

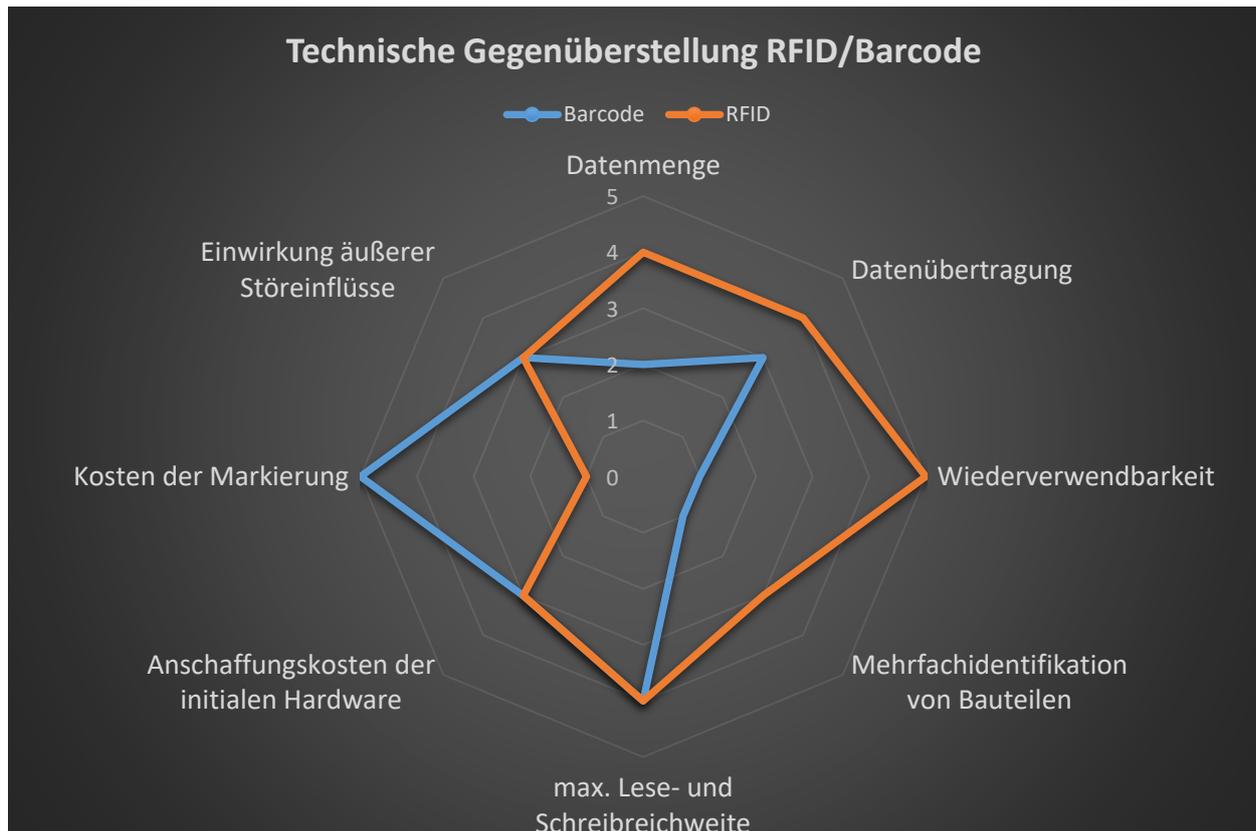


Abb. 45: Radardiagramm Barcode/RFID, Quelle: Eigene Darstellung.

7.2 Bewertung der Barcode-Technologie

Die Barcodetechnologie erhält bei dem ersten Bewertungskriterium, der Datenmenge, zwei Punkte. Je nach Art des Barcodes können entweder nur wenige Bits bzw. bei Einsatz von QR-Codes mehrere Bytes gespeichert werden, je nach Fehlerkorrekturlevel. Bei dem Bewertungskriterium „Datenübertragung“ ist die Bewertung mit drei Punkten ersichtlich. Hier wurden zwei Punkte abgezogen, weil die Datenübertragung nur unidirektional erfolgt. Bei dem Kriterium „Wiederverwendbarkeit“ wurden zwei Punkte vergeben. Ausschlaggebend dafür ist, dass nur die Barcodeschilder wiederverwendet werden können, jedoch nicht die Etiketts. Die Klebeetiketts können nicht zerstörungsfrei von den Bauteilen entfernt werden. Sollte das Ablösen gelingen, ist die noch vorhandene Klebekraft fragwürdig. Bei dem Merkmal „Mehrfachidentifikation von Bauteilen“ kann nur ein Punkt von fünf vergeben werden. Befinden sich zwei Barcodes direkt nebeneinander, können diese zwar hintereinander gescannt werden, jedoch erfüllt das nicht die Kriterien der Mehrfachidentifikation. Das nächste Bewertungskriterium ist die maximale Lese- und Schreibreichweite. Je nach Größe der QR-Codes war es bei den Versuchsaufbauten möglich, die Bauteile aus mehreren Metern Entfernung zu identifizieren. Da für die Lesbarkeit der Codes deren Größe ausschlaggebend ist, Bauteile jedoch nicht mit einem beliebig großen Klebeetikett versehen werden können, werden hier vier von fünf Punkten vergeben. Als sechstes Bewertungskriterium werden die Anschaffungskosten für die initiale Hardware analysiert. Dabei können drei Punkte vergeben werden. Die Anschaffungskosten belaufen sich auf mehrere tausend Euro. Der Punkteabzug ergibt sich daraus, dass die Kosten für die Einbindung in das ERP-System bzw. die Datenbank noch nicht eingerechnet wurden. Das vorletzte Merkmal sind die Kosten der einzelnen Markierungen. Dabei schneidet die

Barcodetechnologie mit vier von fünf Punkten ab, da ein Klebeetikett pro Stück unter 2 Cent kostet. Der Punkteabzug ergibt sich aufgrund der Tatsache, dass die Herstellung eines lasergravierten Schildes kostenintensiver ist. Bei dem letzten Kriterium „Einwirkungen äußerer Störeinflüsse“ erreicht die Barcodetechnologie drei von fünf Punkten. Ausschlaggebend für den Punkteabzug ist, dass die Markierungen ab einem gewissen Zerstörungsgrad nicht mehr maschinell gelesen werden können.

7.3 Bewertung der RFID-Technologie

Beginnend bei der Datenmenge werden der RFID-Technologie vier Punkte vergeben. Ausschlaggebend dafür ist, dass es bei den eingesetzten On-Metal-Transpondern möglich ist, bis zu 240 Bit für den EPC zu verwenden. Zusätzlich ist es möglich, Nutzerdaten im Umfang von 512 Bit auf den Transponder zu schreiben. Das nächste Merkmal, die Datenübertragung, wird mit vier von fünf Punkten bewertet. Ausschlaggebend dafür ist die bidirektionale Kommunikation zwischen Sender und Empfänger. Außerdem benötigt ein RFID-Transponder keinen direkten Sichtkontakt zur Antenne, um funktionsfähig zu sein. Beim Merkmal Wiederverwendbarkeit können fünf von fünf Punkten vergeben werden. Wurde ein Transponder einmal mit Daten bespielt, können diese mit einem geeigneten Schreibgerät unproblematisch geändert und der Transponder mit neuen Daten beschrieben werden. Eine Ausnahme sind die einmal beschreibbaren Transponder, welcher aber in dieser Arbeit nicht betrachtet wurden. Als nächstes Bewertungskriterium wird die Mehrfachidentifikation von Bauteilen bewertet. Dort können drei von fünf Punkte vergeben werden. Grund dafür ist die Möglichkeit einer Pulk-Erfassung. Mit dieser können mehrere Transponder gleichzeitig identifiziert werden, jedoch nur unter der Voraussetzung, dass diese nicht von metallischen Bauteilen abgeschirmt sind. Bezüglich des Kriteriums der maximalen Lese- und Schreibreichweite werden vier von fünf Punkte vergeben. Signifikant für diese Punktevergabe ist, dass bei einem zweiseitigen Gate nahezu alle Bauteile sicher identifiziert werden können. Die Identifikation der Bauteile ist ebenso lückenlos, wenn das Gate um einen Meter verbreitert wird. Es wird jedoch ein Punkt für Fehlidentifikationen abgezogen, da – je nach Position und Winkel der Antennen zu den Transpondern – Bauteile auf der Palette nicht identifiziert werden. Bei dem Kriterium Anschaffungskosten der initialen Hardware werden drei von fünf Punkte vergeben. Die Anschaffungskosten belaufen sich bei dieser Technologie ebenfalls auf mehrere tausend Euro. Der Punkteabzug wird dadurch begründet, dass beim Kauf des Grundpaketes noch keine Anbindung an ein ERP-System oder eine Datenbank vorhanden ist. Die Anbindung wird preislich ebenfalls mit einigen tausend Euro veranschlagt. Bei dem Merkmal „Kosten der Markierung“ sind die einzelnen Transponder hochpreisig angesiedelt. Der Stückpreis beläuft sich auf ca. € 3,18 für einen On-Metal-Transponder. Daher wird in dieser Kategorie nur ein Punkt vergeben. Das letzte Kriterium „Einwirkungen äußerer Störeinflüsse“ wird mit drei von fünf Punkten bewertet. Bei den Tests mit einseitigem Gate ist eine lückenlose Identifikation nicht möglich. Ebenso treten bei falscher Positionierung der Transponder auf den metallischen Bauteilen Komplikationen auf.

7.4 Schlussfolgerung aus den technischen Gegenüberstellungen

Auf Grundlage der beiden Bewertungsschemata soll abschließend eine Entscheidung für eine der beiden Technologien getroffen werden.

Hinsichtlich der Prozessrückverfolgbarkeit ist es grundlegend, mehrere Daten auf den Transponder schreiben zu können. Abgesehen von der Produktrückverfolgbarkeit sollte auch die Möglichkeit gegeben sein, weitere Prozessparameter wie zum Beispiel Maschineneinstellungen auf den Markierungen zu speichern. Dies ist mit RFID-Transpondern möglich. Die Barcodetechnologie ist bezüglich der maximal beschreibbaren Datenmenge jedoch limitiert. Bei den Versuchsaufbauten wurden nur geringe Datenmengen (wenige Bits und Bytes) zur eindeutigen Identifikation benötigt. Im realen Umfeld sollte aber die Möglichkeit gegeben sein, mehrere Prozessparameter auf den Markierungen zu speichern. Innerbetrieblich wird dies in Zukunft zunehmend gefordert sein.

Beim Punkt „Datenübertragung“ bietet die RFID-Technologie mittels bidirektionaler Kommunikationsmöglichkeit signifikante Vorteile gegenüber der Barcodetechnologie. Die Wiederverwendbarkeit ist bei Einsatz von passiven RFID-Transpondern gegeben. Im Gegensatz dazu ist das Handling mit Barcodeschildern und Etiketts zu zeitaufwendig und teilweise nicht zweckmäßig durchführbar. Für eine rasche, effiziente Produktidentifikation in oder vor der Produktionszelle eignet sich nur die RFID-Technologie. Mittels automatischer Erkennung der Transponder beim Passieren des zweiseitigen Gates wird keine Zeit zur Produkterkennung verschwendet. Der Faktor Zeit spielt bei der Produktidentifikation am Barcodegate eine bedeutende Rolle, da das ordnungsgemäße Abscannen aller Produkte auf einer Palette durch die signifikante Dauer den Arbeitsablauf stört. Als zu zeitaufwendig erwies sich zudem das erneute Einscannen in der Fertigungszelle. Mit der Pulk-Erfassung der RFID-Technologie hingegen konnte der gesamte Artikelstamm in wenigen Sekunden erfasst werden.

Das Kriterium der maximalen Lese- und Schreibreichweite ist bei beiden Technologien ausreichend erfüllt. Bei der Barcodetechnologie ist die maximale Reichweite von der Größe des gedruckten Barcodes abhängig. Somit kann sich die Codeanbringung an kleinen Bauteilen als schwierig bis nahezu unmöglich gestalten. Bei den RFID-Transpondern beträgt die maximale Reichweite mehrere Meter. Da beim Passieren des zweiseitigen RFID-Gates der Leseabstand maximal zwei Meter beträgt, setzt sich die RFID-Technologie in dieser Kategorie durch.

Bei der Bewertungskategorie „Anschaffungskosten der initialen Hardware“ kann keine Technologie der anderen vorgezogen werden. Als technische Schlussfolgerung soll hierbei angemerkt werden, dass bereits die initiale Hardware eine Investition in Höhe von mehreren tausend Euro erfordert. Dazu addieren sich Kosten für die Prozesseinbindung und die Anbindung in das ERP-System. Die Kosten der einzelnen Markierungen liegen bei Barcodeetiketts zwar nur bei einem Bruchteil der eingesetzten UHF-Transponder, jedoch können diese im Gegensatz zu UHF-Transpondern nicht wiederverwendet werden. Zudem addiert sich bei den Barcodemarkierungen ein signifikant höherer Zeitaufwand für die ordnungsgemäße Identifikation in den Kommissionierstationen und vor den Fertigungszellen.

Hinsichtlich der Einwirkungen von äußeren Störeinflüssen hat sich in den Versuchsaufbauten gezeigt, dass beide Technologien Schwierigkeiten im industriellen Umfeld haben können. Bei der Barcodetechnologie betreffen das Staub und Verschmutzungen, bei der RFID-Technologie sind es Abschirmungen der

Transponder durch andere metallische Bauteile. Als technische Lösung für die RFID-Technologie kann mit einer durchdachten Platzierung der einzelnen Bauteile auf den Paletten der ungewollten Abschirmung begegnet werden. Da bei der Erzeugung von Bauteilen immer ein gewisses Maß an Schmutz und Staub anfällt, lässt sich dieses Problem nur auf ein gewisses Maß herabsetzen, aber nicht lösen.

Die Produktrückverfolgbarkeit mittels RFID-Technologie erweist sich als deutlich zeitsparender und effizienter als mittels Barcodesystem. Lediglich der Faktor der Markierungskosten spricht für den Einsatz der Barcodetechnologie.

Aus den obenstehend analysierten und bewerteten Faktoren kann die Empfehlung abgeleitet werden, dass die RFID-Technologie zur Produktidentifikation technisch besser geeignet ist als das Barcodesystem. Untermauert wird diese Feststellung durch die Versuchs- und Testaufbauten in der realen Produktionsumgebung, welche obenstehend durchgeführt worden sind.

7.5 Betriebliche Folgen und Effizienzsteigerung

Die innerbetrieblichen Folgen der Einführung eines RFID-Systems zur Produktidentifizierung werden nicht nur in der Produktionsstätte, insbesondere in den Fertigungszellen spürbar sein, sondern auch in anderen Bereichen des Betriebs.

Zunächst muss analysiert werden, wie das Zusammenspiel zwischen dem CAD-Modell in der Konstruktion und dem RFID-System funktioniert. Für gewöhnlich findet die Datenverwaltung in einem Datenbankmanagementsystem statt. Die einzelnen Schnittstellen sind dabei von der IT-Abteilung in Zusammenarbeit mit der Konstruktionsabteilung zu definieren. Im Endeffekt sollte dabei ein System geschaffen werden, welches ein einfaches und effizientes Handling sowie die Verwaltung der Daten ermöglicht.

In der Produktion müssen die Mitarbeiter auf das neue System eingelernt werden. Anzudenken ist hierbei ein kleiner Testbetrieb, um eventuellen Schwächen des Systems vorab zu begegnen. Anfangs werden gewisse Hürden auftreten, welche durch Optimierungen beseitigt werden können. In weiterer Folge wird das Personal nach einer Einlernphase die einzelnen Prozessschritte beherrschen, angefangen mit dem Anbringen des Transponders, über das richtige Beladen der Palette, das Passieren des RFID-Gates und somit das Identifizieren der Produkte in der Fertigungszelle, bis hin zum Entfernen der Transponder beim Zusammenbau der einzelnen Baugruppen. Nach dieser Einlernphase wird es für die Projektleiter möglich sein, zu sehen, welche Produkte in der Fertigungszelle angekommen und welche noch abgängig sind. Anhand dieser Informationen ist es ihnen nun möglich, Projektabläufe effizienter zu planen. Sind nur noch wenige Bauteile einer Baugruppe ausständig, kann das Zerspanen von relevanten Bauteilen im hausinternen Fräszentrum forciert werden. Als Folge davon können unnötige Stillstandzeiten von Mitarbeitern und Maschinen weiter herabgesetzt werden.

Das Ziel der Einführung dieses Track-and-Trace-Systems wird es sein, den Produktdurchsatz und die Auslastung zu erhöhen und somit die Gesamteffizienz des Betriebes zu steigern. Mit dem Einsatz der RFID-Technologie soll es dem Betrieb ermöglicht werden, sich noch effizienter am aktuellen und zukünftigen Markt behaupten zu können. Möglicherweise können beim Einsatz dieses Systems auch noch weitere, unentdeckte Potentiale ausgeschöpft werden.

8 RESÜMEE UND AUSBLICK

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Detektion und Rückverfolgbarkeit von Erzeugnissen im Sondermaschinenbau. Die zu identifizierenden Produkte stammen entweder aus dem firmeninternen Fräszentrum oder sind Zukaufteile, angeliefert über den Wareneingang. In den Fertigungszellen werden die einzelnen Produkte zu Baugruppen zusammengesetzt. Durch das Zusammenbauen der einzelnen Baugruppen entsteht anschließend die Sondermaschine. Dabei können Baugruppen erst zusammengebaut werden, sobald alle relevanten Einzelbauteile vor Ort sind. Fängt der Zusammenbau der Baugruppe bereits vorher statt, ist das Suchen der fehlenden Bauteile unausweichlich. Infolgedessen verbringt der Mitarbeiter seine Arbeitszeit mit der Suche nach den Bauteilen anstatt mit dem Zusammensetzen der Maschine. Mithilfe eines Systems zur Produktidentifikation und Rückverfolgbarkeit lässt sich im Vorfeld feststellen, welche baugruppenrelevanten Produkte sich bereits in der Fertigungszelle befinden und welche noch ausständig sind.

Der theoretische Teil befasst sich im Allgemeinen mit Auto-ID-Systemen. Anfangs wird auf die Entstehungsgeschichte der Automatisierung in der Produktionslogistik eingegangen. Wie sich gezeigt hat, nahm die Produktrückverfolgbarkeit seit Beginn der industriellen Fertigung ständig zu. Wurden anfangs noch die Bauteile händisch beschriftet oder gekennzeichnet, erledigen heutzutage moderne Auto-ID Systeme diese Aufgaben. In weiterer Folge wurde auch auf die Kopplung von Prozessen und Informationen eingegangen. Das Ziel hierbei ist es, den Produktzustand im Auge zu behalten, während zur gleichen Zeit der Produktionsprozess überwacht wird. Mithilfe von intelligenten Sensoren ist es möglich, den Materialfluss direkt in ein Datenverarbeitungsprogramm einzubinden und weiterzuverarbeiten. Solche intelligenten Sensoren können Barcodescanner, RFID-Reader oder Kamerasysteme sein. Für die Wiedererkennung der einzelnen Produkte werden auch die natürlichen und künstlichen Identifikationsmerkmale betrachtet. Im Fokus der Überlegungen stehen aber nur die künstlichen Identifikationsmerkmale, da nicht alle Bauteile ein natürliches Alleinstellungsmerkmal besitzen und deshalb nicht eindeutig identifiziert werden können.

Die gängigsten Technologien im industriellen Umfeld zum Identifizieren von Bauteilen sind die Barcode- und die RFID-Technologie. Beide Technologien werden deshalb detailliert analysiert. Die Grundfunktionen beider Systeme werden erläutert. Bei dem Barcodesystem werden grundsätzlich eindimensionale und zweidimensionale Barcodes unterschieden. Der wesentliche Unterschied dieser beiden Arten liegt in der maximalen Speicherkapazität der Daten und der Lesbarkeit der Daten nach teilweiser Zerstörung. Barcodesysteme weisen einige signifikante Schwächen und Risiken auf. Unter anderem kann ein Barcode nur identifiziert werden, wenn Sichtkontakt zwischen dem Lesegerät und dem Code besteht. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Größe des Codes. Je kleiner ein Barcode gedruckt wird, desto näher muss der Barcodescanner platziert werden. Die Größe des Etiketts kann beim Beschriften von kleinen Bauteilen ein limitierender Faktor sein. Außerdem wurden die typspezifischen Anwendungsgebiete von Barcodesystemen untersucht, da je nach Erfordernis und Branche unterschiedliche Codes eingesetzt werden. Hierbei wurden moderne zweidimensionale Barcodes untersucht.

Als zweites Auto-ID-System wird die RFID-Technologie analysiert. Dabei wird auf den grundsätzlichen Aufbau eines solchen Systems eingegangen. Im Hinblick auf diese Technologie werden die notwendigen Komponenten mit ihren Funktionen betrachtet. Die Basiskomponenten eines RFID-Systems bilden der

RFID-Reader, eine dazugehörige Antenne, ein zu identifizierender Transponder und eine Software zum Steuern und Verwalten des RFID-Readers. Ein besonderes Augenmerk wird auf die unterschiedlichen Einsatzfrequenzen von RFID-Systemen gelegt. Diese sind der LF-, HF-, UHF- und der SHF-Bereich (12,56 kHz bis 2,45 GHz). Die unterschiedlichen Frequenzen besitzen unterschiedliche Vor- und Nachteile. Um die richtige Einsatzfrequenz für die Produktrückverfolgung im Sondermaschinenbau zu finden, werden die Frequenzen auf ihre Anwendungsgebiete untersucht. Ein weiteres Untersuchungsinteresse gilt den verschiedenen Betriebsarten und Übertragungsverfahren zwischen RFID-Antenne und Transpondern, da diese hinsichtlich des Einsatzzweckes und des daraus resultierenden maximal erforderlichen Lese- und Schreibabstands entscheidend sind. Eine nicht zu unterschätzende Bedeutung für die Produktidentifikation weist die Pulk-Erfassung auf. Darunter wird die Identifikation von mehreren Transpondern zur gleichen Zeit verstanden. Dies ist nur im UHF-Bereich möglich. Aus diesem Grund werden die Tests von RFID-Systemen im praktischen Teil auf den UHF-Bereich beschränkt.

Ein kurzer Ausblick in das Thema Datenbanksysteme vermittelt ein Grundverständnis, wie die erfassten Daten aus dem RFID-Lesegerät verwaltet werden. Die Darstellung der typischen Einsatzgebiete der RFID-Technologie rundet den theoretischen Teil schlussendlich ab. Die Überleitung zum praktischen Teil bildet die Einführung von Auto-ID-Systemen. Hierbei werden der gegenwärtige Stand der Technik sowie die grundsätzlichen Voraussetzungen für die Einführbarkeit behandelt. Die Überlegung bezüglich der Anschaffung eines Auto-ID-Systems wird erst dann ein relevantes Thema, wenn dadurch eine Effizienzsteigerung im Betrieb erlangt werden kann. Ein weiterer Nebeneffekt ist eine höhere Prozesssicherheit durch Auto-ID-Systeme. Oftmals scheitern Prozessoptimierungen an fehlenden durchgängigen Prozessinformationen. Mittels Erfassung der eindeutigen Objektkennzeichnung ist es möglich, Zielgrößen zu erfassen und zu bewerten. Ein weiterer Punkt, der für die hohe Prozesssicherheit spricht, ist das Track & Trace in der chemischen Industrie. Dort gehört es bereits zum Stand der Technik, dass Informationen entlang der Lieferkette miteinander verknüpft sind.

Um eine qualitative Aussage treffen zu können, welches Auto-ID-System für den Betrieb Alba tooling & engineering GmbH am zielführendsten ist, bedarf es der Versuchsaufbauten eines Barcode- und eines RFID-Systems. Als Erstes werden die Tests zur Barcodetechnologie durchgeführt. Dabei soll der praktikabelste Weg ermittelt werden, metallische Frästeile aus dem firmeninternen Fräszentrum und Zukaufteile zu beschriften, um diese anschließend eindeutig identifizieren zu können. Hierbei werden die Beschriftungsverfahren Klebeetiketts, lasergrafierte Schilder und das direkte Lasern der Bauteile angewendet. Jedes Verfahren zeigt Vor- und Nachteile. Beim Transport in die Fertigungszelle müssen alle markierten Artikel nochmals gescannt werden. Dadurch soll festgestellt werden, welche Bauteile tatsächlich in die Fertigungszelle gelangen. Dort angekommen, werden diese in die Fertigungsregale eingelagert und verbleiben dort bis zu ihrem Zusammenbau. Es fällt bei der Barcodetechnologie deutlich auf, dass das Abscannen der Barcodes an den Fertigungsgates eine besonders zeitintensive Tätigkeit mit einem hohen Fehlerpotential ist. Sollte es gefordert sein, alle in der Fertigungszelle befindlichen Bauteile nochmals festzustellen, nimmt das Abscannen der Barcodes wiederum erhebliche Zeitkapazitäten in Anspruch. Der zweite Versuchsaufbau wurde mit der RFID-Technologie durchgeführt. Dabei beschränkt man sich, wie oben bereits erwähnt, auf den UHF-Bereich. Um die metallischen Produkte erfolgreich identifizieren zu können, werden spezielle On-Metal-Transponder eingesetzt. Der Vorteil dieser Transponder liegt darin, dass sie durch ihre spezielle Bauform auch auf Metallen identifiziert werden können. Überdies besitzen

diese Transponder eine magnetische Halterung und können somit direkt an den metallischen Bauteilen befestigt werden. Nach der ordnungsgemäßen Befestigung werden die Bauteile in die Fertigungszelle transportiert. Im Eingangsbereich der Fertigungszelle werden Tests sowohl mit einem einseitigen als auch einem zweiseitigen Gate durchgeführt. Es zeigt sich, dass nur das zweiseitige Gate eine nahezu lückenlose Identifikation aller Bauteile ermöglicht. Ist eine erneute Produktidentifikation aller in der Fertigungszelle befindlichen Produkte gefordert, kann mithilfe eines mobilen RFID-Lesegerätes eine Pulk-Erfassung durchgeführt werden. Diese Arbeitstätigkeit beschränkt sich auf einige wenige Sekunden. Jedoch können Transponder, welche vollständig von metallischen Bauteilen abgeschirmt sind, nicht erfolgreich identifiziert werden. Eine Lösung ist, auf das richtige Ablegen der Bauteile zu achten.

Um die Frage der zielführenderen Technologie im Sondermaschinenbau beantworten zu können, werden im darauffolgenden Kapitel die beiden Technologien bewertet, um zu einer Empfehlung für eine Technologie zu gelangen. Bewertungskriterien waren u. a. die maximale Lese- und Schreibreichweite, die Einwirkung äußerer Störeinflüsse und die Kosten der Markierungen.

Im Hinblick auf die technische Funktionalität fällt die Entscheidung auf die RFID-Technologie. Die signifikanten Vorteile der RFID-Technologie spiegeln sich in der Bewertung wider. Das Ziel dieser Arbeit kann somit erreicht werden.

Im Hinblick auf eine weitere Ausarbeitung dieser Thematik bedarf es für eine Einführung eines RFID-Systems einer gründlichen Vorplanung. Mithilfe eines realen Testbetriebes können Prozessschwächen ermittelt und behoben werden, bevor das System endgültig in den Produktionsbetrieb integriert wird. Abschließend wird deutlich, dass durch ein gut geplantes Auto-ID-System Stillstandzeiten von Mitarbeitern reduziert werden, Prozess- und Projektabläufe reibungsfreier vonstattengehen und somit die Gesamteffizienz des Betriebes gesteigert wird.

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke

Bartneck, Norbert; Weinländer, Markus (2008): *Prozesse optimieren mit RFID und Auto-ID: Grundlagen, Problemlösungen und Anwendungsbeispiele*, Publicis Corporate Publishing, Erlangen.

Bühler, Peter; Schlaich, Patrick; Sinner, Dominik (2019): *Datenmanagement: Daten, Datenbanken, Datensicherheit*, Springer, Berlin.

Cheriet, Mohamed (2007): *Character recognition systems: A guide for students and practioners*, Wiley, New Jersey.

DIN Deutsches Institut für Normung: *Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen*, Beuth Verlag, Berlin.

Finkenzeller, Klaus; Gebhart, Michael (2015): *RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC*, 7. aktualisierte und erweiterte Auflage, Hanser, München.

Fleisch, Elgar; Mattern, Friedemann (2005): *Das Internet der Dinge: Ubiquitous computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen*, Springer, Berlin.

Franke, Werner; Dangelmaier, Wilhelm; Sprenger, Christian; Wecker, Frank (2006): *RFID-Leitfaden für die Logistik: Anwendungsgebiete, Einsatzmöglichkeiten, Integration, Praxisbeispiele*, 1. Aufl., Gabler, Wiesbaden.

Helmus, Manfred (2009): *RFID in der Baulogistik: Forschungsbericht zum Projekt "Integriertes Wertschöpfungsmodell mit RFID in der Bau- und Immobilienwirtschaft"*, 1. Aufl., Vieweg + Teubner, Wiesbaden.

Hippenmeyer, Heinrich; Moosmann, Thomas (2016a): *Automatische Identifikation für Industrie 4.0*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Hippenmeyer, Heinrich; Moosmann, Thomas (2016b): *Automatische Identifikation für Industrie 4.0*, Springer, Berlin.

Hompel, Michael ten; Büchter, Hubert; Franzke, Ulrich (2008): *Identifikationssysteme und Automatisierung*, Springer, Berlin.

ISO/IEC (2012): *Informationstechnik - Identifizierung von Waren mittels Hochfrequenz (RFID) für das Management des Warenflusses - Teil 6: Parameter für die Kommunikation auf Frequenzen von 860-930 MHz*, Beuth Verlag, Berlin.

Kern, Christian (2006): *Anwendung von RFID-Systemen*, Springer, Berlin.

Krämer, Klaus (2002): *Automatisierung in Materialfluss und Logistik: Ebenen, Informationslogistik, Identifikationssysteme, intelligente Geräte*, 1. Aufl., Dt. Univ.-Verlag, Wiesbaden.

Müller, Jürgen (2017): *Auto-ID-Verfahren im Kontext allgegenwärtiger Datenverarbeitung: Datenschutzrechtliche Betrachtung des Einsatzes von RFID-Systemen*, Springer, Wiesbaden.

Rankl, Wolfgang; Effing, Wolfgang (2002): *Handbuch der Chipkarten: Aufbau - Funktionsweise - Einsatz von Smart Cards*, 4., überarb. und aktualisierte Aufl., Hanser, München.

Tamm, Gerrit; Tribowski, Christoph (2010): *RFID*, Springer, Berlin.

Weigert, Sebastian (2006): *Radio Frequency Identification (RFID) in der Automobilindustrie: Chancen, Risiken, Nutzenpotentiale*, 1. Aufl., Dt. Univ.-Verl., Wiesbaden.

Online-Quellen

1&1 IONOS SE (2018): *RFID (Radio Frequency Identification)*:

<https://www.ionos.at/digitalguide/server/knowhow/rfid-radio-frequency-identification/> [Stand: 08.11.2020].

atlasRFIDstore (2020): *9 Tactics for Choosing an RFID Antenna*: <https://www.atlasrfidstore.com/9-tactics-for-choosing-an-rfid-antenna/> [Stand: 14.09.2020].

Bundesamt für Sicherheit in der Informatik (2005): *Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen*:

https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/ElekAusweise/RFID/RIKCHA_barrierefrei_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [Stand: 19.09.2020].

Confidex (2017): *PRODUCT DATASHEET Confidex Ironside Slim™*: <https://www.confidex.com/wp-content/uploads/Confidex-Ironside-Slim-Datasheet.pdf> [Stand: 11.11.2020].

Dr. Thomas und Partner GmbH & Co. KG (2015): *Pulkerfassung in der Extra- und Intralogistik*:

<https://logistikknowhow.com/bestandsverwaltung/pulkerfassung/> [Stand: 19.09.2020].

ECR (2017): *Electronic Product Code (EPC)*: <https://www.ecr.digital/book/gs1-standards/electronic-product-code-epc/> [Stand: 19.09.2020].

Gauglitz; Löbert; Sollmann (2011): *Elektromagnetische Strahlung (EMS) - Chemgapedia*:

http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/26/eam/organische_photovoltaik/elektromagnetische_strahlung/elektromagnetische_strahlung.vlu/Page/vsc/de/ph/16/optik/wellenoptik/lerneinheiten/elektromagnetische_strahlung/elektromagnetische_strahlung_elektromagnetisches_spektrum.vscml.html [Stand: 11.11.2020].

Informatik Aktuell (2019): *RFID – Anwendungsgebiete | Informatik Aktuell*: <https://www.informatik-aktuell.de/betrieb/netzwerke/rfid-anwendungsgebiete.html> [Stand: 20.09.2020].

Infotip Service GmbH (2017): *RFID - Radio-frequency Identification - InfoTip Kompendium*:

<https://kompendium.infotip.de/rfid.html> [Stand: 11.11.2020].

Iwantschew (2019): *70 Jahre Barcode-Geschichte*: <https://www.bluhmsysteme.com/blog/der-barcode-wird-70-jahre-alt/> [Stand: 06.09.2020].

Keyence Deutschland (2020): *Was bedeutet „Rückverfolgbarkeit“ überhaupt?*:

https://www.keyence.de/ss/products/marking/traceability/basic_about.jsp [Stand: 01.09.2020].

Keyence Deutschland: *Optische Zeichenerkennung (OCR) des Aufdrucks auf Gurtschlössern : Branchenlösungen / Anwendungen | KEYENCE Deutschland:*

https://www.keyence.de/solutions/applications/ap_20116.jsp [Stand: 11.11.2020].

Laserax (2019): *Data Matrix Codes vs. QR Codes – What is the Difference?:*

<https://www.laserax.com/blog/data-matrix-vs-qr-codes> [Stand: 06.09.2020].

Lipinski (2012): *HCCB (high capacity color barcode) :: HCCB-Code :: ITWissen.info:*

<https://www.itwissen.info/HCCB-high-capacity-color-barcode-HCCB-Code.html> [Stand: 08.11.2020].

Lipinski (2020): *EPC (electronic product code):* <https://www.itwissen.info/EPC-electronic-product-code-EPC-Code.html> [Stand: 19.09.2020].

Reinking: *Elektromagnetische Wellen in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer:*

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/elektromagnetische-wellen> [Stand: 06.11.2020].

Schen: *RFID-TUNNELGATES FÜR EINE SICHERE PULKERFASSUNG:*

<https://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/de/dokumente/publikationen/rfid-tunnelgates-fuer-sichere-pulkerfassung-fraunhofer-iff.pdf> [Stand: 19.09.2020].

Schneider (2019): *Die gängigsten Barcode-Typen:* <https://www.logiscenter.at/news/die-gaengigsten-barcode-typen> [Stand: 08.11.2020].

Stanger: *Logistikbranche: Barcode Technik:* <https://www.logistikbranche.net/dossier/barcode-technik.html> [Stand: 20.09.2020].

Streckodernorge: *Code 128 and Code 39 Barcodes - Streckodernorge_info:*

<https://streckodernorge.info/code-128-and-code-39-barcodes/> [Stand: 08.11.2020].

Studyflix: *Elektromagnetisches Spektrum: einfach erklärt:*

<https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/elektromagnetisches-spektrum-1923> [Stand: 06.11.2020].

Ubbens (2017): *RFID - Radio-frequency Identification - InfoTip Kompendium:*

<https://kompendium.infotip.de/rfid.html> [Stand: 06.11.2020].

Vendita Sigilli di Sicurezza e Garanzia (2018): *GATE UHF RFID PER LETTURA MULTIPLA DI TAG RFID:* <https://sigillidisicurezzaonline.it/2018/11/30/gate-uhf-rfid/> [Stand: 11.11.2020].

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Traceability, Quelle: Keyence Deutschland (2020), Online-Quelle [01.09.2020].	5
Abb. 2: Übersicht der automatischen Identifikationssysteme, Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 2.	7
Abb. 3: EAN13-Strichcode, Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 4.	9
Abb. 4: Code 39 und Code 128, Quelle: Strekkodernorge, Online-Quelle [08.11.2020].	10
Abb. 5: 2D-Codes, Quelle: Laserax (2019), Online-Quelle [06.09.2020].	11
Abb. 6: Farbiger Barcode (HCCB), Quelle: Lipinski (2012), Online-Quelle [08.11.2020].	12
Abb. 7: Prinzip optische Kopplung, Quelle: Eigene Darstellung.	12
Abb. 8: Informationsträger zur optischen Detektion, Quelle: Krämer (2002), S. 96.	13
Abb. 9: OCR-Sensor, Quelle: Keyence Deutschland (2020), Online-Quelle [11.11.2020].	15
Abb. 10: Speicherkarte, Quelle: Rankl; Effing (2002), S. 21.	16
Abb. 11: Mikroprozessorkarte, Quelle: Rankl; Effing (2002), S. 22.	16
Abb. 12: Die Komponenten eines RFID-Systems, Quelle: Fleisch; Mattern (2005), S. 71.	19
Abb. 13: Anwendung RFID-Tor, Quelle: Vendita Sigilli di Sicurezza e Garanzia (2018), Online-Quelle [11.11.2020].	20
Abb. 14: Linear und zirkular polarisierende RFID-Antenne, Quelle: atlasRFIDstore (2020), Online-Quelle [14.09.2020].	21
Abb. 15: Verschiedene Transpondergrößen, Quelle: Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 14.	22
Abb. 16: Übertragungsverfahren von Transpondern, Quelle: Franke; Dangelmaier; Sprenger; Wecker (2006), S. 31.	23
Abb. 17: Kapazitive Kopplung, Quelle: Kern (2006), S. 49.	24
Abb. 18: Induktive Kopplung, Quelle: Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 44.	25
Abb. 19: Grundfunktion des Backscatter-Verfahrens, Quelle: Kern (2006), S. 57.	26
Abb. 20: Entstehung einer elektromagnetischen Welle, Quelle: Finkenzeller; Gebhart (2015), S. 120.	27
Abb. 21: Elektromagnetisches Spektrum, Online-Quelle: Gauglitz; Löbert; Sollmann (2011), Online-Quelle [11.11.2020].	28
Abb. 22: Nah- und Fernfeld des RFID-Bereichs, Quelle: Ubbens (2017), Online-Quelle [06.11.2020].	29
Abb. 23: Pulk-Erfassung eines Lkw, Quelle: Schen, Online-Quelle [19.09.2020].	32
Abb. 24: Aufbau des EPC-Codes, Quelle: Infotip Service GmbH (2017), Online-Quelle [11.11.2020].	32
Abb. 25: Schematische Abb. eines DBMS Systems, Quelle: Bühler; Schlaich; Sinner (2019), S. 51.	33
Abb. 26: „Gläserner Prototyp“ in einem RFID-Tor, Quelle: Informatik Aktuell (2019), Online-Quelle [20.09.2020].	36

Abb. 27: Fertigungsplatz, Quelle: Eigene Darstellung.	42
Abb. 28: Schematischer Ablauf mit einem Auto-ID-System, Quelle: Eigene Darstellung.....	43
Abb. 29: UHF On-Metal-Transponder, Quelle: Confidex (2017), Online-Quelle [11.11.2020].....	47
Abb. 30: Bauteilkontrolle mittels mobilem RFID-Reader, Quelle: Eigene Darstellung.....	48
Abb. 31: Beispiel von Zukaufteilen, Quelle: Eigene Darstellung.	49
Abb. 32: Bauteile aus dem hausinternen Fräszentrum, Quelle: Eigene Darstellung.	50
Abb. 33: Klebeetikette befestigt an einer Plastikschütte, Quelle: Eigene Darstellung.	51
Abb. 34: Klebeetikette befestigt an Fertigungsbauteil, Quelle: Eigene Darstellung.....	51
Abb. 35: Laser-Graviermaschine beim Lasern von Metallschildern, Quelle: Eigene Darstellung.....	51
Abb. 36: Gravierschild befestigt an Plastikschütte, Quelle: Eigene Darstellung.	52
Abb. 37: Gravierschild befestigt an Fertigungsbauteil, Quelle: Eigene Darstellung.....	52
Abb. 38: Lasergraviertes Bauteil, Quelle: Eigene Darstellung.	53
Abb. 39: Teilweise gereinigtes, lasergraviertes Bauteil, Quelle: Eigene Darstellung.	53
Abb. 40: Transport von Bauteilen in die Fertigungszelle, Quelle: Eigene Darstellung.	55
Abb. 41: Anbringung des Transponders an einem metallischen Bauteil, Quelle: Eigene Darstellung.	57
Abb. 42: Low-Range-Antenne zur Übertragung des EPC, Quelle: Eigene Darstellung.	58
Abb. 43: Flurförderfahrzeug mit Bauteilen, ausgestattet mit verschiedenen Transpondern, Quelle: Eigene Darstellung.	59
Abb. 44: Zweiseitiges Gate, Quelle: Eigene Darstellung.	60
Abb. 45: Radardiagramm Barcode/RFID, Quelle: Eigene Darstellung.	65

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Änderungen der Entwicklungsschwerpunkte, Quelle: Krämer (2002), S. 5.....	4
Tab. 2: Beispiel Datenbank für ein Barcodesystem, Quelle: Eigene Darstellung.	45

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

DBMS	Datenbankmanagementsystem
DPM	Direct Part Marking
EPC	<i>Electronic Product Code</i>
HF	<i>High Frequency</i>
LF	<i>Low Frequency</i>
<i>RFID</i>	<i>Radio Frequency Identification</i>
RTLS	<i>Real Time Locating Systems</i>
SHF	<i>Super High Frequency</i>
SQL	Structured Query Language
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>