

Abschlussbericht des  
IGF Forschungsprojektes  
Nr. 15753

**SmartRack**  
**zur vollautomatischen Bestandserfassung**  
**mittels RFID**

Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans

Dr.-Ing Frank Schönung

Dipl.-Ing. Peter Linsel

## **Förderhinweis**

Die Entwicklung eines Smart Racks zur vollautomatischen Bestandserfassung mittels RFID wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „Smart Rack zur vollautomatischen Bestandserfassung mittels RFID“ (AiF-Projekt Nr. 15753) aus Haushaltsmitteln des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“, e.V. (AiF) gefördert und im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik e.V., Bremen durchgeführt.

# Zusammenfassung und Innovationsgehalt

Mit dem Projekt „Smart Rack zur vollautomatischen Bestandserfassung mittels RFID“ wurde die Entwicklung eines branchenneutralen Regalsystem insbesondere für kleinere und mittlere Unternehmen angestrebt.

Die Besonderheit bei diesem Projekt ist die kontinuierliche Überwachungs- und Rückmeldefunktion mittels Radio-Frequency Identification (RFID). Zur Erreichung des Ziels wurde ein voll funktionsfähiger Demonstrator am Institut für Förder-technik und Logistiksysteme am Karlsruher Institut für Technologie (ehemals Universität Karlsruhe) entwickelt, welcher die Funktionsfähigkeit des Smart Rack verdeutlicht.

Im Rahmen der Forschungsarbeiten erfolgte zuerst eine Voruntersuchung von möglichen Frequenzbereichen, welche für den Einsatz im Smart Rack prädestiniert sind. Desweiteren wurde auf die Beeinträchtigung von verschiedenen Materialien auf die Zuverlässigkeit und die Übertragungreichweite eingegangen. Diese wurden in mehreren Versuchen getestet und die erzielten Ergebnisse gegenübergestellt und verglichen. Ebenso mussten verschiedene Bauformen von Transponder getestet werden und die bestmögliche Anbringung an das zu überwachende Produkt untersucht werden. Gleichzeitig wurde in diesem Zuge die Konzeptionierung der optimalen Antennenposition getestet, bei der die höchste Übertragungsrates von Transponder zu Antenne vorliegt.

Die dabei hervorgegangenen Ergebnisse wurden anschließend für die Entwicklung des Demonstrators und deren Konstruktion verwendet und weiter optimiert.

Ein weiterer wichtiger Schritt für den Erfolg des Projektes war die Konzeptionierung einer Softwareschnittstelle, welche dazu führt, dass sowohl Kunde als auch Lieferant jederzeit und intuitiv auf das Smart Rack zugreifen können. Dabei wird der aktuelle Bestand durch eine Grafik sehr gut veranschaulicht. Somit kann der Lieferant den Bestand stets aktuell einsehen und kann dadurch abschätzen, wann die nächste Lieferung seinerseits erfolgen muss.

Neben den vielseitigen Einsatzmöglichkeiten des Smart Rack zeichnet es insbesondere im Verhältnis zu anderen bestandserfassenden Regalsystemen die Zuverlässigkeit, die Einfachheit und die geringen Lebenszykluskosten aus.

Das Forschungsprojekt eignet sich demnach vor allem für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU), welche damit sehr flexibel und schnell auf Veränderungen reagieren können.

Dies zeigt vor allem das bestehende Interesse der Industrie. Besonders KMU und Großunternehmen sehen in diesem Projekt eine Chance ihr Bestandsmanagement zu automatisieren und dadurch laufende Kosten einzusparen. Desweiteren gibt es Interessenten, welche das SmartRack gerne vermarkten würden. Auch dieses Interesse zeigt dem Institut, dass ein Einsatz des SmartRacks in verschiedensten Unternehmen demnächst möglich und wirtschaftlich sinnvoll sein kann. Deshalb wurden auch schon mit einzelnen Systemkomponentenherstellern erste Gespräche zwecks der Produktion des SmartRacks geführt.

**Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.**

# Inhaltsverzeichnis

1	Forschungsthema .....	6
2	Wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Problemstellung .....	7
2.1	Ausgangssituation und Anlass.....	7
2.2	Technische Informationen .....	7
2.3	Stand der Forschung.....	14
2.4	Einordnung in grundlagenorientiert, produktorientiert und verfahrensorientiert .....	15
3	Forschungsziel, Ergebnisse, Lösungsweg .....	16
3.1	Forschungsziel.....	16
3.1.1	Angestrebte Forschungsergebnisse .....	17
3.1.2	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse .....	17
3.2	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels .....	18
3.3	Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen des ursprünglichen Forschungsantrag .....	19
3.4	Aufbau und Funktionsweise des SmartRack .....	21
3.4.1	Aufbau .....	21
3.4.2	Funktionsweise anhand eines Beispielsprozesses .....	22
3.5	Das Pflichtenheft .....	23
3.5.1	Einführung in das Projekt SmartRack.....	23
3.5.2	Projektbeschreibung (Soll-Zustand).....	30
3.5.3	Anforderungen an die Systemtechnik .....	33
3.5.4	Anforderungen an die Kommunikationsschnittstellen .....	36
3.5.5	Anforderungen an die Qualität von SmartRack .....	38
3.5.6	Systemtechnische Lösung .....	40
3.6	Darstellung der erzielten Ergebnisse mittels Abbildungen.....	45
3.7	Integrationsmöglichkeiten in der Logistikprozesskette – Praxisnahes Anwendungsszenario .....	45
3.7.1	Betroffene Prozesse und ihre Potenziale .....	47
3.7.2	Technische Realisierung und unterstützende Systeme.....	51
3.7.3	Vor- und Nachteile gegenüber bestehenden Systemen .....	52
3.7.4	Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit.....	53
3.7.5	Fazit .....	56
4	Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft .....	57
5	Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU).....	59
5.1	Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse .....	59
5.2	Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU .....	59
5.3	Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende .....	59

6	Durchführende Forschungsstelle.....	60
6.1	Leiter der Forschungsstelle .....	60
6.2	Projektleiter .....	60
6.3	Erläuterungen zum Einsatz des wissenschaftlichen Personals .....	60
6.4	Erläuterungen zu Geräten mit einem Beschaffungswert über 2.500 €.....	60
7	Abbildungsverzeichnis.....	62
8	Tabellenverzeichnis .....	63
9	Literaturverzeichnis .....	64

## 1 Forschungsthema

Ziel des Forschungsprojektes ist die vorwettbewerbliche Entwicklung eines branchenneutralen Regalsystems zur vollautomatischen Bestandserfassung mittels RFID, in einem Durchlaufregal mit kontinuierlicher Überwachungs- und Rückmeldefunktion (hier SmartRack genannt). Dazu ergänzend werden die notwendigen IT-Prozesse konzipiert.

Die Konfiguration der Antennen des Identifikationssystems soll durch experimentelle und analytische Methoden bestimmt werden und, in Abhängigkeit der ausgewählten Frequenz, geeignete Regalmaterialien ausgewählt werden, die eine zuverlässige Bestandsabfrage sicherstellen.

Das zu entwickelnde universelle SmartRack schafft die Möglichkeit, mit einem geringen Investitions- und Installationsaufwand eine hohe Datenintegrität zu realisieren. Dadurch können effiziente Logistikprozesse installiert werden, die Bestände und Durchlaufzeiten reduzieren und somit ein hohes Servicelevel bei geringeren Kosten ermöglichen und so einen Beitrag für gute Kunden-Abnehmerbeziehungen leisten.

Für KMU bzw. kleine, dezentrale Standorte ist die Realisierung von VMI oder eKanban aus Kostengründen meist nicht möglich. Traditionell erfolgt für solche Prozesse der Datenaustausch zwischen den logistischen Einheiten verschiedener Unternehmen durch Verbindung der jeweiligen bestandsführenden Systeme über Standardprotokolle. Es entstehen auf Seiten des Bestellers und des Lieferanten hohe Implementierungskosten durch die Anbindung der beteiligten ERP-Systeme. Durch die Realisierung einer Stand-Alone-Lösung, welche gleichzeitig „Plug&Play“-fähig ist, können kleine, dezentrale Lagersysteme mit direktem Informationsfluss eingerichtet werden, da geringe Implementierungskosten anfallen. Durch den Wegfall einer ERP-Anbindung entfallen störanfällige Schnittstellen, wodurch die Systemzuverlässigkeit erhöht werden kann.

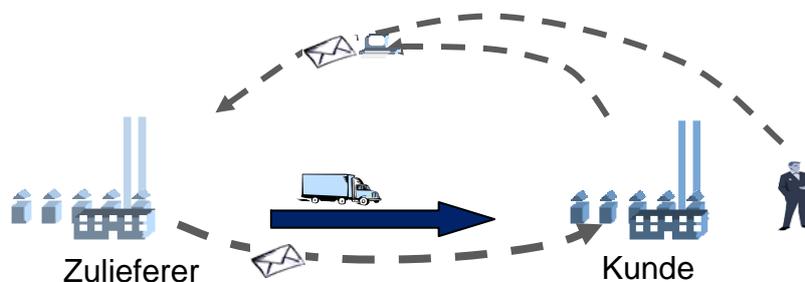


Abbildung 1 Prinzipieller Ablauf eines VMI Prozesses

Die vollautomatische Bestandserfassung hilft zudem, Fehler bei der Kommissionierung und Distribution zu minimieren und somit Kosten zu reduzieren. Hierbei nimmt die Verwendung von Generation 2 Transpondern eine zentrale Rolle ein, wodurch bedeutende Vorteile erzielt werden können. Durch die Standardisierung von G2-Chips und -Lesegeräte ergeben sich geringe Hardwarekosten. Ein solcher Standard ermöglicht auch den Einsatz in multinationalen Lieferketten, wodurch logistische Abläufe übersichtlicher und kostengünstiger gestaltet werden können.

Durch das SmartRack können kleine und dezentrale Regelkreise realisiert werden. Als einfach vernetzte Umsetzung eines VMI wird dadurch der Gedanke verschwendungsarmer Prozesse des Lean-Production auf das Supply Chain Management übertragen.

## 2 Wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Problemstellung

### 2.1 Ausgangssituation und Anlass

Durch die abnehmende Fertigungstiefe auf den Stufen der Wertschöpfungskette steigt die Anzahl der insgesamt beteiligten Unternehmen und somit die Komplexität der gesamten Kette. Insbesondere der Aufbau der notwendigen Schnittstellen zwischen den IT-Systemen der beteiligten Unternehmen behindert den kurzfristigen Auf- und Umbau des Informationsaustausches entlang der Supply Chain. Durch die vorwettbewerbliche Entwicklung und Realisierung eines universellen, branchenneutralen Regalsystems sollen auch KMU Zugang zu den kooperativen Strategien des Supply Chain Management und einer schlanken Produktion erhalten. Bislang scheitert dies an den hohen Investitionen für die Erweiterung der IT-Systeme. Durch den Einsatz des SmartRack wird es diesen Unternehmen möglich, bei einem geringen Investitions- und Installationsaufwand, einen durchgängigen Informationsfluss entlang ihrer Supply Chain zu realisieren. Dadurch können Bestände und Durchlaufzeiten reduziert und zugleich eine höhere Kundenzufriedenheit bei geringeren Kosten erzielt werden.

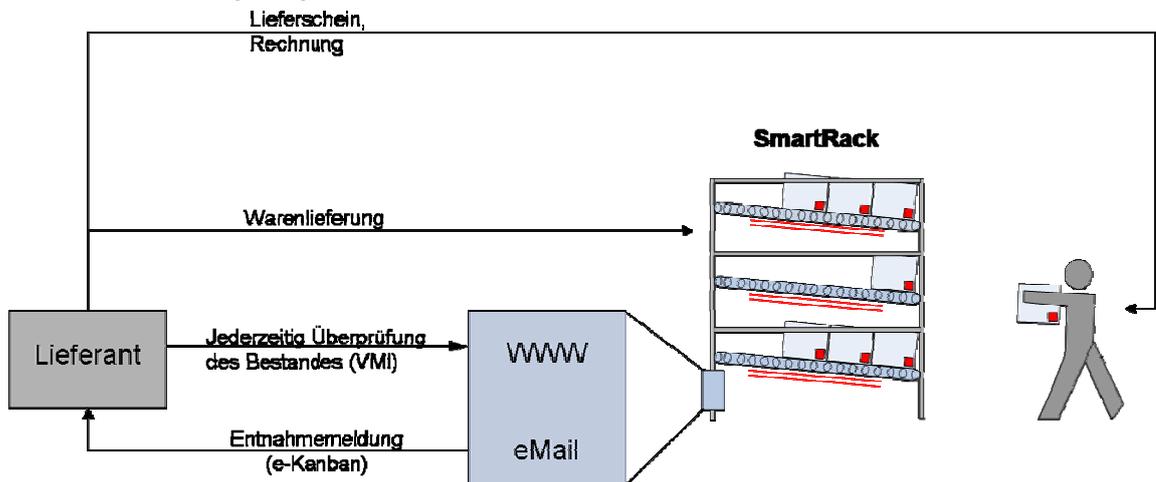


Abbildung 2 Aufbau mit Punkt zu Punkt Kommunikation

### 2.2 Technische Informationen

Der Einsatz von RFID für die Erfassung des aktuellen Bestands scheitert gerade bei Durchlaufregalen meist aufgrund der Materialeigenschaften der eingelagerten Artikel bzw. der verwendeten Regalkonstruktion selbst. Ein zentraler, negativer Umwelteinfluss im Produktionsumfeld ist z.B. das Vorhandensein verschiedenartiger Motoren unterschiedlichen Charakters, da diese die Kommunikation störende Frequenzen erzeugen. Auch wirkt sich das Reflexionsverhalten metallischer und anderer Gegenstände nachteilig auf eine zuverlässige Lesung bzw. eine hohe Leserate aus. Durch experimentelle und analytische Methoden sollen geeignete Antennenkonfigurationen für ein zu lagerndes Produktspektrum bestimmt und, in Abhängigkeit der ausgewählten Frequenz, geeignete Regalmaterialien ausgewählt werden. Denn bisher wurden die Materialeigenschaften vielmehr nach mechanischen Kriterien wie Robustheit, Festigkeit, Flexibilität oder Korrosionsanfälligkeit ausgewählt.

Um Aussagen über die in der Industrieumgebung vorhandenen Störfelder treffen zu können, muss man Untersuchungen zu den Emissionen von unterschiedlichen Geräten und Systemen durchführen. Die maximal zulässigen Störstrahlungen und Störfelder sind durch mehrere internationale Normen für die jeweiligen Einsatzorte und -zwecke definiert [VDE-00b], [VDE-00c].

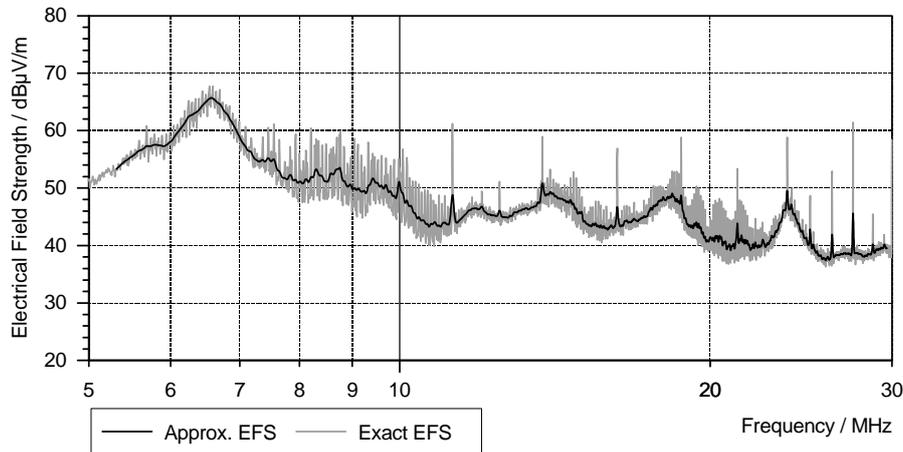


Abbildung 3 Emissionen eines Elektromotors – 5 MHz bis 30 MHz

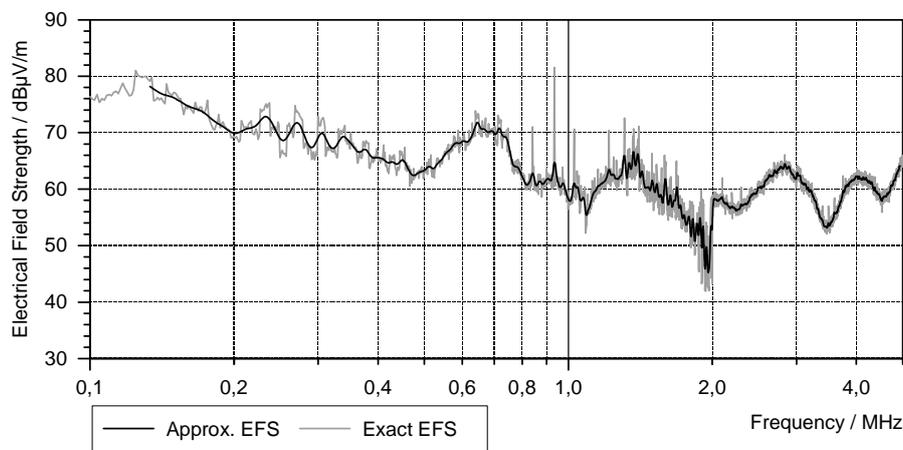


Abbildung 4 Emissionen eines Transformators - 0,1 MHz bis 5 MHz

Ebenso sollen Varianten für die Lage der Transponder am Behälter untersucht werden, um auftretende Reflexionen zu kompensieren und so die benötigten Leseraten zu erzielen.

Ein Maß für eine hohe Leseraten und somit für eine geeignete Antennenanordnung kann durch die Messung des Kommunikationsbereiches erfolgen. Hierbei kann eine Messung in verschiedenen Schnitten erfolgen, wobei der Z-Schnitt die beste Methode darstellt, eine aussagekräftige Grafik eines Kommunikationsbereiches zu erhalten. Dabei bleibt die z-Achse konstant bei  $z = 0$  mm, so dass sich für die x-Achse die seitliche Ausdehnung des Kommunikationsbereiches ergibt und die Werte der y-Achse die Längenabmessung des Kommunikationsbereiches angeben.

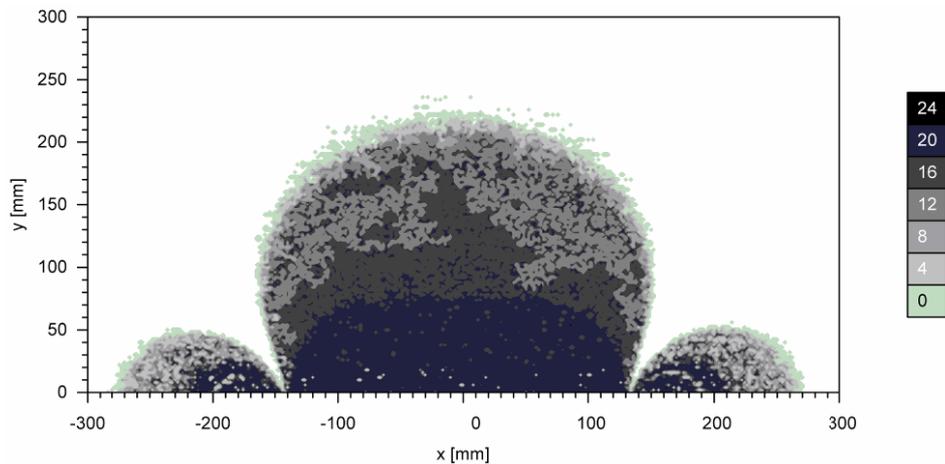


Abbildung 5 Kommunikationsbereich System A

Der Kommunikationsbereich des Testsystems A, zeigt die typische Keulenanordnung, mit einer Hauptkeule und zwei Nebenkeulen an. Damit die Datenträger nicht nur statisch, sondern auch dynamisch sicher identifiziert werden können, müssen mehrere Lesungen pro Sekunde möglich sein.

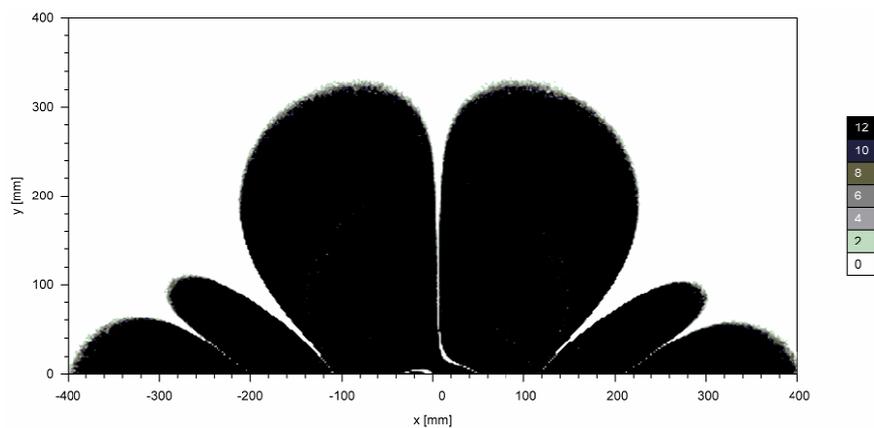


Abbildung 6 Kommunikationsbereich Testsystem B

Die Feldstärke in dBm lässt sich in jedem Punkt  $P(x,y,z)$  ermitteln. Zur besseren Visualisierung wird aber analog zu den Darstellungen der Kommunikationsbereiche nur ein zweidimensionaler Schnitt mit  $z = 0$  mm gezeigt. Bedingt durch die Abhängigkeit der Feldstärke  $H$  von der Entfernung zum stromführenden Leiter sind die Werte der Feldstärke in unmittelbarer Nähe der Erregerspule am höchsten. Die Messpunkte liegen in einem Abstand von 2 mm, sowohl in  $x$ - wie auch in  $y$ -Richtung, auseinander.

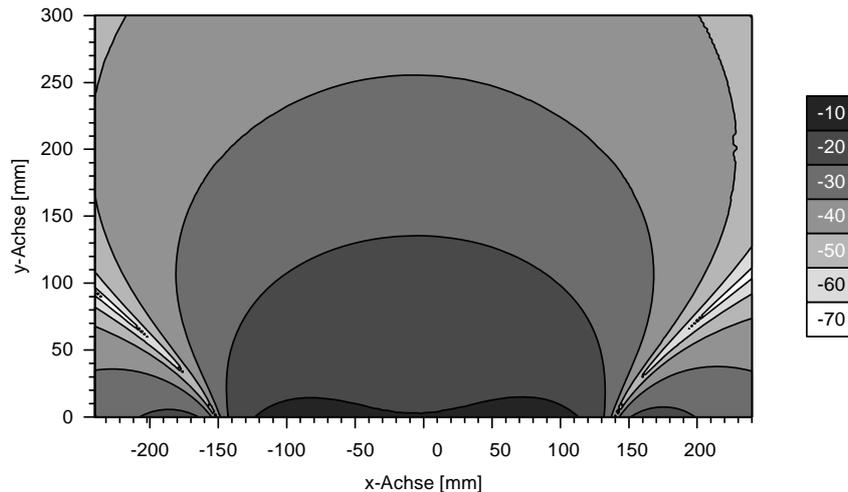


Abbildung 7 Feldstärkeverlauf Testsystem A

Die Unempfindlichkeit eines Systems gegenüber anderen Systemen ist ein wesentliches Kriterium der Elektromagnetischen Verträglichkeit. Die Vielfalt und Verschiedenheit der vom Anwendungsbereich der Normen betroffenen Geräte macht es schwer, allumfassende Kriterien für die Bewertung der Ergebnisse der Störfestigkeitsprüfungen zu bestimmen. Die Normen EN 61000 [VDE-94], [VDE-97] geben grundlegende Informationen zur Durchführung der Störfestigkeitsprüfung von RFID-Systemen vor, allerdings sind die Grenzwerte aufgrund der Nahfeldproblematik nicht als zuverlässig zu betrachten.

Zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit von RFID-Systemen gegen die am Einsatzort zu erwartenden Störgrößen wird die Störfestigkeits- oder Suszeptibilitätsmesstechnik verwendet. Die Störgrößen lassen sich dabei entweder direkt durch die Messung der am Einsatzort vorhandenen Geräte oder Systeme bestimmen oder aus den internationalen EMV-Normen ableiten.

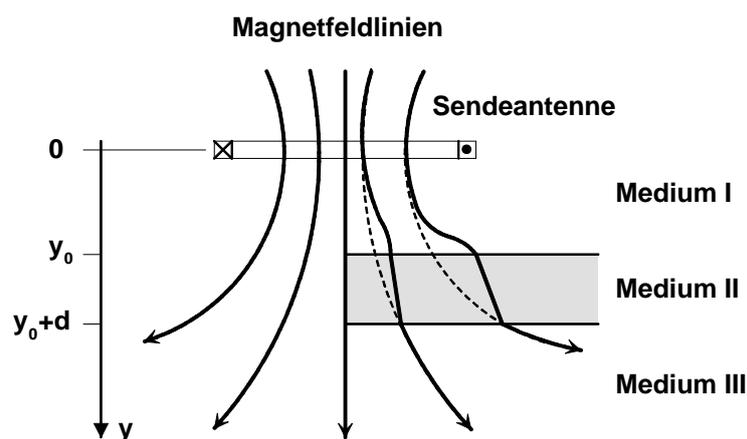


Abbildung 8 Verlauf der magnetischen Feldlinien in verschiedenen Medien

Bisher wurden Regale und Regalsysteme entwickelt, ohne den Fokus gezielt auf eine Integration von Elektronischen Identifikationsverfahren zu legen. Die Materialeigenschaften wurden vielmehr nach mechanischen Kriterien wie Robustheit, Festigkeit, Flexibilität oder Korrosionsanfälligkeit gewählt. Unter logistischen

Gesichtspunkten wurden Betrachtungen des Materialflusses oder der entsprechenden Lieferkette gegenüber den Schnittstellen, IT-Anbindung, Informationsfluss oder logistischer Strategien gesehen. Die Komponente Identifikation fand bisher wenig Beachtung in der Gesamtheit der betrachteten Komponenten und Schnittstellen.

Die Möglichkeit, RFID in breiterem Maße einzusetzen, wurde bislang durch zu hohe Investitionskosten, unzureichende oder nicht vorhandenen Standards oder ungenügender Leistungsparameter gebremst. Besonders im Frequenzbereich UHF bzw. der Generation 2 sollen diese Hemmnisse wesentlich minimiert werden.

Die vorherrschenden aber unzulänglichen Regalsysteme, die bisher eingesetzten IT-Netzwerke, die praktizierten Organisations- und Logistikverfahren und das hohe Leistungspotential moderner RFID-Technik im UHF-Bereich motivieren die vorgeschlagene wissenschaftliche Untersuchung und Forschung zur Kombination vorhandener technischer, informationstechnischer und logistischer Komponenten und zur Entwicklung einer kostengünstigen und praxisrelevanten Lösung für eine vollautomatische Bestandserfassung von Regalsystemen.

Innerhalb der Prozesse Lagerverwaltung, -steuerung sowie Nachschubsteuerung sind neben den klassischen plangesteuerten Verfahren auch Kanban oder VMI zur Steuerung der Supplier – OEM – Beziehung bekannt. Beide Systeme sind sowohl wissenschaftlich untersucht (s. bspw. „Supply Chain Management and Advanced Planning“ von Stadler, Klinger) als auch in der industriellen Praxis eingeführt.

In der Praxis haben RFID-Systeme oftmals geringere Lesereichweiten und höhere Fehlerquoten als die Hersteller vor der Implementierung vorhergesagt haben. Dies liegt daran, dass die Herstellerangaben sich auf Laborbedingungen beziehen, in der Praxis aber Umgebungseinflüsse wie Störfelder, Verpackungsmaterialien oder Hintergrundmaterialien eine Rolle spielen.

Zur Kapselung elektronischer Datenträger gegenüber Umwelteinflüssen wie Wasser oder Hitze verwendet man, je nach Anwendung, PVC, Glas oder Keramik. Die physikalischen Eigenschaften dieser Materialien beeinflussen als Zwischenmaterial die Kommunikationsmöglichkeiten der RFID-Systeme in beträchtlichem Umfang [REU-94], [FER-99a], [FER-99b].

In der Regel erfordert eine Anwendung oft die Montage von Transpondern in unmittelbarer Nähe von metallischen Oberflächen [KAL-96]. Der magnetische Fluss durch die Metallplatte induziert dabei Wirbelströme, welche das magnetische Erregerfeld dämpfen (Lenz'sche Regel) und auf diese Weise die Reichweite des RFID-System erheblich einschränken. Das bei der Anwendung in Frage kommende Hintergrundmaterial ist aus diesem Grund somit sorgfältig auszuwählen. Da metallische Materialien einen deutlich höheren Einfluss haben, entscheidet man sich in der Praxis im Idealfall zu PVC, Glas oder Keramik.

In der Automation werden die Transponder an das Material oder an einen Behälter montiert, der in einer bestimmten Geschwindigkeit das Schreib-/Lesegerät passiert. Die maximale Geschwindigkeit lässt sich dabei aus den Datenübertragungsraten und der Größe des Datenpakets errechnen [DIN-00]. Allerdings empfiehlt es sich, noch Reserven zur Korrektur von Fehl- oder Falschlesungen zu berücksichtigen, da sonst u.U. der Materialfluss angehalten, bzw. das Material (der Behälter) erneut am Lesegerät vorbeigeführt werden muss.

Bei der Anwendung von RFID-Systemen befinden sich oftmals eine Vielzahl von Transpondern im Bereich des Schreib-/Lesegeräts. Dabei kann es bei der gleichzeitigen Übertragung von Daten von den Transpondern zum Schreib-/Lesegerät

zu gegenseitigen Störungen (Kollisionen) kommen. Diese Problematik des Vielfachzugriffs begegnet man generell mit verschiedenen Multiplexverfahren wie TDMA (Time domain multiple access), FDMA (Frequency domain multiple access) oder SDMA (Space division multiple access). Um kurzfristig höhere Übertragungsraten zu erhalten, verwendet man Antikollisionsalgorithmen wie das ALOHA-Verfahren, ein stochastisches TDMA-Verfahren [FIN-99].

Bedingt durch wirtschaftliche Interessen einzelner Länder und Konzerne kam die Standardisierung und Normierung von RFID-Komponenten, Algorithmen und Übertragungsverfahren bislang nur langsam voran. Die daraus resultierende Inkompatibilität von Produkten der verschiedenen Hersteller verhindert seit langem eine breite Einführung der RFID-Technologie. Die hohen Kosten der RFID-Systeme lassen sich dem Kunden nur bei einem entscheidenden Mehrwert, wie z.B. der fälschungssicheren Wegfahrsperrung, plausibel erklären. Die nationalen und internationalen Normierungskomitees vereinheitlichten in letzter Zeit vor allem Grenzwerte der am weitesten verbreiteten RFID-Systeme und die für die jeweiligen Frequenzbereiche geltenden Vorschriften hinsichtlich der Elektromagnetischen Verträglichkeit.

Während mit Hochdruck daran gearbeitet wird, RFID-Technologien und Frequenzen mit Standards zu versehen, kann der UHF-Bereich (Generation 2) bereits als weltweit standardisiert benannt werden. Für den wichtigen Anwendungsbereich Handel ist es gelungen, einen internationalen und vollständig kompatiblen Standard festzulegen. Dies vereinfacht die Implementierung der Technik in die bestehenden Prozesse auf zielorientierte Anwendungen. Außerdem ist es möglich, mit der Generation 2 Schreib- und Lesegeräte schneller und einfacher – von lokalen Anwendungen auf globale Einsätze zu adaptieren, was auch zu einer branchenübergreifenden und marktneutralen Nutzung führt.

Die Leistungsparameter der Generation 2; UHF zeigen auch eine Weiterentwicklung gegenüber der Generation 1, auf, wobei sich die Schreib- und Leserate erhöhen. Im Zuge eines breitflächigen Einsatzes, sinken die Kosten für die Datenträger und Peripheriegeräte ebenso, wie auch die schnelle Implementierung zur Kostenreduktion gegenüber anderen Systemen führt.

Zumeist werden Normen, um eine zügige Umsetzung zu gewährleisten, parallel auf nationaler und internationaler Ebene behandelt. Ein Beispiel dafür ist die deutsche Norm für Identifikationskarten DIN 10536, welche international unter dem Namen DIN EN ISO/IEC 10536 bekannt ist. Trotz der Bemühungen der Normungsgremien sind die freigegebenen Frequenzbänder und Feldstärken keinesfalls weltweit einheitlich. Vielmehr werden auf nationaler Ebene bestimmte Frequenzbänder nur an Einrichtungen mit höherer Priorität vergeben. Zu nennen sind hierbei der Militärfunk, die Satellitenkommunikation oder die Flugzeugnavigation.

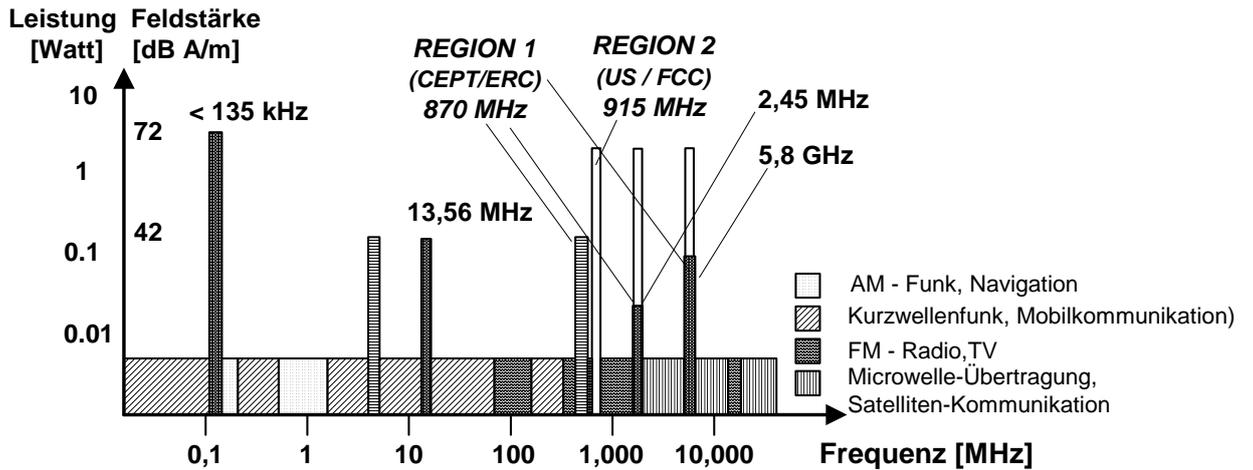


Abbildung 9 ITU Normierung

Nach der ITU kann man die Geltungsbereiche grob in die zwei Regionen Europa und USA unterteilen. In der EU sind die Frequenzbänder in den für RFID-Systeme interessanten Bereichen in den letzten Jahren harmonisiert worden [HOL-96].

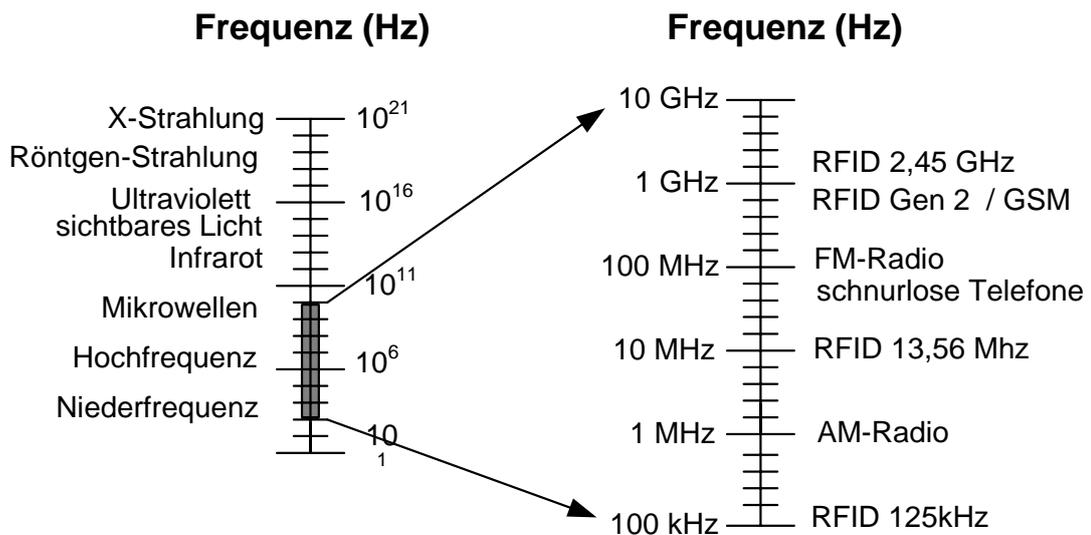


Abbildung 10 Frequenzskalen

Die Zukunft der *Low-cost* Datenträger liegt jedoch im Bereich von 13,56 MHz. Der Grund dafür ist die Antenneninduktivität, die in diesem Frequenzbereich deutlich geringer ausfällt. Somit lassen sich Antennen mit geringeren Windungszahlen verwirklichen, welche sowohl günstiger in der Herstellung als auch flexibler bei der Implementierung sind. Ebenso zukunftsweisend ist der UHF-Bereich, mit Generation 2 Transpondern. Hier zeigen sich Ultrakurzwellenfrequenzen leistungsfähiger als die der Generation 1. Der von behördlichen Stellen reservierte Bereich von 865 – 868 MHz kann für Anwendungen im Bereich Handel genutzt werden und ist dementsprechend für das vorgestellte Forschungsvorhaben prädestiniert. Durch eine durchgängige und überbetriebliche Nutzung standardisierter Frequenzbereiche wird der Nutzung ein bisher hemmendes Kriterium genommen und das Einsatzspektrum weiterentwickelt.

Frequenzbereich	Anwendung bei RFID	Anwendungen neben RFID
> 135 kHz	EAS Automatisierungstechnik Tieridentifikation	Funkdienste KFZ-Wegfahrsperre Funkfernsteuerungen
6,78 MHz	EAS	Funkdienste Modellfernsteuerungen
13,56 MHz	EAS Ticketing	ISM-Dienste Personalrufanlagen
27,125 MHz	Zugangskontrolle Automatisierungstechnik	Hochfrequenzschweißgeräte Babyphon
433,920 MHz	Zugangskontrolle Materialflusserfassung	Amateurfunk Betriebs- und Datenfunk
UHF Gen2 Deutschland 865,6 MHz – 867,6 MHz	Handel	Funkdienste
2,45 GHz	Automatisierungstechnik Fertigung	Bluetooth Wireless LAN

Tabelle 1 RFID Frequenzbereiche

Auf dem Markt für RFID-Systeme gibt es neben den Standardlösungen noch eine Reihe von Nischenprodukten, welche spezielle Kundenwünsche berücksichtigen. Hohe Anforderungen werden dabei etwa an die Verschlüsselung der Daten auf dem Transponder sowie an die Fälschungssicherheit gestellt, auf die RFID-Systeme für sicherheitsrelevante Produkte wie Warensicherungssysteme (EAS), KFZ-Wegfahrsperren oder Zugangskontrollen angewiesen sind.

### 2.3 Stand der Forschung

Am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme wurden bereits unter der Leitung von Prof. Arnold seit ca. 15 Jahren Untersuchungen und Entwicklungen im Bereich RFID durchgeführt. Zentrale Themen bildeten u.a. die Bestimmung des Kommunikationsbereiches induktiver ID-Systeme mittels eines analytischen Modells (Dr. Peter Fery) oder die Elektromagnetische Verträglichkeit induktiver RFID-Systeme (Dr. Ingomar Sottriffer). Parallel dazu laufen seit einiger Zeit Untersuchungen z.B. am IML (Dortmund, Prof. ten Hompel) oder ITA (Hannover, Prof. Overmeyer) über den Einsatz von RFID im industriellen Umfeld.

Im Rahmen der Lehre werden des Weiteren seit Jahren am IFL Vorlesungen und Übungen zu Techniken und Anwendungsgebieten von RFID durchgeführt.

Im Bereich der Intelligenten Regale gibt es bereits verschiedene Ansätze für den ConsumerBereich. Beispielsweise im Futurestore der Metro Group AG

(<http://www.future-store.org>) oder im Telecooperation office des KIT (<http://www.teco.edu>). Dabei fehlt jedoch bis jetzt ein Konzept, welches die drei Teilbereiche RFID, Logistik und Regaltechnik verknüpft und an intralogistische Anforderungen anpasst.

## **2.4 Einordnung in grundlagenorientiert, produktorientiert und verfahrenorientiert**

Das Forschungsvorhaben ist sowohl produkt- als auch verfahrenorientiert. Das zu entwickelnde Regal bildet den Kern des Demonstrators, welcher ein erster Schritt hin zur Entwicklung eines vollautomatischen Regalsystems zur Bestandserfassung ist.

### **3 Forschungsziel, Ergebnisse, Lösungsweg**

#### **3.1 Forschungsziel**

Das Ziel des Forschungsprojekts ist die Entwicklung eines vollautomatischen, von der bestehenden IT-Umgebung unabhängigen, Bestanderfassungs- und Meldesystems für Behälterlager. Anwendern soll es - mit vertretbarem Zeit- und Kostenaufwand - ermöglicht werden, kleine, dezentrale Lagersysteme zu installieren und dadurch eine automatische und kontinuierliche Bestandserfassung zu erreichen.

Es ist Ziel, das System durch eine vollständig integrierte Verwaltung und Benutzerschnittstelle (Webportal, E-Mail) auf Basis einer kompakten Rechnerhardware (z.B. PDA) als Stand-Alone-Lösung zu gestalten.

Außerdem wird eine Vorgehensweise zur Einführung und Umsetzung eines solchen Systems entwickelt, die KMU anwenden können und unabhängig von der Branche allen Unternehmenszweigen für die Bestandserfassung dienen kann. Aus dem Projekt lassen sich sowohl Produkte als auch Dienstleistungen für die spätere wirtschaftliche Verwertung ableiten.

Vor dem Hintergrund der komplexen IT-Systemarchitektur eines Unternehmens kann ein im Bereich der Logistik eingesetztes RFID-System als eine Komponente der Supply Chain Management Systemarchitektur betrachtet werden. Der Einsatz von RFID als Automatisierungstechnologie in der Logistik bietet eine Schnittstelle zwischen den Informationssystemen des SCM und der realen Welt. Eingesetzt als Auto-ID-System oder für elektronische Kanban Systeme im Bereich der E-Logistik erhöht die RFID Technologie die Visibilität, welche als ein Maß der Verfügbarkeit von Informationen über logistische Systemzustände herangezogen wird. Bekannte Probleme beim Lagermanagement sind unter anderem die Abweichung des im IT-System abgebildeten vom tatsächlichen Lagerbestand, was zu einer ungenauen und damit unzuverlässigen Planung führt. Folglich ergeben sich unerwünschte – weil zu hohe oder zu niedrige- Sicherheitsbestände, die zu vermeidenden Kosten für das Unternehmen darstellen. Auslösend stehen zu Beginn dieser Fehlplanung und –entwicklung ungenaue Informationen, die man durch den Einsatz von RFID-Technologie im Lagermanagement vermeiden kann.

Mit dem vollautomatischen Bestandserfassungssystem SmartRack kann einerseits die gewünschte Verbesserung bei der Genauigkeit der Lagerbestandsdaten erreicht werden und andererseits können diese Daten zeitgleich abgebildet und verfügbar gemacht werden. Gekoppelt mit dem Einsatz weiterer IT-Systeme können Bestandsdaten mit festgelegten Melde- und Sicherheitsbeständen, abgeglichen werden. Im Falle dezentraler Lagerhaltung (z.B. Vendor Management Inventory) könnte der Lieferant via Email über Entnahmen im Lager informiert werden und somit Warenlieferungen zum Kunden veranlassen (e-Kanban). Durch Verzicht auf die Anbindung an ERP-Systeme umgeht man mögliche Schnittstellenprobleme auf dieser Ebene und garantiert einen sicheren und zuverlässigen Weg der Datenübertragung, der so auch für kleinere Unternehmen interessant sein sollte.

### 3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

#### a) wissenschaftlich-technische Ergebnisse:

- Messung des Kommunikationsbereiches eines RFID System
- Ermittlung der Feldstärke des Schreib-Lesegerätes
- Systematische Überprüfung geeigneter Hintergrundmaterialien und einer geeigneten Antennenanordnung
- Minimierung der Störungseinflüsse bei der Identifikation der Transponder
- Entwicklung eines Regalsystems, welches die physikalischen Restriktionen erfüllt, aber ebenso die Kommunikationsbereichsuntersuchungen berücksichtigt.
- Einbindung der internetbasierten Bestandsaktualisierung und Überwachung in die Regallösung
- Gegenüberstellung der RFID Identifikationslösung mit anderen Identifikationstechnologien (z.B. Barcode, Infrarot)
- Schaffung eines branchenneutralen Lagersystems, welches modular, offen und ohne komplizierte Schnittstellen zu anderen Lagersystemen eingesetzt werden kann

#### b) wirtschaftliche Ergebnisse:

- Angebot einer praktikablen und kostengünstigen Möglichkeit zur einfachen und schnellen Realisierung von eKanban und VMI Prozessen für KMU
- Kostenreduzierung durch Mengeneffekte für Datenträger und Schreib-Lese- und Peripheriegeräte der RFID Technologie
- Verhinderung von Fehllagerbestände durch die vollautomatische und kontinuierliche Bestandserfassung
- Abschätzung des Kosteneinsparungspotenzials durch die Standardisierung der Frequenzen der RFID Technologie

### 3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

#### a) Zu einem neuen Produkt

Es wird ein vollautomatisches, von der bestehenden IT-Umgebung unabhängiges, Bestanderfassungs- und Meldesystems entwickelt. Dabei besteht die Möglichkeit, das System mit einer kompakten und marktgängigen Hardware (z.B. einem PDA) zu betreiben.

#### b) Zur Weiterentwicklung eines Produktes

Der Einsatz des Systems Smart Racks ist allgemein auf innerbetriebliche und zwischenbetriebliche Material- und Informationsflüsse erweiterbar. Folglich ist es der erste Schritt zu einer vielseitigen Nutzung von RFID im Lagerbereich, aus denen neue Produkte entwickelt werden können.

#### c) Zu einem neuen Verfahren

Eine Installation von kleinen, dezentralen Lagerverwaltungssystemen ist mit Hilfe von SmartRack vor allem auch in KMU kostengünstig realisierbar. Dabei bietet SmartRack die Fähigkeit zur automatischen und kontinuierlichen Bestanderfassung. Eine voll integrierte Verwaltung und Benutzerschnittstelle (Webportal, E-

Mail) macht es zu einer Stand-Alone Lösung auf Basis offener Standards und bewährter sowie einfacher Protokolle.

d) Zur Weiterentwicklung eines Verfahrens

Das zu erwartende Ergebnis in diesem Projekt bildet die technische und methodische Grundlage für die zukünftige Entwicklung innovativer und bedarfsgerechter Lösungen im Bereich Materialfluss und Logistik. Ein Grund dafür ist die Übereinstimmung der Ziele der vollautomatischen Bestandserfassung mit den Planungszielen der Logistik: Niedrige Bestände, kurze Durchlaufzeiten und ein hoher Servicegrad.

### 3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

a) Voruntersuchungen der Wechselwirkung zwischen Materialien für das Regal und RFID Frequenzen

Im ersten Arbeitsschritt wird die Wechselwirkung zwischen verschiedenen Regalmaterialien und Antennen – Transponder – Anordnungen untersucht. Hierbei wird der Fokus auf Generation 2 (UHF) gelegt. Grundlage bilden bereits abgeschlossene Arbeiten, in denen verschiedene Hintergrundmaterialien und Frequenzen in Wechselwirkungen untersucht wurden. Als Messinstrument dient ein Messstand der zur Vermessung von verschiedenen Antennen – Transponder-Systemen entwickelt wurde.

b) Aufbau einer Testeinrichtung für die Voruntersuchungen

Aufbau bzw. Anpassung einer Testeinrichtung, die die geforderten Randbedingungen abbildet. Hierzu muss das ausgewählte Regalsystem und die vorhandene Messeinrichtung so umkonstruiert werden, dass zielgerichtete Messreihen durchgeführt werden können.

c) Vorentwicklung und Konstruktion eines Modells für ein SmartRack mit geeigneten Materialien

Planung und Konstruktionen von Teilbereichen eines Regalsystems die aufgrund von a und b aus anderen Materialien entwickelt bzw. angepasst werden müssen.

d) Konzeption der Antennenpositionierung

Erstellung eines Pflichtenhefts der Anforderungen für Lesereichweiten, Transponderanordnungen, -beschaffenheit bzw. Leseraten. Die Projektpartner aus den mittelständischen Unternehmen werden in die Erstellung mit einbezogen.

e) Konzeption & Entwicklung der Softwareschnittstelle

Erstellung eines Pflichtenhefts der Anforderungen der Softwareschnittstelle. Die Projektpartner aus den mittelständischen Unternehmen werden in die Anforderungserstellung mit einbezogen.

Für die praktische Anwendung wird eine anwenderorientierte Benutzerumgebung objektorientiert entwickelt. Ziel ist es, intuitive Benutzeroberfläche für den Benutzer zu realisieren. Es sind Schnittstellen für die Eingabe, Ausgabe, Übertragung und Parametrisierung zu programmieren. Die Inhalte und Gestaltungen ergeben sich aus dem zuvor erstellten Pflichtenheft. Die Implementierung ist hinsichtlich Stabilität, Bedienerfreundlichkeit und Funktionalität zu testen.

f) Aufbau / Test / Validierung eines Modells für ein SmartRack

Die Ergebnisse aus a bis e sind zu einem funktionsfähigen Demonstrator zusammen zu setzen, zu testen und zu validieren.

- g) Anwendung am Beispiel mittelständischer Betriebe (KMU)  
Der entwickelte Demonstrator wird in den Materialfluss eines mittelständischen Betriebs integriert und auf seine Funktionsweise und Handhabbarkeit überprüft.
- h) Wirtschaftlichkeitsuntersuchung u. Vergleich mit anderen Identifikationslösungen  
Das im Forschungsvorhaben entwickelte System wird auf seine Wirtschaftlichkeit untersucht, hierzu werden die Ergebnisse aus Teil g mit genutzt. Weiterhin wird untersucht, ob es parallel zu RFID anderen Identifikationstechniken, wie z.B. Barcode, Bildverarbeitung gibt, mit denen ein ähnliches bzw. leistungsfähigeres System realisiert werden kann.
- i) Auswertung, Dokumentation und Kommunikation der Ergebnisse  
Die im Forschungsvorhaben entwickelten Verfahren und Methoden werden in einem Schlussbericht dokumentiert. Die Anwendung und mögliche Weiterentwicklung des Demonstrators für die praktische Nutzung wird beschrieben. Die erzielten Ergebnisse werden im Schlussbericht erläutert und bewertet. Die gewonnenen Erkenntnisse für Wissenschaft und Praxis werden in Fachzeitschriften publiziert und auf Konferenzen und Kongressen dem Fachpublikum präsentiert.

### **3.3 Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen des ursprünglichen Forschungsantrag**

Im Zeitraum vom 01.02.2009 bis zum 31.07.2010 wurde folgende Ergebnisse des Forschungsvorhabens erreicht:

Getätigte Arbeitsschritte	Ergebnisse
Untersuchung von möglichen Frequenzbereichen mit Hilfe eines Messstandes	Aufgrund der Versuchsergebnisse und den geringeren Transponderkosten wurde der Frequenzbereich 13,56 MHz ausgewählt. Die Entscheidung fiel deshalb auf den Frequenzbereich 13,56 MHz und nicht auf UHF, da die Transponder im Nahfeld gelesen werden und positionsgenau bestimmt werden müssen. Ebenso spielte die Geschwindigkeit der Lesung eine Rolle. Dabei konnten auch bei 13,56 MHz eine höhere Lesegeschwindigkeit erzielt werden. Die UH Frequenz, welche ebenso sehr gute Zukunftsperspektiven hat, ist eher für das Fernfeld geeignet. Der Grund jedoch warum man sich gegen die UH-Frequenz entschied, war die nicht positionsgenaue Erkennung und folglich wären beim Einsatz im SmartRack Probleme aufgetreten, da die KLT nicht den einzelnen Ebenen zuordenbar gewesen wären.
Untersuchung der Beeinträchtigung verschiedener Materialien beim Lesen der Transponder mit Hilfe eines Messstandes	In Tests wurden verschiedene Regalmaterialien untersucht und ebenso verschiedene mögliche Inhalte in den Kleinladungsträger. Bei dem Regalmaterial entschied man sich aufgrund von den Ergebnissen für ein Aluminium Gestell, welches die Lesezuverlässigkeit im Vergleich zu Eisen nicht beeinflusst. Folglich beeinträchtigt das Regal nicht die Lesezuverlässigkeit. Ebenso füllte man die Kleinladungsträger komplett mit Flüssigkeit und mit Eisen in den Versuchen. Hier zeigte sich auch, dass durch Maßnahmen eine ausreichende Zuverlässigkeit vorlag. Eine Maßnahme war zum Beispiel der Abstand zwischen Transponder und dem eingelagerten Gut, welcher genau 1,5 cm beträgt.
Aufbau einer Testeinrichtung, welche den geforderten Randbedingungen des SmartRack Konzeptes entspricht	Die Testeinrichtung wurde aufgebaut. Damit besteht die Möglichkeit zur Durchführung erster zielgerichteter Messreihen.
Untersuchung von möglichen Varianten zur Anbringung des Transponders an das Produkt	Es zeigte sich, dass die Anbringung des Transponders am KLT am geeignetsten ist. Eine Anbringung direkt am Produkt ist aufgrund zu hoher Leseunsicherheit nicht möglich. Aufgrund der Beeinflussung der Lesereichweite durch Metall, ist ein KLT aus Kunststoff notwendig.
Versuch zur Bestimmung der optimalen Lage des Transponders am KLT	Verschiedene Varianten zur Anbringung (Art und Ort) wurden getestet. Als geeignetste Position erwies sich zentral an der Unterseite des KLT.

Konzeption der Antennenpositionierung	Die Antenne ist mittig entlang der Auflagefläche untergebracht, so dass eine ständige Lesung von vorhandenen KLT erfolgen kann (siehe Abbildung 3). In der Mitte ist die geringste Beeinflussung von Störgrößen (z. B. durch die Regalkonstruktion).
Erstellen des Pflichtenheftes	Die Ergebnisse der Voruntersuchungen wurden im Pflichtenheft beschrieben und somit wurden die gewonnenen Erkenntnisse detailliert festgehalten.
Konstruktion eines Modell für ein SmartRack mit geeigneten Materialien	Mit Hilfe der oben gewonnenen Erkenntnisse konnte ein Modell aufgebaut werden, welches den Anforderungen des Pflichtenheftes entspricht.
Konzeption und Entwicklung der Software-schnittstelle	Es wurde eine intuitive Benutzeroberfläche entwickelt. Ebenso wurden auf der Softwareseite bestimmte Maßnahmen getroffen um eine höchstmögliche Zuverlässigkeit zu erreichen. Zum Beispiel wird ein KLT erst auf einen gewissen Platz zugewiesen sobald eine mehrfache positive Lesung erfolgt ist. Dies hat den Vorteil, dass bei einer einzelnen Fehlesung kein Fehler im System auf-taucht, da eine Lesung stets mehrfach geprüft wird. Desweiteren wird ein Platz im Regal erst als leer erkannt, sobald eine mehrfache positionsfreie Lesung vorliegt. Diese beiden Maßnahmen führten dazu, dass die Lesezuverlässigkeit deutlich ge-steigert werden konnte.
Umsetzen der ermittelten Ergebnisse zum Demonstrator	Der funktionsfähige Demonstrator entspricht den Anforderungen, wurde erfolgreich getestet und ist zu jeder Zeit betriebsbereit.
Wirtschaftlichkeitsuntersuchung	Berechnungen hierzu siehe Kapitel 3.7

Tabelle 2 Getätigte Arbeitsschritte und erzielte Ergebnisse

### 3.4 Aufbau und Funktionsweise des SmartRack

#### 3.4.1 Aufbau

Die technische Realisierung des SmartRack, das im Sinne einer „One-Click“ Inventur online alle sich im Regal befindenden Objekte registriert und die ermittelten Daten selbständig an vorgelagerte Ebenen melden kann, basiert auf dem Einsatz mit G2-RFID-Chips (Transponder) ausgestatteten Ladungsträgern. Diese aus Kunststoff gefertigten Behälter, in denen die Ware gelagert wird, liegen einer ebenfalls aus Kunststoff gefertigten Rollenbahn auf, welche der Entnahmeseite zugeneigt ist. Der Aufbau des SmartRack folgt äußerlich somit dem eines gewöhnlichen Durchlaufregallagers. In einem solchen Regallager, das mehrere

Ebenen fasst, sind die Behälter (gleichen Inhalts) auf einer Rollenbahn hintereinander und die Rollenbahnen selbst nebeneinander angeordnet. Die Neigung der Rollenbahn bewirkt aufgrund der Schwerkraft das Bewegen der Behälter hin zur Entnahmeseite; die Beschickung erfolgt von der anderen Seite und gewährleistet so das First-in-First-out-Prinzip (FIFO-Prinzip).

Die für den Auslese- und Übermittlungsvorgang der Daten notwendigen Antennen des RFID-Systems sind unterhalb einer jeden Rollenbahn angebracht und ermöglichen die Übertragung der auf den Chips gespeicherten Daten zu einem am Fuße des Regallagers installierten Mini PC mit Inter- bzw. Intranetanschluss. Zwischen RFID-Transponder und -Antenne befindet sich somit lediglich die Rollenbahn, auf der die Behälter aufliegen.

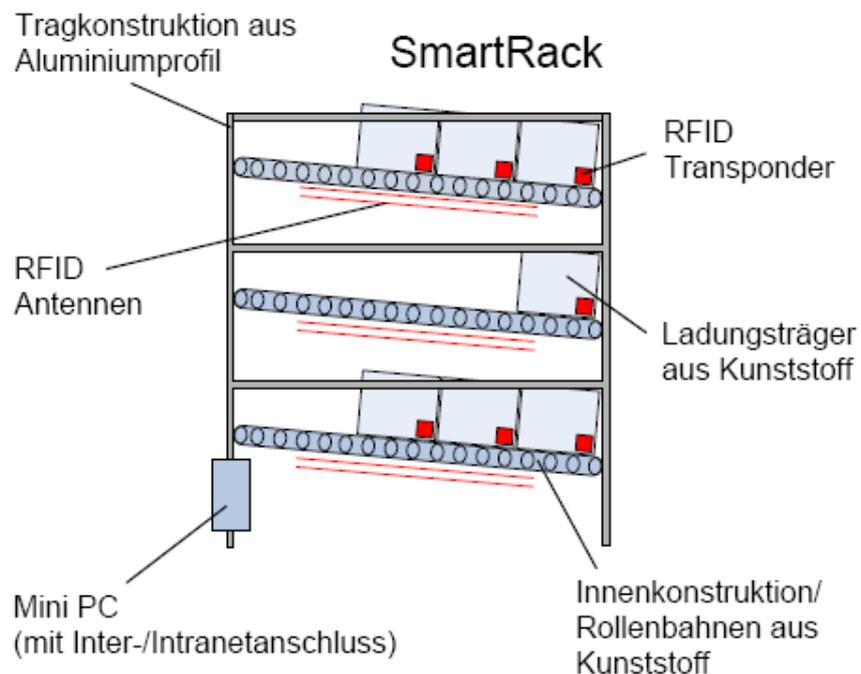


Abbildung 11 Aufbau des SmartRack

### 3.4.2 Funktionsweise anhand eines Beispielsprozesses

Ohne an dieser Stelle bereits tiefer gehend auf konkrete Einsatzmöglichkeiten des SmartRack innerhalb der Logistikprozesskette eingehen zu wollen, soll im Folgenden seine grundlegende Funktionsweise an einem Beispiel erläutert werden. Zwar ist der das SmartRack ebenso als Zwischen- oder Pufferlager einsetzbar, beispielhaft und wohl eher typisch für den Einsatzort in der Praxis wird im folgenden Beispiel die Positionierung des SmartRack an der Montagelinie eines produzierenden Unternehmens betrachtet. Angenommen wird hier die Beschickung eines SmartRack mit Kleinteilen (Schnelldreher), aus dem kontinuierlich eine konstante Warenmenge entnommen wird. Dieses SmartRack, bestehend aus drei Ebenen mit jeweils drei nebeneinander angeordneten Rollenbahnen, fasst insgesamt 27 Ladungsträger (Behälter) – drei auf jeder der neun Rollenbahnen. Alle Behälter einer Rollenbahn werden mit den gleichen Waren befüllt, wobei es sich um die jeweils gleiche Anzahl Kleinteile pro Behälter einer Rollenbahn handelt. Vor der ersten Warenentnahme befinden sich 27 Behälter - mit ihrer jeweils maximalen Anzahl an Kleinteilen - im SmartRack. Mit der Entnahme des letzten Teils aus einem Behälter wird dieser selbst ebenfalls entnommen. Unter

jedem Behälter ist der RFID-Chip angebracht, der neben den wichtigsten Informationen zu den einzelnen Teilen und deren Position im SmartRack ebenfalls sämtliche Informationen für die Wiederbeschaffung der Teile gespeichert hat. Die unterhalb der Rollenbahnen installierten Antennen kommunizieren die Chip-Daten in der Folge an das Mini-PC-System am Fuße des Regallagers. Die dem Mini-PC-System zur Verfügung stehenden Echtzeit-Daten werden via Intranetverbindung an ein zentrales Computersystem übermittelt, das diese Daten - graphisch aufbereitet - einem Supervisor darstellt. Darüber hinaus wird vereinfachend davon ausgegangen, dass sich eine endlos große Stückzahl jedes im SmartRack zur Verfügung gestellten Teils in einem zweiten Lager (z.B. ein Umlaufregallager) befindet. Die Wiederbeschaffungszeit eines neu befüllten Behälters ist bekannt und wird als konstant angenommen. Wird nun in der Folge ein Behälter aus dem SmartRack entnommen, – es sind also keine Teile mehr in diesem Behälter – registriert das Mini-PC-System diese Entnahme und generiert eine automatische Entnahmemeldung an das Computersystem des Supervisors. Dieser veranlasst die Entnahme der entsprechenden Teile aus dem Umlaufregallager, die in einem weiteren Schritt auf ein Fahrerloses Transportsystem (FTS) geladen und zum SmartRack gefahren werden. Dort angekommen wird das SmartRack mit dem neu befüllten Behälter beschickt. Das Mini-PC-System des SmartRack registriert diese Beschickung und sendet eine ebenfalls automatisch generierte Meldung über den Wareneingang des neuen Behälters an das System des Supervisors zurück.

Offensichtlich begünstigt der oben beschriebene Prozess dank des „smarten“ Einsatzes von RFID-Technologie einen zentralen Fortschritt: Die eingangs erwähnte Erhöhung der Visibilität. Welche grundsätzlichen Vor- und Nachteile durch den spezifische technischen Aufbau des SmartRack für den Anwender und die ihm vor- bzw. nachgelagerten Ebenen entstehen und welche weiteren Nutzenpotenziale damit verbunden sein können, soll im Folgenden genauer erläutert werden.

## **3.5 Das Pflichtenheft**

### **3.5.1 Einführung in das Projekt SmartRack**

#### **3.5.1.1 Veranlassung**

In den letzten Jahren ist die Anzahl von Unternehmen auf den verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette rasant angestiegen und hat so zu einer noch größeren Komplexität der gesamten Supply-Chain geführt<sup>1</sup>. Auch die fehlenden oder mangelhaften Schnittstellen zwischen den einzelnen IT-Systemen dieser Unternehmen behindern den kurzfristigen Informationsaustausch entlang der Wertschöpfungskette. Besonders für klein- und mittelständische Unternehmen (KMU) und kleine, dezentrale Standorte ist die Realisierung von komplexen Logistikkonzepten wie z.B. Vendor Managed Inventory (VMI) aus Kostengründen meist nicht möglich, da eine Erweiterung der IT-Systeme mit hohen Investitionskosten verbunden wäre. Durch die Entwicklung eines universellen und branchenneutralen Durchlaufregalsystems mit kontinuierlicher Überwachungs- und Rückmeldefunktion verbunden mit einer vollautomatischer Bestandserfassung mittels RFID-Technologie (SmartRack) sollen auch KMU Zugang zu den kooperativen Strategien des Supply Chain Managements und einer schlanken Produk-

---

<sup>1</sup> Vgl. Bretzke, Dr. Wolf-Rüdiger: Supply Chain Management, 7 Thesen zur zukünftigen Entwicklung logistischer Netzwerke, Vortrag, 2007

tion erhalten. Der Einsatz von SmartRack ermöglicht es diesen Unternehmen bei einem geringen Investitions- und Installationsaufwand einen durchgängigen Informationsfluss entlang der Supply Chain zu realisieren.

### 3.5.1.2 Zielsetzung

Ziel des Forschungsprojektes ist die vorwettbewerbliche Entwicklung eines branchenneutralen Durchlaufregalsystems mit vollautomatischer Bestandserfassung mittels RFID. Anwendern soll es so mit vertretbarem Zeit- und Kostenaufwand ermöglicht werden, kleine dezentrale Lagersysteme aufzubauen. Dadurch sollen effiziente Logistikprozesse installiert, die Bestände und Durchlaufzeiten reduziert und somit ein hohes Servicelevel bei geringen Kosten ermöglicht werden. Dies wird zur Zufriedenheit sowohl auf Besteller- als auch auf Lieferantenseite beitragen und die Kundenbindung erhöhen.

Zusätzlich ist die Kompatibilität des SmartRack ein wichtiger Bestandteil der Zielsetzung. Durch die Schaffung dieses branchenneutralen Lagersystems soll ein allgemeingültiger Standard angeboten werden, der modular, offen und ohne komplexe Schnittstellen zu anderen Lagersystemen in die Supply Chain integriert werden kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass SmartRack das Ziel hat Vendor Managed Inventory in einer einfach vernetzten Stand-Alone Lösung zu realisieren. Dabei wird sich an den verschwendungsarmen Prozessen des Lean-Managements angelehnt und effiziente Logistikprozesse implementiert.

### 3.5.1.3 Projektumgebung von SmartRack

Zu den Anwendungsbereichen von SmartRack sollen vor allem Stückgutlager und Produktionsstätten gehören, die eine dynamische Regallagerung mittels eines Durchlaufregalsystems realisieren. Diese Art des Lagersystems findet man sowohl in konventionellen Lagerstätten als auch in Produktionsstätten, wo Teile beispielsweise direkt an einem Fließband zur Verwendung durch einen Mitarbeiter bereitgestellt werden. In beiden Fällen würde SmartRack dafür sorgen, dass immer ein Mindestbestand an Teilen vorhanden ist und der Wertschöpfungsprozess nicht unterbrochen werden muss. Besonders in KMU oder kleinen, dezentralen Standorten, für die eine Erweiterung des vorhandenen IT-Systems zur Integration in die Supply-Chain zu kostspielig wäre, bietet SmartRack die Möglichkeit Vendor Managed Inventory einfach zu realisieren.

Als Zielgruppe stehen bezogen auf die Wirtschaftszweige vor allem der Maschinenbau und Dienstleistungssektor für Unternehmen im Vordergrund, doch sind auch andere Möglichkeiten, beispielsweise im privaten Sektor, denkbar.

Des Weiteren sollen besonders hinsichtlich der RFID-Technologie die Betriebsbedingungen, zu denen SmartRack eingesetzt wird, betrachtet werden. Die rauen Umgebungsbedingungen einer Produktion beinhalten Staub, Feuchtigkeit, Öle, hohe Temperaturen und ähnliche Beeinträchtigungen<sup>2</sup>. Bei der Auswahl einer geeigneten RFID-Technologie muss besonders mit einbezogen werden, dass in der Produktion eines Industrieunternehmens durch Schweißroboter oder starke Elektromotoren elektromagnetische Störfelder erzeugt werden, auf die gewisse RFID-Systeme empfindlich reagieren. Weitere Störfelder und nachteilige Reflexionen resultieren aus den Materialeigenschaften der eingelagerten Artikel oder sogar aus der verwendeten Regalkonstruktion selbst. Bisher wurden Regalsysteme entwickelt ohne den Fokus gezielt auf eine Integration von elektronischen Identifikationsverfahren, sondern auf mechanische Kriterien wie Robustheit und Flexibilität zu legen.

---

<sup>2</sup> Vgl. Finkenzeller, Klaus: RFID-Handbuch, 5.Auflage, 2008, S. 471

#### 3.5.1.4 Primären Aufgaben

Die primären Aufgaben von SmartRack bestehen aus der

- vollautomatische Bestandserfassung der eingelagerten Artikel. bzw. Behälter und dem
- Meldesystem zur automatischen Nachbestellung von Artikeln beim Zulieferer

#### 3.5.1.5 Beschreibung der Ausgangssituation (Ist-Zustand)

Der folgende Abschnitt beschreibt die verschiedenen, für das Projekt SmartRack relevanten Bestandteile im Ist-Zustand. Da SmartRack auch kleinen und mittelständischen Unternehmen den Zugang zu den kooperativen Strategien der Supply Chain ermöglichen kann, wird zunächst die Supply Chain an sich erklärt. Daraufhin wird ein kurzer Überblick über die verschiedenen Lagersysteme gegeben, mit denen zusammen SmartRack realisiert werden soll. Abschließend geht dieser Abschnitt auf die unterschiedlichen Möglichkeiten der Bestandserfassung und die einzelnen technischen Komponenten von SmartRack ein.

#### 3.5.1.6 Supply Chain

Da die Komplexität der Produkte heutzutage immer weiter ansteigt sind Unternehmen nicht mehr in der Lage den gesamten Wertschöpfungsprozess selbst zu realisieren. Viele Komponenten für das zu erzeugende Produkt werden daher von spezialisierten Lieferanten zugekauft. Dadurch wird es immer wichtiger eine unternehmensübergreifende Lieferkette mit einem durchgängigen Informationsfluss aufzubauen. Dieses Netzwerk zwischen Kunden, Lieferanten und deren Lieferanten wird als Supply Chain bezeichnet<sup>3</sup>. Im Vordergrund steht dabei vor allem die Möglichkeit Bestände und Durchlaufzeiten zu reduzieren und dennoch die Lieferbereitschaft beizubehalten. Allerdings bereitet es den Unternehmen weiterhin große Probleme eine transparente Supply Chain aufzubauen. Bedingt durch die verminderte Fertigungstiefe steigt die Anzahl der an der Wertschöpfungskette beteiligten Unternehmen und damit die Komplexität der gesamten Kette. Zudem besteht ein großes Problem darin die notwendigen Informationen entlang der Supply Chain auszutauschen und die dazu benötigten IT-Schnittstellen aufzubauen. Besonders für KMU sind die nötigen Investitionskosten für die IT- Erweiterung meist zu hoch.

#### 3.5.1.7 Beschreibung der Lagersysteme

Trotz hoher Kosten ist es für Unternehmen unvermeidbar Teile oder Produkte zwischenzulagern und damit Bestände aufzubauen. Es bestehen verschiedene Möglichkeiten diese Bestände innerhalb der Prozesse Lagerverwaltung, -steuerung sowie Nachschubsteuerung zu kontrollieren. Neben den klassischen plangesteuerten Verfahren wird heute hauptsächlich auf die Prinzipien des Kanban oder des VMI gesetzt. Da SmartRack im Zusammenhang mit diesen Lagersystemen realisiert werden soll, werden diese im Folgenden näher erläutert.

##### **Plangesteuerte Verfahren**

Das Prinzip der plangesteuerten Verfahren liegt darin den erwarteten Bedarf durch PPS-Systeme (Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme) zu prognostizieren und danach Fertigungsaufträge und Nachbestellungen zu generieren.

---

<sup>3</sup> Vgl. Schulte, Christof: Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain, 2005, S. 12

Die Prognose wird dabei durch eine zentrale Planungseinheit über vorliegende Kundenaufträge sowie kurzfristige Absatzprognosen vorgenommen<sup>4</sup>. Dies wird oftmals auch als „Push“-Prinzip bezeichnet, da die produzierten Waren quasi in die nächste Stufe geschoben und nicht erst bei Auftragseingang produziert werden. Daraus resultiert oftmals eine Produktions- bzw. Bestellpolitik die nicht dem realen Kundenbedarf entspricht und somit zu einer Erhöhung der Bestände und Durchlaufzeiten führt.

### **Kanban**

Im Gegensatz zu den plangesteuerten Verfahren orientiert sich die Materialversorgung bei Kanban nur am realen Verbrauch der nachgelagerten Stelle. Sobald bei der verbrauchenden Stelle ein festgelegter Mindestbestand erreicht ist, wird ein entsprechender Bedarf an die vorgelagerte Stufe übermittelt<sup>5</sup>. Da die Produktion ausschließlich bei Eingang eines Kundenauftrages erfolgt, ist in diesem Zusammenhang auch oft vom Holprinzip („Pull“) die Rede. Zur Unterstützung des Kanban-Systems werden verschiedene Hilfsmittel wie beispielsweise Kanbankarten verwendet. Diese dienen jeweils als Übertragungsmedium der benötigten Informationen an die vorgelagerte Stelle<sup>6</sup>.

### **VMI**

Bei VMI übernimmt der Zulieferer die gesamte Verantwortung über das Lager und dessen Inhalt. Erst nach Entnahme der Ware durch den Kunden geht diese in seinen Besitz über. Der Zulieferer muss dafür Sorge tragen, dass festgelegte Bestandsober- und Untergrenzen eingehalten werden<sup>7</sup>. Er erhält durch zusätzliche Information über Abgänge und Bestände die Möglichkeit doppelte Sicherheitsbestände zu vermeiden und damit die Bestandskosten zu senken<sup>8</sup>.

#### **3.5.1.8 Bestandserfassung**

Durch die ständig steigenden Anforderungen an die Lieferbereitschaft ist darauf zu achten immer einen Überblick über den aktuellen Bestand eines Lagers zu haben. Die im Folgenden beschriebenen Möglichkeiten der Bestandserfassung können in der Praxis untereinander oder mit den oben dargestellten Lagerverwaltungsprinzipien kombiniert auftreten.

### **Übergeordnetes Lagerverwaltungssystem**

Üblicherweise werden Bestände in einem Lager über ein übergeordnetes Lagerverwaltungssystem geregelt. Bei der Einlagerung einer Einheit am entsprechenden Lagerort wird dies an das Lagerverwaltungssystem gemeldet und in der Lagerplatzverwaltung verbucht. Nachdem die Ware aus dem Lagerplatz entnommen wurde, wird in der Lagerplatzverwaltung der Lagerplatz wieder als frei deklariert. Somit kann jederzeit der aktuelle Bestand erfasst und ausgelesen werden. Die Nachbestellung erfolgt nun indem z.B. bei Unterschreitung bereits festgelegter Mindestmengen ein Nachlieferungsauftrag generiert wird<sup>9</sup>.

### **Barcode-Technologie**

---

<sup>4</sup> Vgl. Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmanns, Kai: Handbuch Logistik, 3. Auflage. 2008, S.196

<sup>5</sup> Vgl. Schulte, Christof: Logistik Wege zur Optimierung der Supply Chain, 2005, S.423

<sup>6</sup> Vgl. Schulte, Christof: Logistik Wege zur Optimierung der Supply Chain, 2005, S.425

<sup>7</sup> Vgl. Arnold Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmanns, Kai: Handbuch Logistik, 3. Auflage, 2008, S.196

<sup>8</sup> Vgl. Schulte, Christof: Logistik Wege zur Optimierung der Supply Chain, 2005, S.498

<sup>9</sup> Vgl. Jacob, Thomas: Warehouse Management System, <http://www.lagersystem.net/warehouse-management-system.php>, 26.12.2009

Zur Unterstützung des Lagerverwaltungssystems und zur weiteren Automatisierung werden heutzutage oft Identifikationssysteme wie die Barcode-Technologie verwendet. Der Lagerist liest bei der Einlagerung bzw. Auslagerung mit einem optischen Laser-Scanner einen an der Ware oder am Transportgut angebrachten Barcode ein. Dadurch wird automatisch die Ware als eingelagert bzw. ausgelagert verbucht. Der durch die Barcode-Technologie bereits vereinfachte Einlesevorgang wird bei der RFID-Technologie noch weiter automatisiert. Dabei können im Gegensatz zur Barcode-Technologie mehrere Tags gleichzeitig und ohne Sichtverbindung eingelesen werden. Außerdem erzielen RFID Lesegeräte eine deutlich größere Reichweite und sind auch in Bereichen mit extremen Bedingungen wie Hitze oder Schmutz geeignet.<sup>10</sup>

### 3.5.1.9 Beschreibung der technischen Komponenten

Der folgende Abschnitt geht auf die relevanten Komponenten für SmartRack ein und erläutert deren Grundlagen: das Durchlaufregal, der Kleinladungsträger und die RFID-Technologie.

#### **Durchlaufregal**

Ein Durchlaufregallager gehört zu den dynamischen Regalsystemen, da sich die Ladeeinheiten innerhalb des Regals bewegen. Es besteht allgemein aus einer blockförmigen Gestellkonstruktion mit neben- und übereinander liegenden Regalkanälen und separaten Ein- und Auslagerungspunkten. Die Regalkanäle werden mit leichter Steigung und Rollenbahnen angebracht, so dass das Lagergut kontinuierlich vom Einlagerungspunkt an der hinteren zum Auslagerungspunkt an der vorderen Kanalöffnung rollt. Wenn vorne bei der Auslagerung eine Ware entnommen wird, so läuft der angestaute Pulk nach. Durch diesen Aufbau wird gewährleistet, dass das Durchlaufregallager innerhalb eines Regalkanals strikt nach dem FiFo-Prinzip (First in First out) arbeitet<sup>11</sup>.

#### **Kleinladungsträger**

Zur Aufbewahrung der Teile innerhalb des Regals werden in der Regel Kleinladungsträger (KLT) verwendet. Dies sind genormte Plastikbehälter in denen kleinere Teile oder Produkte gelagert und transportiert werden. Durch die Einführung der KLT kann ein geregelter Transportgutkreislauf realisiert werden.

---

<sup>10</sup> Vgl. Lampe, Matthias; Flörkemeier, Christian; Haller, Stephan: Einführung in die RFID Technologie, <http://www.vs.inf.ethz.ch/res/papers/mlampe-rfid-2005.pdf> am 04.01.10

<sup>11</sup> Vgl. Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmanns, Kai: Handbuch Logistik, 3. Auflage, 2008, S.652



Abbildung 12 Durchlaufregal mit KLT

### Radio Frequency Identification System

Nach Finkenzeller<sup>12</sup> bezeichnet ein Radio Frequency Identification System (RFID) in der Gesamtheit ein System zur kontaktlosen Datenübertragung zwischen einem Transponder und einem zugehörigen Lesegerät. Der Transponder, der als Datenträger dient, befindet sich an dem zu identifizierenden Gegenstand. Das Lesegerät wird fest am Identifikationspunkt verankert. Beide Teile bestehen jeweils aus einer Antenne, entsprechend dem Frequenzbereich realisiert als Ferritstäbe, Spule oder als Dipolantenne, sowie einem Mikroprozessor zur Verarbeitung der Signale. Das Lesegerät wird über einen Computer mit einem Netzwerk sowie einer Stromquelle verbunden und erzeugt damit ein elektromagnetisches Feld. Sobald sich nun der Transponder in die Lesereichweite des Lesegerätes bewegt wird dieser aktiviert und die Daten werden übertragen. Dabei wird bei passiven Transpondern durch das elektromagnetische Feld des Lesegerätes in der Antennenspule des Transponders ein Induktionsstrom erzeugt. Dieser lädt zunächst gleichgerichtet einen Kondensator auf, welcher wiederum den Mikroprozessor mit Strom versorgt. Im Gegensatz zu den hier beschriebenen passiven Transpondern verfügen aktive Transponder über eine eigene Stromversorgung in Form einer Batterie. Da jedoch der Verzicht auf eine Batterie die Transponder langfristig erst wirtschaftlich macht, sind in der Praxis vor allem passive Transponder anzutreffen.

Zur Datenübertragung werden Radiowellen ausgetauscht bzw. beeinflusst, die in der jeweiligen Einheit dekodiert und weiterverarbeitet werden. In der Praxis existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten von RFID-Systemen, abhängig vom Hersteller, Frequenz und dem Verwendungszweck. Bezüglich der Betriebsfrequenz kann man im Wesentlichen folgende RFID-Systeme unterscheiden: Es gibt die Low-Frequency-Systeme (LF) mit einer Frequenz von 100-135kHz und einer Reichweite von unter 1,5m. Die High-Frequency Systeme (HF) arbeiten bei 13,56 MHz und sind für Reichweiten bis zu 1 m geeignet. Und die Ultra High

<sup>12</sup> Vgl. Finkenzeller, Klaus: RFID Handbuch, 5. Auflage, 2008, S.7-53

Frequency (UHF) Systeme haben eine Frequenz um die 900 Mhz, die eine Lese-reichweite von bis zu 8m ermöglichen.

Die günstigere Variante stellt dabei das HF-Prinzip dar. Bedingt durch die geringere Antenneninduktivität brauchen die Antennen eine deutlich geringere Windungszahl und sind somit sowohl günstiger in der Herstellung als auch bei der Implementierung. Bei den LF- und HF-Systemen erfolgt die Datenübertragung durch Modulation des magnetischen Feldes des Lesegerätes. Befindet sich ein Transponder im Feld des Lesegerätes, so entzieht dieser dem magnetischen Feld Energie. Die dadurch hervorgerufene Rückwirkung auf die Antenne des Lesegerätes wird als transformierte Impedanz bezeichnet. Durch Ein- und Ausschalten eines Lastwiderstandes an der Transponderantenne wird eine Änderung der Impedanz und damit eine Spannungsänderung an der Antenne des Lesegerätes hervorgerufen. Regelt man das An- und Ausschalten durch Daten, können diese vom Transponder zum Lesegerät und von dort aus an das Netzwerk übertragen werden.

Das UHF-System verwendet zur Datenübertragung das Backscatter (Rückstrahlungs-) Verfahren, bei dem das durch das Lesegerät erzeugte elektromagnetische Feld reflektiert wird. Die Rückstrahleigenschaften werden von der Transponderantenne so beeinflusst, dass eine Informationsübertragung stattfindet. Dies bedeutet, dass ein Lastwiderstand wechselweise zu- und abgeschaltet wird und dadurch eine gute und weniger gute Resonanz hervorgerufen wird<sup>13</sup>.

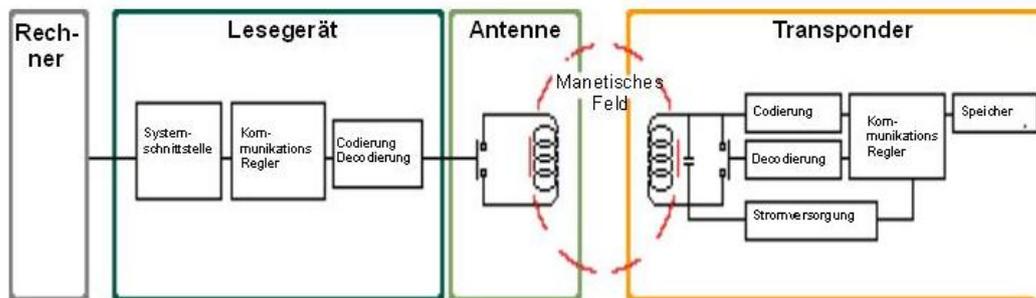


Abbildung 13 Schematische Darstellung eines RFID-Systems

Quelle: <http://www.brooks-rfid.com/de/rfid-grundlagen.html> am 20.12.09

Eine breite Einführung von RFID-Systemen in der Industrie kam in den letzten Jahren nur langsam voran. Wirtschaftliche Interessen einzelner Unternehmen und Regionen verhinderten eine Normierung der Frequenzbereiche. In letzter Zeit arbeiten nationale und internationale Normierungskomitees jedoch an der Vereinheitlichung von Grenzwerten und Vorschriften hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit für die wichtigsten RFID-Systeme. Im UHF-Bereich ist es bereits gelungen für den Anwendungsbereich Handel einen kompatiblen Standard durchzusetzen. Dadurch ist es möglich geworden die einzelnen Komponenten des RFID-Systems schneller und einfacher von lokalen zu globalen Anwendungen zu adaptieren. Durch die nun möglich gewordene branchenübergreifende und marktneutrale Nutzung von RFID sinken die Anschaffungskosten für die einzelnen Komponenten des Systems sowie die Implementierungskosten.

Zusätzlich zu den hier beschriebenen Standardsystemen existieren noch weitere Produkte, die z.B. individuell an spezielle Kundenwünsche angepasst werden.

<sup>13</sup> Die vorangegangenen Erläuterungen über die Funktionsweise des RFID-Systems wurden nach Finkenzeller (vgl. Quelle 12) wiedergegeben.

Dabei können beispielsweise hohe Anforderungen an die Verschlüsselung und Sicherheit der Datenübertragung gelegt werden. Diese Varianten sind jedoch für den vorliegenden Fall weniger relevant und werden daher nicht weiter betrachtet.

### **3.5.2 Projektbeschreibung (Soll-Zustand)**

Die folgenden Abschnitte setzen sich mit der Fragestellung des Soll-Zustandes auseinander. Zuerst wird die Aufgabenstellung und das Projekt SmartRack an sich näher beschrieben. Darauf folgt eine genaue Darstellung des Ablaufes, wie SmartRack funktionieren soll. Das Kapitel schließt mit einer Grafik zur Verdeutlichung von SmartRack und einem Ausblick in die Zukunft.

#### **3.5.2.1 Kurzbeschreibung des Projektes SmartRack**

Das Ziel ist die vorwettbewerblichen Entwicklung von SmartRack. Ein Durchlaufregalsystem soll mithilfe der RFID-Technologie erkennen, wenn ein Kleinladungsträger mit angebrachtem RFID-Tag in das Regal ein- bzw. ausgelagert wird. SmartRack soll außerdem in der Lage sein, den Gesamtbestand der sich im Regal befindlichen Kleinladungsträger zu erkennen und bei einem kritischen Mindestbestand eine automatische Nachbestellung des Artikels zu versenden. Dies soll dezentral und unabhängig von einem bereits vorhandenen IT-System geschehen.

#### **3.5.2.2 Detaillierte Beschreibung des Projektes SmartRack**

SmartRack soll aus verschiedenen Hard- und Softwarekomponenten bestehen, die zusammen die Idee eines Durchlaufregalsystems zur vollautomatischen Bestandserfassung mittels RFID umsetzen.

Zu Beginn ist hier das Durchlaufregalsystem zu nennen. Dieses bildet die Basis des SmartRack. Das Durchlaufregalsystem besteht aus mehreren Regalkanälen, die nebeneinander und übereinander angeordnet sind und so die kompakte, blockförmige Gestellkonstruktion ergeben<sup>14</sup>. Der unterste Regalkanal ist ein Rücklaufkanal, der eine Neigung entgegengesetzt zu den anderen Regalkanälen besitzt, um leere KLT abzuführen. In die Regalkanäle werden nun die KLT mit den benötigten Artikeln ein- bzw. ausgelagert. Hervorzuheben ist jedoch, dass nun an den KLT ein RFID-Tag angebracht ist, auf dem alle notwendigen Daten zur Identifizierung des sich in dem KLT befindlichen Artikel gespeichert sind. Um nun den Bestand an KLT in dem Durchlaufregalsystem erkennen zu können, werden an den Regalkanälen des Regals Lesegeräte angebracht. Befindet sich ein KLT mit einem RFID-Tag im elektromagnetischen Feld/Frequenzbereich des Lesegerätes, so wird dies von dem Lesegerät erkannt. Das System ist dann in der Lage den aktuellen Bestand, also die Summe der KLT, die sich im Regal befinden sowie deren Position im Regal, zu bestimmen. Des Weiteren erkennt das System, wann ein zuvor festgelegter kritischer KLT-Bestand erreicht ist. Ist dies der Fall, generiert das System eine Nachricht, die an den jeweiligen Zulieferer des benötigten Artikels versendet wird. Eine leere KLT wird im Rücklaufkanal des Durchlaufregals eingelagert. Dort befindet sich ein sogenannter Writer, der die Daten auf dem RFID-Tag löscht.

---

<sup>14</sup> Vgl. Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Fuhrmanns, Kai: Handbuch Logistik, 3. Auflage. 2008, S.652

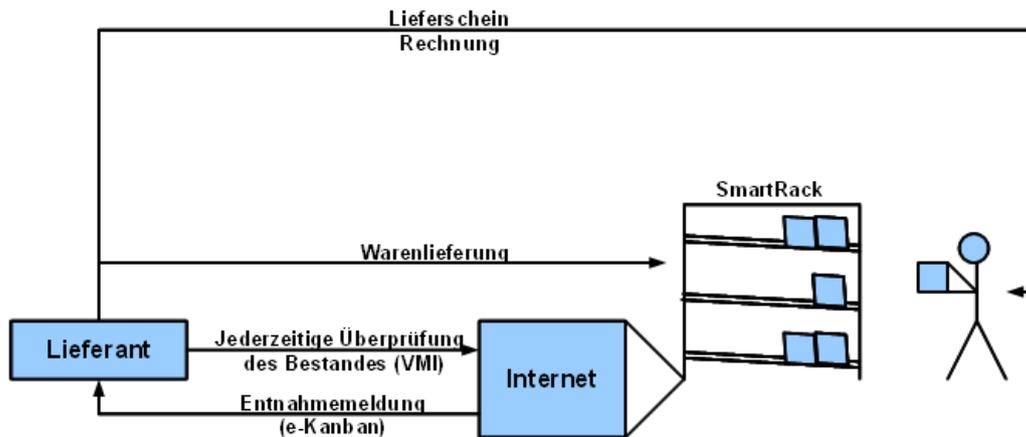


Abbildung 14 Organisatorischer Aufbau des Systems SmartRack

Der Zulieferer hat die Möglichkeit mittels eines Writers die RFID-Tags zu beschreiben. Dabei werden automatisch oder per Tastatureingabe die notwendigen Daten wie Artikelnummer, Menge und Name auf dem Tag gespeichert.

### 3.5.2.3 Ablaufbeschreibung von SmartRack

Nachfolgend wird der geplante Ablauf während der Benutzung des Systems dargestellt.

- a) Der Lieferant erhält eine Bestellung für die Menge X eines Artikels.
- b) Die Artikel werden in einem oder mehreren KLT<sup>15</sup> mit RFID-Tag gesammelt.
- c) Der Zulieferer beschreibt mittels des Writers den sich an dem KLT befindlichen RFID-Tag mit den notwendigen Daten, wie beispielsweise der Artikelnummer und der Menge.
- d) Der KLT wird an das Unternehmen, das die Bestellung aufgegeben hat, versendet.
- e) Der KLT wird in das dafür vorgesehene Durchlaufregal eingelagert.
- f) Das Lesegerät am Durchlaufregal erkennt, dass und an welcher Position sich ein neuer KLT im Regal befindet.
- g) Das System aktualisiert den Bestand.
- h) Aus dem KLT (oder einem bereits in einem anderen Zyklus eingelagerten KLT) werden Teile entnommen. Befinden sich keine Teile mehr in dem KLT, wird dieser vom Regal genommen und in den Rücklaufkanal gestellt.
- i) Das System erkennt, dass ein KLT vom Regal entfernt wurde und aktualisiert den Bestand.

<sup>15</sup> In der vorliegenden Arbeit impliziert KLT sowohl Singular als auch Plural.

- j) Wird ein vorher festgelegter Mindestbestand unterschritten, generiert das System eine Nachbestellung an den Zulieferer.
- k) Der leere KLT wird im Rücklaufkanal des Durchlaufregals eingelagert.
- l) Der Writer am Rücklaufkanal löscht die Daten auf dem RFID-Tag.
- m) Die leeren KLT werden an den Zulieferer gesendet.
- n) Ein neuer „Zyklus“ bei a) beginnt.

#### 3.5.2.4 Zukunftsaspekte

Beim Einsatz von RFID sind in der Zukunft wirtschaftliche Erfolge zu erwarten. Besonders im Bereich der Logistik bietet die RFID-Technologie eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, doch es ziehen immer mehr Branchen nach<sup>16</sup>. Im Zuge eines immer breitflächigeren Einsatzes von RFID sinken die Stückkosten sowohl für die Datenträger als auch die Peripheriegeräte immer weiter. Zudem werden neue, positive Impulse ebenso wie die gewonnene Erfahrung zu einer Reduktion der Implementierungskosten führen. Eine weitere Attraktivitätssteigerung erfährt die Technologie durch die Verfügbarkeit des internationalen Electronic Product Code (EPC)-Standards für RFID-Transponder durch EPCglobal, einer internationalen Standardisierungsorganisation<sup>17</sup>. So hat beispielsweise der Einsatz und die Nutzung der Generation 2 Transponder bereits ein erhebliches Kosteneinsparungspotential eröffnet.

Durch SmartRack wird KMU eine praktikable Möglichkeit zur einfachen und schnellen Realisierung von eKanban und VMI-Prozessen angeboten, welche mit geringen Investitionskosten verbunden sind. Doch der Anwendungsbereich in der Zukunft ist nicht nur auf kleine und dezentrale Lagersysteme beschränkt, sondern allgemein auf innerbetriebliche und zwischenbetriebliche Material- und Informationsflüsse erweiterbar. Mithilfe von SmartRack kann es so zu einer vollständigen Integration innerhalb der Supply Chain kommen und logistische Planungsziele wie niedrige Bestände, kurze Durchlaufzeiten und ein hoher Servicegrad entlang dem gesamten Wertschöpfungsprozess können realisiert werden.

---

<sup>16</sup> Vgl. Straube, Frank (Hrsg.): RFID in der Logistik – Empfehlungen für eine erfolgreiche Einführung, 2009, S.18-24

<sup>17</sup> Vgl. Finkenzeller, Klaus: RFID-Handbuch, 5. Auflage, 2008, S.315-317

### 3.5.3 Anforderungen an die Systemtechnik

Im folgenden Abschnitt werden die Anforderungen an das Gesamtsystem erläutert. Danach folgen Abschnitte über die Anforderungen an die einzelnen Komponenten wie das Durchlaufregal, die KLT, das RFID-System und zuletzt die Software.

#### 3.5.3.1 Anforderungen an das Gesamtsystem

SmartRack besteht aus den Komponenten Durchlaufregal, KLT, RFID-System und der zugehörigen Software. Der folgende Abschnitt beschreibt die Anforderungen an SmartRack, die das Gesamtsystem betreffen und damit keinem der vier Komponenten zuzuordnen sind. Dabei ist es wichtig im Zusammenspiel der einzelnen Komponenten ein fehlerfreies und zuverlässiges System zu entwickeln.

Das Ziel von SmartRack ist in erster Linie auch KMU Zugang zu den kooperativen Strategien des Supply Chain Management und einer schlanken Produktion zu verschaffen. Für diese waren die Kosten für eine notwendige IT-Erweiterung bislang meist zu hoch. Daher ist es besonders wichtig SmartRack so umzusetzen, dass die notwendigen Kosten für die Anschaffung und Installation so gering wie möglich sind.

Außerdem ist darauf zu achten ein möglichst energieeffizientes Gesamtsystem zu entwickeln. In Zeiten steigender Energiepreise ist es erforderlich den Fokus schon bei der Entwicklung auf energiesparende Systeme zu legen.

#### 3.5.3.2 Anforderungen an das Durchlaufregal

Das Durchlaufregal bildet eines der Kernstücke von SmartRack und muss daher gewisse Anforderungen erfüllen. Bei der Auswahl des Materials aus dem das Durchlaufregal gebaut werden soll, muss beachtet werden, dass verschiedene Metalle die Reichweite des elektromagnetischen Feldes unterschiedlich stark einschränken. Daher muss sich für eines entschieden werden, dass die Funktion des Lesegerätes nicht stört.

Eine weitere Anforderung ergibt sich aus der Frage, wie breit die einzelnen Regalkanäle gebaut werden sollen. Es wird gefordert, dass diese so angepasst werden, dass die KLT problemlos eingelagert werden können. Da eine KLT eine lange und kurze Seitenwand hat, muss das System so ausgelegt werden, dass sowohl bei Längs- als auch bei Quereinlagerung ein optimales Leseergebnis erreicht wird. Des Weiteren stellt sich die Frage, wo an den einzelnen Regalkanälen und in welcher Menge die Lesegeräte angebracht werden. Diese müssen so positioniert werden, dass sie sich möglichst nah am RFID-Tag der eingelagerten KLT befinden, um so einen einwandfreien Lesevorgang zu garantieren.

Wird ein KLT aus dem Durchlaufregalsystem entfernt, wird dieser in den Rücklaufregalkanal eingelagert. Auch dort muss der Writer zum Löschen der sich auf dem RFID-Tag befindlichen Daten so positioniert werden, dass ein fehlerfreier Löschvorgang garantiert wird und auch sichergestellt ist, dass nur der RFID-Tag auf diesem KLT gelöscht wird.

#### 3.5.3.3 Anforderungen an den KLT

Beim KLT ist zunächst zu beachten, dass das Material des KLT die elektromagnetischen Felder des Lesegerätes nicht stört. Doch nicht nur das Material des KLT selbst, sondern auch die sich im KLT befindlichen Artikel können einen einwandfreien Lesevorgang beeinträchtigen. Bei der Positionierung des RFID-Tags muss daher ein möglichst großer Abstand zu dem sich im KLT befindlichen

Artikel gewährleistet sein. Außerdem muss die Position des Lesegerätes am Regalkanal zur Überlegung, wo der RFID-Tag am KLT angebracht werden soll, hinzugezogen werden. Beim Einlagerungsvorgang der KLT in das Durchlaufregal rollt dieser durch die Schwerkraft den Regalkanal entlang, bis er ganz vorne oder am angestauten Pulk zum Halten kommt. Nun sollte sichergestellt sein, dass der RFID-Tag an der KLT so positioniert ist, dass dieser automatisch im elektromagnetischen Feld des Lesegerätes positioniert ist.

Eine weitere Anforderung ergibt sich aus der Frage, wie der RFID-Tag an dem KLT befestigt werden soll. Dieser muss so robust angebracht sein, dass es dem rauen Umgang und den Umgebungsbedingungen in der Industrie standhält. Des Weiteren sollte er so in den KLT integriert sein, dass durch das Material des KLT ein gewisser Schutz gewährleistet wird und der RFID-Tag nicht durch Verkeilungen oder Verhakungen abgeschlagen werden kann.

#### 3.5.3.4 Anforderungen an das RFID-System

Das RFID-System besteht aus drei Komponenten: RFID-Tag, Lesegerät und Writer. Diese müssen optimal aufeinander abgestimmt werden, sodass ein fehlerfreier Lesevorgang gewährleistet wird. Bei der Wahl eines geeigneten RFID-Systems spielen unter anderem die folgenden Kriterien eine wichtige Rolle:

- die Lesereichweite,
- die Störanfälligkeit,
- die Speicherstruktur
- sowie die Kosten von RFID-Transpondern und Lesegeräten<sup>18</sup>.

Um zu vermeiden, dass sich mehrere Transponder im Bereich eines Schreib/Lesegeräts befinden und es dabei durch gleichzeitige Übertragung von Daten zu gegenseitigen Störungen kommt, sollte möglichst an jeder potentiellen KLT-Position ein eigenes Lesegerät angebracht werden. Deshalb muss die Lesereichweite des RFID-Systems auch so gewählt werden, dass sich immer nur der darüber liegende Tag im magnetischen Feld des jeweiligen Lesegerätes befindet und sich die Felder der verschiedenen Lesegeräte gegenseitig nicht beeinträchtigen. Trotzdem muss beachtet werden, dass eine gewisse Reichweite benötigt wird, da die RFID-Tags nicht direkt auf den Lesegeräten liegen und sich die KLT auch nicht immer in der exakt gleichen Position befinden.

Ein besonderes Augenmerk muss außerdem auf die Zuverlässigkeit der Datenübertragung und die Robustheit des RFID-Tags gelegt werden. Die rauen Umgebungsbedingungen einer Produktionsstätte können leicht zu Störungen der RFID-Technologie führen. Zum einen können Schmutz und Stöße die RFID-Komponenten beschädigen und zum anderen verursachen Fremdfrequenzen nahegelegener Maschinen unerwünschtes Rauschen und damit eine Beeinträchtigung der Datenübertragung<sup>19</sup>. Des Weiteren sollte berücksichtigt werden, dass in Werkshallen durch nebenstehende Öfen oft hohe Temperaturen auftreten und somit ein temperaturresistentes System bevorzugt werden sollte.

Hinsichtlich der Speicherstruktur ist zu beachten, dass der Zulieferer wiederholt Daten auf dem RFID-Tag über den sich im KLT befindlichen Artikel speichert.

---

<sup>18</sup> Vgl. Lampe, Matthias; Flörkemeier, Christian; Haller, Stephan: Einführung in die RFID Technologie, <http://www.vs.inf.ethz.ch/res/papers/mlampe-rfid-2005.pdf> am 04.01.10

<sup>19</sup> Lampe, Matthias; Flörkemeier, Christian; Haller, Stephan: Einführung in die RFID-Technologie S.12

Daher muss dieser wiederbeschreibbar sein und über genügend Speicherplatz für die benötigte Datenmenge verfügen.

Neben der Gesamtheit der technischen Anforderungen darf auch die Wirtschaftlichkeit nicht unbeachtet bleiben. Bei neuen Technologien ist meist eine große Investition nötig, doch sollte darauf geachtet werden ein möglichst kostengünstiges und zukunftsorientiertes RFID-System auszuwählen.

#### 3.5.3.5 Anforderungen an die Software

Eine auf das System perfekt abgestimmte Software ist notwendig, damit SmartRack die gesetzten Ziele erreichen kann. Von besonderer Wichtigkeit ist daher, dass die programmierte Software in bestehende Hardware integrierbar ist. Auch bei wechselnden Geräten, beispielsweise dem Austausch von Lesegeräten, sollte die gleiche Software verwendbar sein. Bezüglich der Schnittstellen müssen sowohl geeignete Kommunikationsprotokolle als auch Verbindungsmedien so ausgewählt werden, dass sie genau an die Datenmenge und den Zweck der Datenübertragung angepasst werden. Des Weiteren muss eine Verbindung zum Internet aufgebaut werden, um eine Kommunikation zwischen dem Lieferanten und dem KMU zu ermöglichen.

Zur Auswahl und zur Übersichtlichkeit der passenden Medien und Kommunikationsprotokolle lehnt sich die vorliegende Arbeit an das OSI-Schichtenmodell<sup>20</sup> (Open Systems Interconnection Reference Model) der Internationalen Organisation für Normung (ISO) an. Das Modell besteht aus sieben Schichten, welche eine so genannte offene Kommunikation zwischen beliebigen Netzteilnehmern beschreiben und vereinheitlichte Verfahren zum Datenaustausch definieren<sup>21</sup>. Das Modell wird im Anhang der vorliegenden Arbeit dargestellt.

---

<sup>20</sup> Vgl. ISO 7498-1: Basic Reference Model – The Basic Model, 1996, S.28-49

<sup>21</sup> Vgl. Becher, Florian; Steitz, Jonas: ISO/OSI-Referenzmodell, [http://download.bildung.hessen.de/unterricht/lernarchiv/sek\\_ii/informatik/13.2/rechnernetze/OSI\\_Ausarbeitung.pdf](http://download.bildung.hessen.de/unterricht/lernarchiv/sek_ii/informatik/13.2/rechnernetze/OSI_Ausarbeitung.pdf) am 12.01.10, TU Darmstadt, S.10

### 3.5.4 Anforderungen an die Kommunikationsschnittstellen

Die folgenden Schnittstellen beschreiben die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten des Gesamtsystems:

- RFID-Tag – Lesegerät<sup>22</sup>
- Lesegerät – Mikrocontroller des Regalkanals
- Mikrocontroller des Regalkanals - Controller von SmartRack
- Controller von SmartRack - Internet
- Zulieferer - Internet
- Controller von SmartRack - Zulieferer
- Controller von SmartRack - Controller von SmartRack

#### 3.5.4.1 Schnittstellenübersicht

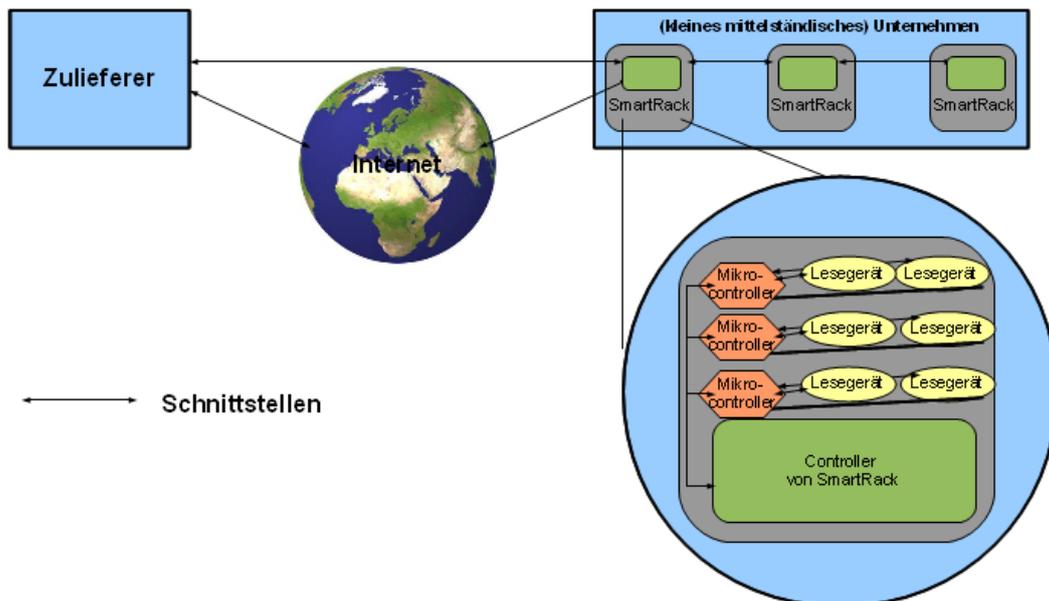


Abbildung 15 Übersicht über die Kommunikationsschnittstellen

Abbildung 15 zeigt die einzelnen Kommunikationsschnittstellen des gesamten Systems durch Geraden mit Pfeilen gekennzeichnet. Die folgenden Abschnitte gehen näher auf die einzelnen Schnittstellen ein und erläutern deren Anforderungen. Des Weiteren wird gemäß dem ISO OSI-Schichtenmodell<sup>23</sup> näher auf die einzelnen Schichten eingegangen.

#### 3.5.4.2 Schnittstelle Lesegerät – Mikrocontroller des Regalkanals

Solange sich ein RFID-Tag innerhalb des elektromagnetischen Feldes eines Lesegerätes befindet, muss diese Information über eine Schnittstelle an den

<sup>22</sup> Auf diese Schnittstelle wird in den folgenden Erläuterungen nicht näher eingegangen, da die Anforderungen an diese bereits in Abschnitt 3.44.4 erläutert wurden.

<sup>23</sup> Vgl. ISO 7498-1: Basic Reference Model – The Basic Model, 1996, S.28-49

Mikrocontroller des Regalkanals weitergegeben werden. Dieser sammelt die Daten aller Lesegeräte eines Regalkanals und gibt diese weiter (siehe Abschnitt 5.3). Die Kommunikation zwischen dem Lesegerät und dem Mikrocontroller findet nur auf Hardwareebene statt, also in der ersten, „physikalischen“ Schicht.

#### 3.5.4.3 Schnittstelle Mikrocontroller des Regalkanals – Controller von SmartRack

Die Daten, die ein Mikrocontroller eines Regalkanals von den Lesegeräten empfangen hat, müssen über eine Schnittstelle an den Controller des gesamten SmartRack weitergegeben werden. Erst dort sollen alle Bestandsinformationen der einzelnen Regalkanäle zusammenlaufen. Da bei dieser Kommunikation eine weitaus größere Datenmenge übertragen werden muss als zwischen dem Lesegerät und dem Mikrocontroller des Regalkanals, ist ein weit komplexerer Vorgang notwendig. So muss nun bis in die fünfte, also die Transportschicht vorgedrungen und ein geeignetes Protokoll ausgewählt werden.

#### 3.5.4.4 Schnittstelle Controller von SmartRack – Internet

Damit SmartRack mit dem Zulieferer kommunizieren und dieser auf SmartRack zugreifen kann (VMI), ist es notwendig, dass sich beide mit dem Internet verbinden können. Ohne diese Verbindung ist Kommunikation oder Datenaustausch zwischen den beiden Einheiten nicht möglich. Diese ist jedoch notwendig, um eine reibungslose Funktionsweise von SmartRack sicherzustellen.

#### 3.5.4.5 Schnittstelle Zulieferer - Internet

Wie bereits in Abschnitt 5.4 erläutert, ist es notwendig, dass sich sowohl die Controllereinheit von SmartRack als auch der Zulieferer mit dem Internet verbinden können, um eine reibungslose Bestandserfassung und automatische Nachbestellung zu gewährleisten.

#### 3.5.4.6 Schnittstelle Controller von SmartRack – Zulieferer

Sobald die Controllereinheit von SmartRack und der Zulieferer mit dem Internet verbunden sind, muss ein Daten- und Informationsaustausch zwischen den beiden Einheiten möglich sein. So muss die Controllereinheit von SmartRack bei Bedarf Informationen und Nachbestellungen an den Zulieferer schicken und der Zulieferer die Bestände in SmartRack überwachen können. Hat der Controller von SmartRack durch die Daten aus den Mikrocontrollern der Regalkanäle erkannt, dass ein Mindestbestand unterschritten wurde, soll nun eine Bestellung an den Zulieferer geschickt werden. Bei dieser Art der Kommunikation werden alle sieben Schichten des Modells durchlaufen und es müssen geeignete Kommunikationsprotokolle ausgewählt werden.

#### 3.5.4.7 Schnittstelle Controller von SmartRack – Controller von SmartRack

Es ist notwendig, dass die einzelnen Controllereinheiten aller sich im Lager oder Werk befindlichen Durchlaufregale untereinander kommunizieren können. Dadurch sollen die Zulieferer, und natürlich auch das Unternehmen selbst, nicht nur die Bestände einzelner Regale bestimmen, sondern sich einen Gesamtüberblick verschaffen können. Aufgrund dessen soll optimal nachbestellt und -geliefert werden. Gemäß dem OSI-Schichtenmodell wird sich hier wieder bis zur Transportschicht bewegt, um die große Datenmenge innerhalb der SmartRack zu übertragen.

### 3.5.5 Anforderungen an die Qualität von SmartRack

Die qualitativ hochwertige Umsetzung der technischen Anforderungen ist dringend notwendig, um die gewünschten Funktionen von SmartRack zu erfüllen und die angestrebte Zielsetzung einer vollautomatischen Bestandserfassung und Nachbestellung zu gewährleisten. Diese Anforderungen an die Qualität sind unter anderem nach VDI 2519 „Lasten-/Pflichtenheft für den Einsatz von Förder- und Lagersystemen“<sup>24</sup>:

- Robustheit
- Zuverlässigkeit
- Korrektheit
- Effizienz
- Kompatibilität
- Benutzerfreundlichkeit.

Zum einen muss SmartRack und jeder seiner einzelnen Komponenten das Qualitätsmerkmal Robustheit erfüllen. Dies ist besonders wichtig, da durch die Umgebungsbedingungen in einer Produktion oder in einem Lager auf SmartRack Belastungen treffen, die bei Überlegungen bezüglich der Konstruktion und der zu verwendenden Technik mit einbezogen werden müssen.

Des Weiteren muss SmartRack zuverlässig sein. Dies bedeutet, dass SmartRack über eine geforderte Anzahl an Betriebsstunden seine Funktionen ohne Störungen oder Fehler erfüllt.

Die Korrektheit ist besonders in Bezug auf die Daten, mit denen SmartRack arbeitet, ein wichtiger Aspekt. So muss gewährleistet sein, dass die von SmartRack durchgeführten Bestandsmessungen ohne Fehler sind und die bei Unterschreitung einer Mindestmenge generierte Nachbestellung korrekt ist. Ist dieses Qualitätsmerkmal nicht erfüllt, könnte dies beispielsweise zu einer falschen Bestellmenge führen und so hohe Kosten verursachen.

Auch der Anforderung an Effizienz muss SmartRack genügen. Hierbei ist zu bedenken, dass das System gewisse Leseraten erreichen und sicherstellen muss, dass Daten schnell und korrekt weitergegeben werden. Dabei darf außerdem nicht vergessen werden, dass das System auch in Bezug auf seinen Energieverbrauch effizient sein sollte. Dadurch werden die Betriebskosten gering gehalten und es wird so zu einem wirtschaftlichen Einsatz von SmartRack beigetragen.

Das Qualitätsmerkmal der Kompatibilität ist besonders wichtig für die Realisierung der oben genannten Ziele, da dieses gewährleistet, dass SmartRack branchenneutral und zu geringen Kosten in allen Unternehmen der Supply Chain eingesetzt werden kann. Besonders KMU, die sich den Einsatz von betrieblicher Standardsoftware aus Kostengründen meist nicht leisten können, müssen unabhängig von ihrem IT-System die Möglichkeit haben SmartRack zu verwenden.

Zuletzt ist die Benutzerfreundlichkeit zu nennen. Bei Erfüllung dieses Qualitätsmerkmals wird gewährleistet, dass Benutzer SmartRack intuitiv bedienen und menschliche Fehler vermieden werden können.

---

<sup>24</sup> Vgl. VDI 2519: Lasten-/Pflichtenheft für den Einsatz von Förder- und Lagersystemen, 2001, S.9

	Sehr wichtig	Wichtig
<b>Robustheit</b>		X
<b>Zuverlässigkeit</b>	X	
<b>Korrektheit</b>	X	
<b>Effizienz</b>		X
<b>Kompatibilität</b>	X	
<b>Benutzerfreundlichkeit</b>		X

Tabelle 3 Übersicht der Qualitätsanforderungen

### 3.5.6 Systemtechnische Lösung

Entsprechend den Anforderungen, die in Kapitel 4 beschrieben wurden, erläutert dieser Abschnitt wie die gesetzten Anforderungen in den einzelnen Komponenten von SmartRack umgesetzt werden können. Zunächst wird auf die Lösung der Anforderungen des Gesamtsystems eingegangen. Darauf folgen die einzelnen Elemente von SmartRack wie das Durchlaufregal, der KLT und das RFID-System. Abschließend behandelt dieser Abschnitt die systemtechnische Lösung bezüglich der Software und deren Schnittstellen.

#### 3.5.6.1 Gesamtsystem

Bisher war es KMU aufgrund zu hoher Kosten nicht möglich effiziente Logistiksysteme wie VMI oder Kanban zu implementieren. Der Datenaustausch der beteiligten Unternehmen findet dabei normalerweise durch Verbindung der jeweiligen bestandsführenden Systeme statt. Durch die Anbindung an die beteiligten Lagerverwaltungssysteme entstehen erhebliche Integrationskosten sowohl auf Lieferanten- als auch auf Kundenseite. Da SmartRack, als Stand-Alone-Lösung konzipiert, direkt mit dem Lieferanten kommunizieren soll, ist eine Einbindung in das übergeordnete Lagerverwaltungssystem nicht nötig. Daher sinken die Implementierungskosten erheblich und auch KMU wird es wirtschaftlich möglich Bestände und Durchlaufzeiten durch effiziente Logistikprozesse zu reduzieren.

Doch nicht nur die Anschaffungs- und Installationskosten, sondern auch die laufenden und damit einhergehend die Energiekosten spielen eine bedeutende Rolle. Somit muss einerseits darauf geachtet werden ein möglichst energieeffizientes RFID-System auszuwählen und andererseits das Gesamtsystem so auszulegen, dass keine Energie verschwendet wird. Dies soll mit Hilfe eines Stand-by Modus realisiert werden. Sobald SmartRack über einen bestimmten Zeitraum inaktiv ist, soll in einen energiesparenden Bereitschaftsbetrieb gewechselt werden. Dabei wird das Regal in einen Zustand versetzt bei dem große Teile des Systems abgeschaltet sind, jedoch bei Zustandsänderung ein sofortiges Weiterarbeiten möglich ist.

#### 3.5.6.2 Durchlaufregal

Das Durchlaufregal sollte als Tragkonstruktion aus Aluminiumprofilen hergestellt werden. Dadurch wird nicht nur eine Anpassung an die rauen Umgebungsbedingungen einer Produktion oder Lagerhalle gewährleistet, sondern auch eine Beeinträchtigung des elektromagnetischen Feldes der Lesegeräte minimiert. Die Gestellkonstruktion kann größentechnisch auf jede Produktions- oder Lagerhalle angepasst werden und bietet große Flexibilität.

Die einzelnen Regalkanäle sind so zu konstruieren, dass deren Breite genau der langen Seite der KLT entspricht. Dadurch wird sichergestellt, dass ein KLT immer quer, also mit der langen Seite zuerst, in den Regalkanal rollt. Ein Mitarbeiter macht dadurch intuitiv beim Einlagerungsvorgang keine Fehler, da durch einfache Sichtkontrolle der Fehler erkennbar wäre. Eine weitere Fragestellung ergibt sich aus der Positionierung der RFID-Lesegeräte. Am sinnvollsten ist es diese auf einer Schiene in der Mitte des Regalkanals zu positionieren. Da die RFID-Tags, wie in Abschnitt 7.4 noch weiter erläutert wird, genau in der Mitte des KLT-Bodens angebracht werden, bewegen sich diese beim Einlagerungsvorgang direkt in das magnetische Feld der auf der mittleren Schiene befestigten Lesegeräte. Zusätzlich sollten die Lesegeräte entlang der Schiene jeweils mit dem Abstand von genau einer KLT-Breite angebracht werden, sodass sich die RFID-Tags direkt über den Lesegeräten befinden (siehe Abbildung 4). Jede Position im Regalkanal, an der sich potentiell ein KLT befinden könnte, wird so von einem Lesegerät überwacht. Die Menge der benötigten Lesegeräte pro Regalkanal ist somit abhängig von der Anzahl der KLT, die pro Regalkanal eingelagert werden sollen.

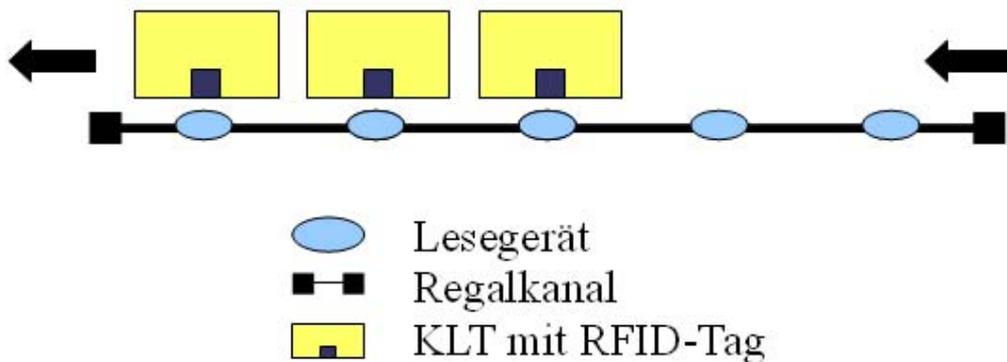


Abbildung 16 Schematische Darstellung eines Regalkanal

### 3.5.6.3 Kleinladungsträger

Für den Transport und zur Einlagerung der benötigten Artikel sollte ein herkömmlicher KLT nach DIN EN 13199<sup>25</sup> ausgewählt werden. Um den Anforderungen der DIN EN 13199 gerecht zu werden, werden die KLT fast immer aus Kunststoff hergestellt und stellen damit keine Beeinträchtigung des elektromagnetischen Feldes des Lesegerätes dar.

Eine weitere Fragestellung bezieht sich auf die Positionierung des RFID-Tags an dem KLT. Um einen möglichst großen Abstand zu dem im KLT befindlichen Artikeln zu gewährleisten, ist es notwendig den RFID-Tag an der Außenseite des KLT zu platzieren. Würde man den Tag an der Innenseite anbringen, könnte es so bei bestimmten metallischen Artikeln zu Lesefehlern kommen. Zur Anbringung an der Außenseite bietet der KLT vier Seitenwände und den Boden. Bei der Auswahl der geeigneten Position muss nun auch die Platzierung des Lesegerätes im Regalkanal mit einbezogen werden. Wie in Abschnitt 7.3 beschrieben ist es sinnvoll die Lesegeräte jeweils in der Mitte der Regalkanäle und im Abstand von genau einem KLT anzubringen. Dies bedeutet, dass die RFID-Tags am Boden des KLT befestigt werden. Dadurch wird gewährleistet, dass sich diese bei jedem Einlagerungsprozess direkt in das elektromagnetische Feld des Lesegerätes bewegen.

Würde man das Lesegerät an den Seiten der Regalkanäle und somit auch den RFID-Tag an einer der Seitenwand des KLT positionieren, könnte es durch seitenverkehrtes Einlagern dazu kommen, dass sich der RFID-Tag nicht in das elektromagnetische Feld des Lesegerätes bewegt und dadurch der RFID-Tag nicht gelesen werden kann. Zur Lösung dieses Problems würde es sich anbieten an beiden Seiten der Regalkanäle Lesegeräte anzubringen, doch bestehen hier die Nachteile, dass nicht nur doppelt so viele Lesegeräte benötigt, sondern sich auch die Lesegeräte der nebeneinander liegenden Regalkanäle stören würden. Durch die Positionierung an der KLT-Unterseite werden so menschliche Fehler bei der Einlagerung der KLT vermieden.

Eine weitere Anforderung an SmartRack bezieht sich auf die Art wie der RFID-Tag an dem KLT befestigt wird. Um dem rauen Umgang einer Produktion standzuhalten, bietet es sich an diesen festzuschrauben, doch auch Kleben wäre denkbar. Besitzt der KLT zusätzlich einen Wabenboden, so kann der RFID-Tag direkt in diesen integriert werden. Die einzelnen Wabenabgrenzungen im Boden schützen den RFID-Tag und sorgen dafür, dass sich dieser nicht verkantet oder verkeilt.

### 3.5.6.4 RFID-System

<sup>25</sup> Vgl. DIN EN 13199: Verpackung – Kleinladungsträgersysteme- Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren, 2000

Im folgenden Abschnitt wird die Umsetzung der bereits beschriebenen Anforderungen an das RFID-System dargestellt.

Die Lesereichweite ist bei RFID-Systemen sehr sorgfältig auszuwählen, da sie eines der wichtigsten Auswahlkriterien darstellt<sup>26</sup>. Es bestehen drei verschiedene Klassen von jeweils unterschiedlichen Lesereichweiten. Das Close-Coupling-System mit einer Reichweite von bis zu 1 cm, das Remote-Coupling-System für Reichweiten bis zu 1 m sowie das Long-Range-System, das Reichweiten von über 1 m ermöglicht<sup>27</sup>. Da die magnetischen Felder der einzelnen Lesegeräte, die immer im Abstand von genau einer KLT angebracht sind (siehe Abschnitt 7.3), sich gegenseitig nicht beeinträchtigen dürfen, sollte die Lesereichweite kleiner als eine halbe KLT-Länge gewählt werden. Außerdem kann festgelegt werden, dass die Reichweite größer als 1 cm gewählt werden muss, da sonst die Transponder nicht sicher gelesen werden können. Mit diesen Überlegungen kann sowohl das Close-Coupling als auch das Long-Range-Coupling-System ausgeschlossen und sich für ein Remote-Coupling-System entschieden werden. Dieses arbeitet typischerweise in einem Frequenzbereich von 135 kHz oder 13,56 MHz<sup>28</sup>.

Die Störanfälligkeit eines Systems gegenüber anderen Systemen ist ein wesentliches Kriterium der elektromagnetischen Verträglichkeit. Die Vielfalt und Verschiedenheit der durch den Anwendungsbereich bestimmten Einflüsse macht es schwer allumfassende Kriterien für die Bewertung von RFID-Systemen zu bestimmen. Gegenüber Metallen im Betriebsbereich sind fast alle RFID-Systeme aufgrund von Abschirmungs- oder Reflexionseffekten sehr empfindlich<sup>29</sup>. Im LF-Bereich werden jedoch im Vergleich zum HF- und UHF-Bereich stärkere Störungen durch fremde Frequenzen wie Schweißanlagen oder Motoren hervorgerufen, da die Frequenzunterschiede hier geringer ausfallen<sup>30</sup>. Bei der Absorption der elektromagnetischen Wellen durch organische oder wasserhaltige Materialien sind wiederum die Systeme im UHF-Bereich stark betroffen, während sie im LF- und HF-Bereich nur eine geringe Rolle spielen<sup>31</sup>. Aus diesen Gründen ist für den Einsatz in Industriebetrieben ein System im HF-Bereich zu bevorzugen. Doch nicht nur der Frequenzbereich, sondern auch die Bauform des RFID-Transponders entscheidet über dessen Robustheit. In Kunststoff eingebrachte Transponder sind besonders robust und damit ideal für den Einsatz in SmartRack. Diese Verpackung bewirkt eine Resistenz gegenüber Schmutz und ermöglicht den Einsatz bei hohen Umgebungstemperaturen<sup>32</sup>.

Bei RFID-Transpondern kann anhand ihrer Speicherstruktur zwischen einmal und mehrmals beschreibbaren Systemen unterschieden werden<sup>33</sup>. Da bei SmartRack die Transponder immer wieder gelöscht und neu beschrieben wieder in den Kreislauf eintreten sollen, müssen wiederbeschreibbare Transponder ausgewählt werden. Daraus ergibt sich zusätzlich die Forderung, dass die Lesegeräte nicht nur lesen, sondern auch beschreiben können müssen. Bei der Wahl des auf dem RFID-Tag befindlichen Speichers sollte darauf geachtet werden, dass eine gewisse Datenmenge wie Artikelnummer, -name und -menge Platz finden müssen. Aus diesem Grund können kostengünstige 1-Bit Transponder für den Einsatz bei SmartRack ausgeschlossen werden, da diese die Datenmenge nicht speichern können.

Die Einführung von SmartRack in einem Unternehmen kann nur über eine große Stückzahl an Transpondern realisiert werden. Daher spielen die Kosten eine erhebliche Rolle bei der Wahl des RFID-Systems. Die Zukunft von kostengünstigen Datenträgern liegt im Bereich von 13,56 MHz. Dies liegt vor allem daran, dass in diesem Frequenzbereich einige wenige Spulen-Windungen (normalerweise <10) der Tag-Antenne ausreichen, um einen optimal abge-

---

<sup>26</sup> Vgl. Lampe, Matthias; Flörkemeier, Christian; Haller, Stephan: Einführung in die RFID-Technologie S.10

<sup>27</sup> Vgl. Lampe, Matthias; Flörkemeier, Christian; Haller, Stephan: Einführung in die RFID-Technologie S.10

<sup>28</sup> Vgl. Lampe, Matthias; Flörkemeier, Christian; Haller, Stephan: Einführung in die RFID-Technologie S.10

<sup>29</sup> Vgl. Aim Inc.: Radiofrequenz-Identifikation RFID, Eigenschaften von RFID-Systemen, S. 5

<sup>30</sup> Vgl. Lampe, Matthias; Flörkemeier, Christian; Haller, Stephan: Einführung in die RFID-Technologie S.12

<sup>31</sup> Vgl. Aim Inc.: Radiofrequenz-Identifikation RFID, Eigenschaften von RFID-Systemen, S.5

<sup>32</sup> Vgl. Lampe, Matthias; Flörkemeier, Christian; Haller, Stephan: Einführung in die RFID-Technologie S.4

<sup>33</sup> Vgl. Lampe, Matthias; Flörkemeier, Christian; Haller, Stephan: Einführung in die RFID-Technologie S.13

stimmten Tag zu realisieren<sup>34</sup>. Die Herstellung einer Spule mit wenigen Windungen kann drucktechnisch und damit bedeutend günstiger durchgeführt werden. Im Gegensatz dazu müssen Spulen mit vielen Windungen aufwendig gewickelt werden<sup>35</sup>.

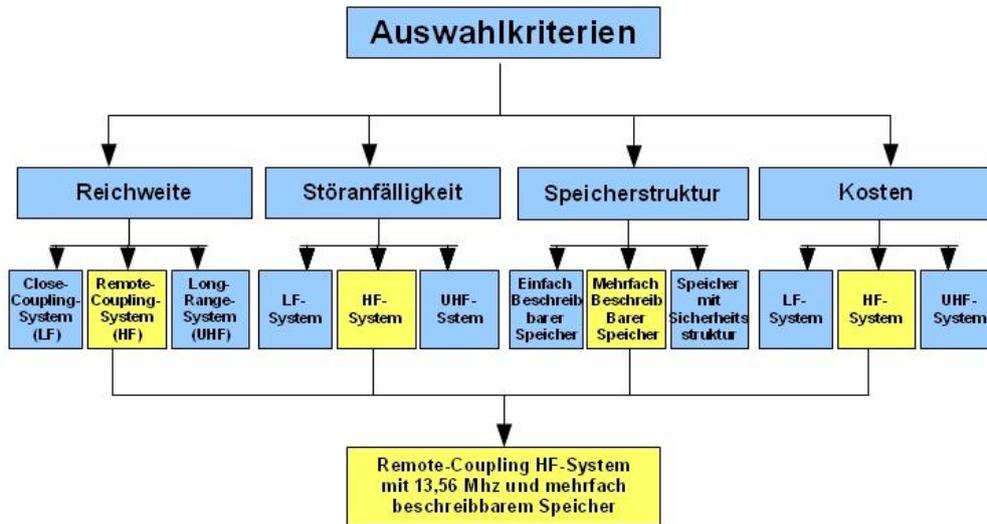


Abbildung 17 Übersicht der Auswahlkriterien des RFID-Systems

Nach Abwägung der wichtigsten Auswahlkriterien eines RFID-Systems kann geschlossen werden, dass vor allem aus Gründen der Reichweite, Robustheit und der Kosten ein RFID-System im HF-Bereich bei 13,56 MHz gewählt werden sollte. Das Lesegerät sollte eine Reichweite im ein bis zweistelligen Zentimeterbereich haben und sowohl lesen als auch schreiben können. Der Transponder sollte wiederbeschreibbar und in ein PVC-Gehäuse eingelegt sein. Ein solches System bietet beispielsweise das Unternehmen PEPERL+FUCHS mit dem IQC22-C1 Tag (siehe Abschnitt 7.6 Tabelle 2).

### 3.5.6.5 Software

Um die Daten der einzelnen Lesegeräte pro Regalkanal zu sammeln und zu verarbeiten, sollte pro Regalkanal von SmartRack ein Mikrocontroller angebracht werden. Da die Kommunikation zwischen dem Lesegerät und dem Mikrocontroller aus einfachen Bit-Übertragungen besteht und nur auf Hardwareebene stattfindet (also in der physikalischen Schicht des OSI-Schichtenmodells), genügt es hier einen einfachen RS485 Bus zu verwenden. Außerdem sollten die Vorgänge in den Mikrocontrollern mithilfe einer direkt programmierten Software gesteuert werden. Auf ein Betriebssystem kann hier verzichtet werden.

Zur weiteren Verwendung der Daten muss der Mikrocontroller des Regalkanals mit einem Controller, der die Daten aller einzelnen Regalkanäle verarbeitet und zusätzlich eine Schnittstelle nach außen bereitstellt, kommunizieren. Diese Art von Controller muss eine so große Kapazität besitzen, dass auf ihm problemlos ein Betriebssystem laufen kann. Da der Controller diese unterschiedlichen Aufgaben und Funktionen zu erfüllen hat, wird dieser in der Umgangssprache auch als „Smartbox“ bezeichnet. Zwischen der Smartbox und den Mikrocontrollern muss eine große Datenmenge übertragen werden, sodass ein einfacher Datenbus nicht mehr ausreicht. Hier wäre es sinnvoll als physikalische Schicht auf ein Ethernet zu setzen, welches die Datenpakete in der Transportschicht mittels TCP (Transmission Control Protocol) über das Netzwerk schickt.

Die Smartbox sollte außerdem eine Schnittstelle nach außen zum Zulieferer bereitstellen. Um eine Kommunikation zwischen der SmartBox des Durchlaufregals und dem Zulieferer zu ermöglichen, müssen sich beide mit dem Internet verbinden. Dies könnte unter anderem

<sup>34</sup> Vgl. Aim Inc.: Radiofrequenz-Identifikation RFID, Eigenschaften von RFID-Systemen, S.5

<sup>35</sup> Vgl. Lampe, Matthias; Flörkemeier, Christian; Haller, Stephan: Einführung in die RFID-Technologie S.14

über WLAN oder Ethernet, aber auch UMTS realisiert und sollte an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden.

Sobald eine Internetverbindung besteht, kann nun auf unterschiedliche Weise mit dem Zulieferer kommuniziert werden. Zum einen wäre es möglich mittels Emailversand Nachbestellungen zu generieren. Dabei würde gemäß dem Schichtenmodell auf der Anwendungsebene mit den Protokollen SMTP und POP die Emails übertragen werden. Eine Alternative dazu wären Webabfragen an einen Server. Dies könnten automatische Nachbestellungen mittels HTTP post oder Bestandsabfragen mittels HTTP get sein. Auch diese Entscheidung sollte an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden.

Bei der Kommunikation zwischen den verschiedenen Smartboxen und somit den Durchlaufregalen sollte beachtet werden, dass auch hier ganze Datenpakete versendet werden müssen. Daher ist es ebenfalls sinnvoll als Medium in der physikalischen Schicht auf ein Ethernet oder W-LAN zu setzen und die Datenpakete mittels TCP zu verschicken. Als Alternative zu dieser Lösung wäre jedoch auch eine Kommunikation über UMTS möglich.

Die Software auf der Smartbox, die die einzelnen Vorgänge abwickelt, sollte auf einem Betriebssystem, beispielsweise Linux, laufen. Mit Linux hat der Benutzer den Vorteil keine Lizenzgebühren oder Laufzeiten beachten zu müssen. Mittels einer Programmiersprache wie z.B. C++ sollte dann die eigentliche Software programmiert werden.

### 3.6 Darstellung der erzielten Ergebnisse mittels Abbildungen



In der nebenstehenden Abbildung kann man sehr gut die benutzerfreundliche Software des Demonstrators erkennen. Bedient wird die Software über die Touchscreen Technik, welche ebenso zu geringerem Platzbedarf in der Montagehalle führt.

Die obere Zeile zeigt stets an, ob man sich gerade die Infos von der Montagelinie oder die Infos vom Lieferanten ansieht. Auf der linken Seite des Bildschirms ist das Smart Rack Regal nach gebildet. Folglich befinden sich aktuell 2 KLT an der Montagelinie und keine Leerbehälter. Rechts werden nähere Informationen zu dem ausgewählten KLT bereitgestellt.



In dieser nebenstehenden Abbildung ist der gesamte Demonstrator zu erkennen.

Links im Bild erkennt man den Monitor, mit dem man die oben beschriebenen Informationen abrufen kann. Falls man einen KLT neu beschreiben muss, da sich beispielsweise ein neues Produkt darin befindet, stellt man den KLT auf die weiße Fläche unterhalb des Monitors. Hier findet auch eine RFID Erkennung statt und folglich kann man dann direkt alle Daten für den jeweiligen KLT ändern. Rechts auf dem Bild befindet sich das Regal, welches für 4 verschiedene Produkte mit jeweils 3 KLT und 6 Leerbehälter ganz unten Platz bietet.

### 3.7 Integrationsmöglichkeiten in der Logistikprozesskette – Praxisnahes Anwendungsszenario

Um ein praxisnahes Anwendungsszenario für das SmartRack-System herausarbeiten zu können, müssen zunächst einige Annahmen getroffen bzw. die in Pflichtenheft identifizierten Anforderungen an die Prozessumgebung und das Teilespektrum, die sich aus Aufbau und Funktionsweise des Systems ergeben, beachtet werden.

Vereinfachend wird im Folgenden die logistische Partnerschaft zwischen einem Lieferanten und seinem Kunden betrachtet, wobei der Kunde ein produzierendes mittelständisches Unternehmen und der Lieferant einen Hersteller von Fertigerzeugnissen darstellen. Der Lieferant beliefert seinerseits lediglich diesen einen Kunden. Die vom Lieferanten an den Kunden gelieferten Teile werden in der Montage des Kunden mit anderen – sowohl eigens erzeugten Halbfabrikaten als auch Teilen anderer Lieferanten – an drei separaten Montagelinien zu drei unterschiedlichen Produkten gefertigt. Für die Fertigstellung jedes beim Kunden



- Jedes der 30 Teile wird min. einmal in jedem der 3 Produkte verbaut
- Die Teile sind Klein- bzw. Kleinstteile
- Die Teile sind Schnelldreher – aus Sicht des Lieferanten und des Produzenten
- Es existieren weder ERP- noch andere IT-Systeme, die es zu integrieren gilt
- Die Materialversorgung kann über die Straße mit dem LKW erfolgen

Nachdem die zugrunde liegenden Beziehungen mit den beiderseitigen Abhängigkeiten zwischen Lieferant und Kunde gezeigt haben, dass die Installation eines SmartRack-Systems prinzipiell realisierbar ist, müssen in einem nächsten Schritt die einzelnen Prozessschritte der Materialversorgung von der Bestellung bis zur Bereitstellung benötigter Teile an den Montagelinien analysiert werden. Dabei gilt es, das bestehende Versorgungskonzept und weitere betroffene Prozesse zu identifizieren und gegebenenfalls so zu modifizieren, dass sie eine effektive und effiziente Einbettung des SmartRack-Systems gewährleisten um im Sinne einer Win-Win-Situation eine wirtschaftlich vorteilhafte Realisierung des Projekts zu ermöglichen.

### 3.7.1 Betroffene Prozesse und ihre Potenziale

#### 3.7.1.1 Die zentralen Ist-Prozesse der Materialwirtschaft im Überblick

In Anlehnung an das Supply-Chain-Operations-Reference-Model (SCOR-Model), einem „branchenunabhängigen Standard-Prozess-Referenzmodell zum Darstellen, Analysieren und Konfigurieren von Supply Chains“, stellt Abbildung 21 die hier durch die geplante Einführung von SmartRack betroffenen Ist-Prozesse aus Kundensicht dar. Zudem werden die identifizierten Kernprozesse Planen, Beschaffen und Herstellen in ihre jeweiligen für den zugrunde liegenden Fall relevanten Prozesselemente der Auftragsverwaltung, Bedarfsplanung, Bestellung/Lieferung, Materialbereitstellung und Montage aufgegliedert. Die Darstellung wird auch im weiteren Verlauf für viele prozessbezogene Darstellungen herangezogen und bietet ebenso die Basis für die Analyse von Nutzenpotenzialen während der Optimierung der Prozesse bzw. einzelner Prozesselemente durch den Einsatz von SmartRack.



Abbildung 21 Prozesse und ihre Elemente aus Kundensicht

Der aktuelle Beschaffungsprozess beim Produzenten für Teile vom Lieferanten lässt sich gemeinhin als traditionell beschreiben. Auf Basis der Budgetsituation und der Auftragslage seitens der Kunden des Produzenten wird die Absatzplanung, auf welche sich die grundlegende Materialdisposition stützt, evaluiert. Außerdem werden wöchentlich Bestandsdaten aufgrund manuell durchgeführter Inventuren erfasst und mit den Verbräuchen während der

vergangenen Periode abgeglichen und gemeinsam mit eventuellen Sicherheitsbeständen in die Bedarfsplanung einbezogen. Auf dieser Grundlage wird wöchentlich eine Bestellung via Email an den Lieferanten gesendet, die ebenfalls online bestätigt wird. Der Lieferant führt anhand der Bestelldaten eine manuelle Kommissionierung in seinem Lager durch und liefert die Waren mit dem LKW an den Kunden. Beim Kunden angekommen, werden die Warenlieferungen nach einem chaotischen Lagerverwaltungsprinzip in ein zentrales Warenlager eingelagert. Dies bedeutet, dass kein fixer Platz für eine bestimmte Warennummer reserviert ist, so dass im Sinne der Reduktion von Lagerfläche Platz eingespart werden kann. Um die Ware dennoch jederzeit positionsgenau finden zu können, wird der Lagerort schriftlich von Hand in einer Liste festgehalten. Die Abbildung 22 zeigt die Abhängigkeiten zwischen Lieferant und Kunde innerhalb der Ist-Prozesse bei der Beschaffung und Lagerverwaltung vor der Einführung von SmartRack. Darüber hinaus sind sowohl diejenigen Prozessschritte indiziert, die durch SmartRack direkt optimiert werden können, als auch solche, die beispielsweise durch die Einführung der Auto-ID-Technik indirekt betroffen sein werden und Nutzenpotenziale aufweisen. Bei der Versorgung der drei Montagelinien wird der aus der Auftragslage hervorgehende tägliche Materialbedarf - vor Beginn einer jeden Schicht - kommissioniert und in Regalaufbauten an den Montagelinien bereitgestellt. Sollte sich dennoch eine kurzfristige Engpasssituation in der Montage ergeben, so platziert der betroffene Arbeiter eine schriftliche Anforderung an einem fixen Ort. Ein weiterer Mitarbeiter prüft in kontinuierlichen Abständen die Anforderungslage und gleicht diesen Materialbedarf zunächst mit den aktuellen Lagerbestandsdaten, resultierend aus der vergangenen Inventur, ab. Ist das angeforderte Material verfügbar, so wird es unverzüglich aus dem Lager entnommen und an der entsprechenden Montagelinie im Regal bereitgestellt. Ist das Material nicht im Lager verfügbar, wird eine kurzfristige Bestellung via Email an den Lieferanten versendet.

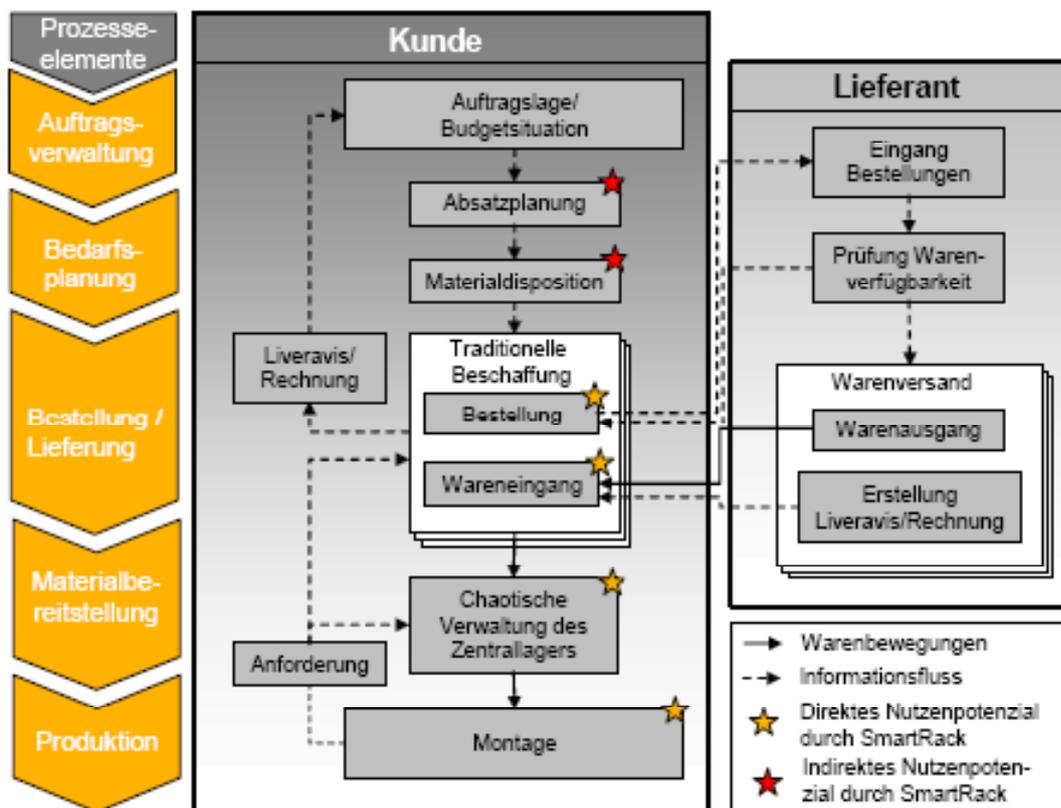


Abbildung 22 Beschaffung und Herstellung vor der Einführung von SmartRack

### 3.7.1.2 Konkretisierung etwaiger Nutzeneffekte durch SmartRack

Wie in Abbildung 22 indiziert konnten bereits einige Einsatzorte für SmartRack- Systeme identifiziert werden. Im bisherigen Verlauf dieser Arbeit wurde deutlich gemacht, dass durch die Installation eines SmartRacks die Teileversorgung auf betroffener Prozessebene fortan e-Kanban-gesteuert - also nach dem Pull-Prinzip - ablaufen wird.

Um die Vorteile des SmartRack-Systems zur e-Kanban-Beschaffung in der Folge intern beim Kunden (und beim Lieferanten) nutzbar zu machen, können auf Ebene der Materialbereitstellung zunächst die herkömmlichen Regalaufbauten an den drei Montagelinien durch SmartRacks in Form von Durchlaufregallagern ersetzt werden. Die von den Mitarbeitern in der Montage im Falle eintretender Engpässe zu erstellenden Materialanforderungen - und die dadurch möglicherweise entstehenden Verzögerungen in Folge von Leerbeständen - könnten so nicht nur automatisiert, sondern - und das ist einer der zentralen Vorteile dieses Auto-ID-Systems - durch die Überwachung der Lagerentnahmen im Vorfeld gänzlich abgefangen werden. Engpässe, die sich an einer Montagelinie aufgrund z.B. kurzfristigen Sekundärbedarfs abzeichnen, können durch die RFID-gestützte Überwachung erfasst und das Material rechtzeitig angefordert werden.

Weiteres - diesen Prozess unterstützendes - Optimierungspotenzial zeigt sich bei der Betrachtung des chaotisch verwalteten Zentrallagers, das die Teileversorgung der Montagelinie garantiert. So müsste das SmartRack-System in der Montage folglich durch ein größeres SmartRack-Durchlaufregallager ergänzt werden, welches hinsichtlich seiner Funktion und Kapazität das ursprüngliche zentrale Warenlager ablösen und die Materialbereitstellung in der Montage somit weiter automatisieren könnte. Auf operativer Ebene ließen sich sowohl der beschriebene Prozess der manuellen Bestandsprüfung durch die Mitarbeiter auf Basis der Inventurdaten als auch die sich anschließende Positionsbestimmung der angeforderten Waren im Lager aufgrund von Listeneinträgen und die gegebenenfalls zu generierende Bestellung an den Lieferanten, durch den Einsatz eines weiteren SmartRack-Systems unterstützen. Auf Basis einer Intranetverbindung könnten sämtliche Informationen über Lagerbewegungen und Bestandsänderungen in der Montage und im Zentrallager überwacht, gesammelt, aufbereitet und zeitnah in einer zentralen Software-Applikation verfügbar gemacht werden. Aus dem beschriebenen grundlegenden Aufbau werden an dieser Stelle die ersten Vorteile, die sich durch den smarten Einsatz von RFID ergeben, deutlich und können zusammenfassend wie folgt dargestellt werden:

Im Gegensatz zu herkömmlichen Kanban-Systemen basiert das SmartRack- System nicht etwa auf Zwei-Karten-Systemen mit Barcodelösungen, die an Behältersystemen angebracht sind und anhand derer der Verbrauch erfasst wird, sondern es erfolgt vielmehr eine direkte, bedienerfreundliche und schnelle Kopplung zwischen der Kanban-Karte in Form des mit einem RFID-Tag. ausgestatteten Ladungsträgers und dem EDV-System. So ergibt sich im Vergleich zu den bisherigen Prozessen:

- eine schnellere, umfassendere, vollautomatische Datenerhebung
- eine Reduktion manueller und dadurch fehleranfälliger Routinearbeiten
- eine reduzierte Wahrscheinlichkeit für entstehende Engpässe in der Montage
- ein erhöhter Durchsatz in der Montage
- eine Reduktion von Zeit- sowie Fehlerraten bei der Materialbereitstellung

Nachdem nun verdeutlicht wurde, welche konkreten Nutzenpotenziale innerhalb des bestehenden Prozesses der Herstellung mit den dazugehörigen prozesseseitigen Elementen Lagerverwaltung und Montage durch die Einführung eines SmartRack- Gesamtsystems aktiviert werden konnten, soll im Folgenden die logistische Anbindung zum Lieferanten und

damit einhergehend der Prozess der Beschaffung aus Kundensicht im Mittelpunkt stehen. So, wie die Installation der SmartRacks in der Montage die grundlegende Voraussetzung für eine e-Kanban-gesteuerte Materialbereitstellung bei der Herstellung von Endprodukten darstellte, ebnet das in der Folge für eine weitere Prozessoptimierung in der Herstellung eingesetzte zentrale SmartRack-Warenlager den Weg für eine vollkommen neue Form der logistischen Partnerschaft zwischen Lieferant und Kunde: So besteht durch das zukünftig automatisch überwachte SmartRack-Warenlager nicht nur die Möglichkeit einer e-Kanban-Beschaffung beim Lieferanten, sondern - und dieses Potenzial resultierte erst aus der Schaffung einer beinahe maximalen Visibilität hinsichtlich zentraler logistischer Vorgänge - das neue System begünstigt zudem die Umstellung der Lagerverwaltung auf ein Vendor-Managed-Inventory (VMI). Prinzipiell wird beim VMI der Bestand im Warenlager des Kunden vom Lieferanten „gemanaged“. Eine grundlegende Voraussetzung dafür ist, dass die Information über alle Lagerbewegungen, die die Bewirtschaftung des Lagers betreffen, allen Beteiligten in real-time zur Verfügung gestellt werden können. Auf Basis einer Inter-/Intranetverbindung zwischen Lieferant und Kunde können hier die Lagerbewegungen im Zentrallager des Kunden überwacht und für den Lieferanten sichtbar gemacht werden. Dies bedeutet für den Wert von Information innerhalb einer solchen logistischen Partnerschaft, dass „ihr Besitz ebenso wichtig ist wie der Besitz der Güter“ selbst.

Im Allgemeinen spricht man bei den betroffenen Daten von so genannten POS-Daten, also den Daten des Point-of-sale – hier in Form der Daten von Lagerzuund –abgängen. Anders als bei einem Konsignationslager gehen beim VMI die Waren bereits im Moment der Einlagerung ins Kundenlager in den Besitz desselbigen über. „Der Lieferant übernimmt Bestelwesen, Auffüllen (evtl. auch physisch) und die komplette Bestandskontrolle“. Über die Lagerdaten hinaus wird der Kunde dem Lieferanten - wie bisher auch geschehen - die aktuellen Auftragsdaten für eine genauere Bedarfsprognose zur Verfügung stellen und ihn kurzfristig mit Informationen über Sekundärbedarfe versorgen können. Auf Basis dieser Daten plant der Lieferant nun den Warenversorgungsprozess und die Auftragsgenerierung, versendet Versandavise, liefert die Teile und lagert diese im Lager ein. Darüber hinaus bietet ihm die Transparenz der Warenbewegung jederzeit die Möglichkeit einer schnellen Reaktionsfähigkeit für den Fall einer notwendigen kurzfristigen Nachdisposition. Einen weiteren zentralen Faktor bei den Planungen des Lieferanten werden die durch das SmartRack-System ermittelbaren logistischen Kennzahlen darstellen. Als Ergebnis wird hier der traditionelle Beschaffungsprozess auf Basis von Auftragsdaten, Budgetsituation und manuellen Inventurdaten sowie einer chaotischen Form der Lagerverwaltung und zahlreichen manuellen Routineprozessen durch ein e-Kanban-gestütztes Vendor-Managed-Inventory abgelöst, was in einer ersten Übersicht zu den folgenden Vorteilen führt:

- Besseres Know-how über Planungsprozesse für den Lieferanten
- Ein erhöhter Servicelevel bei kritischen Teilen
- Kennzahlen als Erfolgskontrolle
- Touren (Lieferant) können synchronisiert und optimiert werden

Die Abbildung 7 zeigt abschließend die Abhängigkeiten zwischen Lieferant und Kunde innerhalb der neu gestalteten Prozesse der Beschaffung und Herstellung, die nach Einführung von SmartRack bestehen.

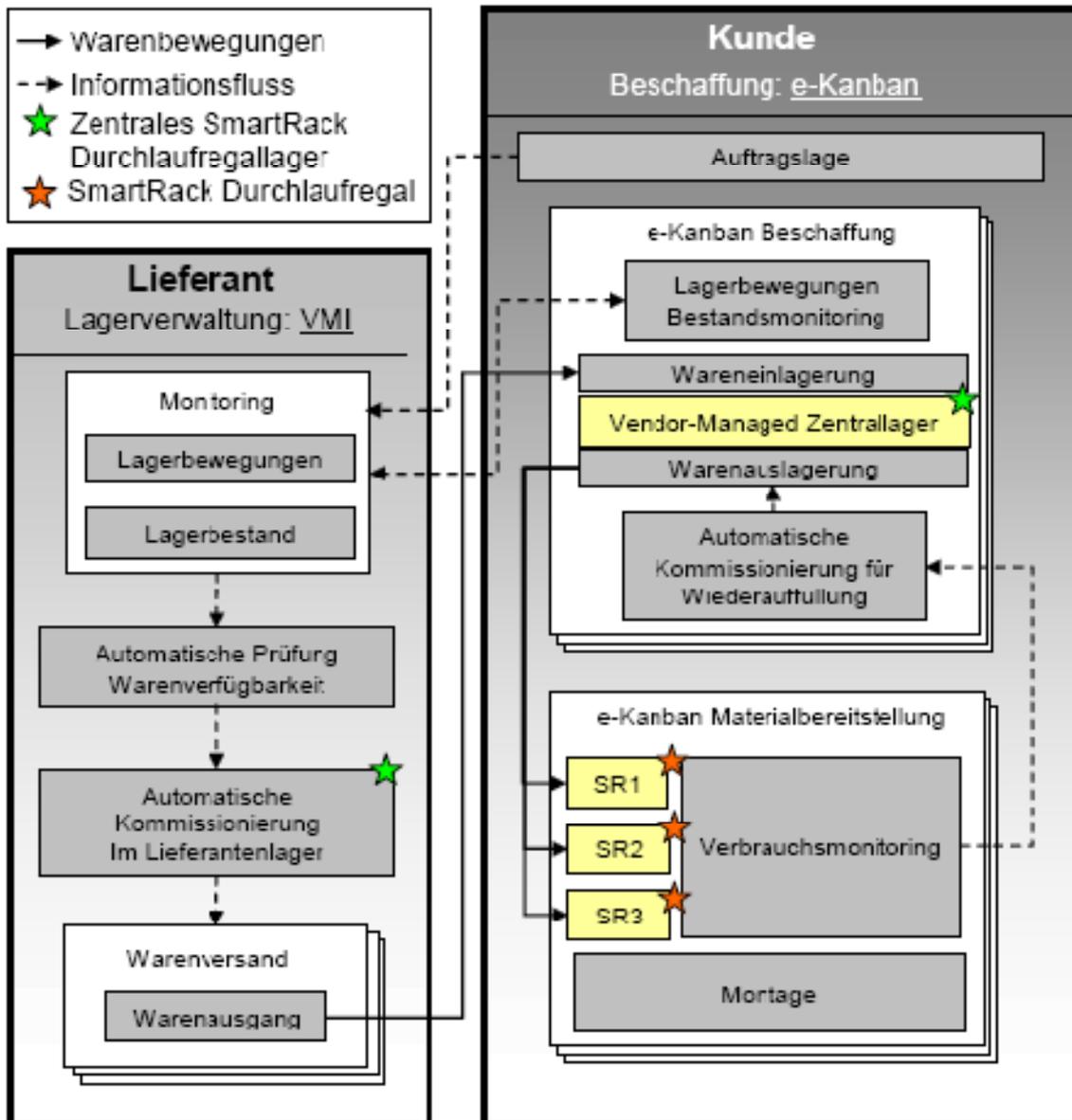


Abbildung 23 Beschaffung und Herstellung nach der Einführung von SmartRack

### 3.7.2 Technische Realisierung und unterstützende Systeme

Die angestoßenen Veränderungen sowohl beim Kunden als auch beim Lieferanten durch die Installation eines SmartRack-Systems wurden bisher hauptsächlich auf Prozessebene beschrieben und erläutert. Um die operative Umsetzbarkeit eines solchen Vorhabens verdeutlichen zu können, werden in einem letzten Abschnitt, den detaillierten Systemaufbau betreffend, diejenigen System-Komponenten konkretisiert, die zu einem sicheren, möglichst fehlerfreien und effizienten Ablauf der einzelnen Prozesse beitragen können. So wird zum einen auf die beim Kunden innerbetrieblich eingesetzten Transportsysteme eingegangen, welche den reibungslosen Materialfluss vom Warenlager zu den einzelnen SmartRacks gewährleisten müssen. Zum anderen sollen System-Komponenten vorgestellt werden, die die möglichen fehleranfälligen Vorgänge wie beispielsweise die Beschickung der SmartRacks in der Montage mit den einzelnen Behältern sicherer machen. Ausgehend von der Annahme, dass das Warenlager korrekt (jeder Behälter befindet sich an der für ihn vorgesehen Position) vom Lieferanten aufgefüllt wurde, gilt es nun die richtige Ware (also den richtigen Behälter) auf Anforderung aus der Montage aus dem SmartRack-Warenlager zu entnehmen und diese in das SmartRack in der Montage ebenfalls an der richtigen Position einzulagern:

Um den Pick des Mitarbeiters aus dem Warenlager auf seine Richtigkeit hin zu überprüfen, könnte die Installation eines „Check-Desks“ die Fehlerquote beim Materialbereitstellungsprozess schon frühzeitig senken. Der Mitarbeiter würde den angeforderten Behälter aus dem Warenlager entnehmen und diesen - bevor er ihn weiter in die Montage schickt – auf dem Check-Desk abstellen, um auf einem Monitor angezeigt zu bekommen, ob dieser Behälter dem angeforderten entspricht. Aus technischer Perspektive müsste lediglich ein PC-System, das in der Lage ist, die Informationen bezüglich der angeforderten Ware mit den Daten auf dem RFID-Tag vergleichen zu können, an geeigneter Stelle positioniert werden. Als Basis für die Vergleichbarkeit von Anforderungs- und RFID-Chip- Daten könnten einige gespeicherten Informationen bezüglich der Ware in den Behältern dienen. Nahe liegend wäre beispielsweise ein Vergleich auf Basis der Artikelstammdaten in Kombination mit der sich im Ladungsträger befindlichen Warenmenge. Stimmen die diesbezüglichen Daten aus der Anforderung mit denen auf dem Chip des entnommenen Behälters überein, so würde das System auf dem Monitor eine entsprechende Meldung ausgeben. Stimmen die Daten nicht überein, würde das System ebenfalls eine entsprechende Meldung machen und könnte zudem einen Hinweis geben, an welche Position der Behälter zurück in das Warenlager eingelagert werden muss bzw. wo der korrekte Behälter anschließend für den Mitarbeiter zu finden ist. Irrelevant ist dabei, ob die Anforderung von einem Mitarbeiter aus der Montage - resultierend aus einer Engpasssituation – stammt oder ob sie automatisch nach dem e-Kanban-Prinzip vom System generiert worden ist. Voraussetzung ist generell, dass der komplette Vorgang IT-gestützt abläuft und sämtliche Informationen über Warenbewegungen vom System registriert werden.

Analog zu einem derartigen Sicherungssystem während des Vorgangs der Warenauslagerung (hier eine Art Kommissionierung) aus dem Zentrallager könnte dasselbe Prinzip in einem ähnlichen Systemaufbau an der Montagelinie angewendet werden. Um nämlich die Beschickung der SmartRacks in der Montage zeiteffizient und fehlerfrei ablaufen zu lassen, könnte dem Mitarbeiter die Behälterposition ebenfalls an einen Check-Desk angezeigt und erneut die Richtigkeit des Behälters durch das System geprüft werden. Die technischen Voraussetzungen beziehungsweise die für die Vergleichbarkeit der Daten heranzuziehenden Kennungen müssen analog zum Check-Desk-System im zentralen Warenlager auch hier gegeben sein. Abseits des Einsatzes technischer Systeme für eine sicherere Umsetzung des SmartRack-Systems könnte zudem eine sehr einfache Idee, die keine weiteren Mehrkosten verursacht, Anwendung finden. So könnte mit verschiedenfarbigen Behältern gearbeitet werden, deren Farbbeschaffenheit Auskunft über die Zugehörigkeit zu einem bestimmten SmartRack in der Montage geben würde. Diese Möglichkeit zur optischen Kontrolle würde die Arbeit der Mitarbeiter vereinfachen und zu den technischen Sicherungssystemen eine visuelle Hilfe beim Beschicken der SmartRacks darstellen.

Eine weitere zentrale Frage stellt sich bei dem Einsatz eines geeigneten Transportsystems für sämtliche Materialbewegungen vom zentralen Warenlager zu den SmartRacks in der Montage. Da die Wahl des Transportmittels von zahlreichen Faktoren abhängig ist (Anordnungen von Geräten und Anlagen, Bauweise des Lagers, Anordnung der Lager zueinander, zu überwindende physische Hindernisse etc.), soll für die Realisierung dieses Projektes davon ausgegangen werden, dass der Transport der Waren – wie zuvor auch – mittels handelsüblichen Kommissionierwagen umsetzbar ist. So werden im Optimalfall mehrere Anforderungen zunächst kommissioniert, die Behälter auf dem Kommissionierwagen angeordnet und folglich auf diesem zu den SmartRacks in der Montage gefahren. Dort werden die Behälter den jeweiligen SmartRacks zugeordnet und diese anschließend mit Hilfe des Check-Desks beschickt.

### **3.7.3 Vor- und Nachteile gegenüber bestehenden Systemen**

An dieser Stelle werden jetzt die grundlegenden Veränderungen durch SmartRack angeführt:

- Wegfall der konkreten Beschaffungsplanung und der Bestellungen
- Wegfall von Warenannahme, Kommissionierung, Einlagerung
- Automatisierung der Suchprozesse im Lager
- Unterstützende Systeme beim Aus- und Einlagern der Ware
- Wegfall der manuellen Anforderung in der Montage
- Monitoring der Warenbewegungen
- Smartes Behältermanagement möglich

Bezüglich der daraus resultierenden konkreten Prozessverbesserungspotenziale und den sich aus der Auto-ID-Technik ergebenden Möglichkeiten zum Monitoring von Logistikprozessen soll an dieser Stelle auf die ausführlichen Darstellungen in Kapitel 3.7.1 verwiesen werden. Darüber hinaus sei abschließend auf den positiven Einfluss des VMI-Konzeptes hinsichtlich des Bullwhip-Effektes hingewiesen. Ohne hier eine Quantifizierung anzustellen, wird sich die Wahrscheinlichkeit von Mengenschwankungen in der Lieferkette durch SmartRack deutlich reduzieren lassen können. Als nachteilig konnten lediglich die für die Installation anfallenden Kosten im Falle eines unrentablen Verlaufs des Projektes identifiziert werden. Das Risiko resultiert in diesem Fall überwiegend aus der Tatsache, dass die Voraussetzung für optimale Prozessverläufe eine sehr hohe Systemperformance ist. Diese wiederum kann, wie am Beispiel des Check-Desks gezeigt, durch zusätzliche Hilfestellungen während der Abläufe in den Lagern sichergestellt werden.

### **3.7.4 Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit**

Als die grundsätzliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Einführung des SmartRack-Systems in dem in dieser Arbeit beschriebenen Umfang kann die generelle Bereitschaft beider Parteien – Kunde und Lieferant – zur Veränderung bestehender Prozesse gesehen werden. Da die Bereitschaft jedoch zwangsläufig an den Nutzen des neuen Systems und neuer Prozesse geknüpft ist, wird die Realisierung des Projektes primär von dem durch das System generierten wirtschaftlichen Erfolg abhängen. Im Allgemeinen entsteht durch den immer stärker werdenden internationalen Wettbewerb ein Kosten- und Wettbewerbsdruck, den es seitens der Unternehmen durch verschiedene Maßnahmen abzufangen gilt. Eine Möglichkeit dieses zu tun, besteht in der Einführung innovativer Technologien wie bspw. der RFID-Technologie. Um nun die Wirtschaftlichkeit des beschriebenen Systems deutlich zu machen, werden die für den Kunden entstehenden Kosten sowie die monetären Nutzenvorteile quantifiziert und mittels Kapitalwertanalyse hinsichtlich der Rentabilität des Systems geprüft. Auf die Implementierung des Systems beim Lieferanten und die dort entstehenden Kosten sowie die möglichen finanziellen Auswirkungen in der Beziehung zwischen Lieferant und Kunde wird im Weiteren nicht näher eingegangen.

Die aufgeführten Kosten, die der Analyse zugrunde liegen, basieren auf eigens getroffenen Annahmen und orientieren sich zum Teil an Preislisten des Versandhändlers Kaiser+Kraft ([www.kaiserkraft.de](http://www.kaiserkraft.de)). Die unterschiedlichen Kosten wurden prinzipiell in zwei Teilbereiche unterteilt: Einmalige und laufende Projektkosten. Zu den einmaligen Projektkosten zählen diejenigen Kosten, die im Laufe des Projekts sowohl für Investitionen in die technischen Geräte und Apparaturen als auch für den Arbeits- und Dienstleistungsaufwand anfallen. Der entstehende monetäre Nutzen resultiert vornehmlich aus Kostenreduktionen in der Folge der Automatisierung der Lager- und Beschaffungsprozesse. Weitere gegebenenfalls nicht unerhebliche monetäre Nutzenpotenziale resultierend aus sinkenden Beständen und damit reduzierten Kapitalbindungskosten (Lagerhaltungs- und Opportunitätskosten) sowie aus einer effizienteren Abwicklung in der Montage durch z.B. bessere Durchlaufzeiten, wurden aus-

Gründen der Komplexität einer derartigen betriebswirtschaftlichen Analyse nicht näher betrachtet. Neben den Kosten weist die Tabelle 4 zudem die Mengen der benötigten Apparaturen/Systeme aus. Die Basis dafür bildeten die zu Beginn dieses Kapitels getroffenen Annahmen bezüglich der bestehenden Beziehungen zwischen Kunde und Lieferant sowie ein angenommener kontinuierlicher Betrieb der Montagelinien des Kunden und dem daraus resultierenden Materialbedarf an den Linien. Die für das Projekt angesetzten laufenden Kosten fallen jährlich ab dem Jahr der Installation des SmartRack-Gesamtsystems an. Hierbei wurden eventuell anfallende technische Probleme, Wartungsarbeiten aufgrund von Verschleiß des Materials sowie Kosten entstehend aus dem internen Support in die Kostenrechnung mit einbezogen. Der interne Support könnte aus Schätzungen zu Folge - bedingt durch die Neuartigkeit des Systems – für die Identifikation von Fehlern in der Startphase des Projekts bzw. deren Analyse und Behebung resultieren.

<b>Einmalige Projektkosten</b>		<b>50.860 €</b>
<b>Investitionen in die Systeme</b>	<b>[Stck]</b>	<b>33.160 €</b>
<b>1. SmartRack-Warenlager</b>	<b>1</b>	<b>8.200 €</b>
Tragkonstruktion	1	5.000 €
RFID-Antennen	30	1.800 €
Mini-PC	1	800 €
Help-Desk-Bildschirm	1	300 €
IT-Infrastruktur		300 €
<b>2. SmartRacks Montagelinie</b>	<b>3</b>	<b>19.200 €</b>
Tragkonstruktion	3	9.000 €
RFID-Antennen	90	5.400 €
Mini-PC	3	2.400 €
Help-Desk-Bildschirm	3	900 €
IT-Infrastruktur		1.500 €
<b>3. Ladungsträger</b>	<b>360</b>	<b>3.060 €</b>
Behälter	360	2.880 €
Transponder	360	180 €
<b>4. IT-Systeme</b>		<b>2.700 €</b>
Middleware		1.200 €
Software Applikation		1.500 €
<b>5. Arbeits-/Dienstleistungsaufwand</b>		<b>17.700 €</b>
Planung		5.000 €
Implementierung der Software		3.000 €
Schulung und Betreuung		800 €
Aufbau/Inbetriebnahme		8.000 €
Tests		900 €

Tabelle 4 Die einmaligen Projektkosten im Überblick

<b>Laufende Projektkosten (p.a.)</b>	<b>4.000 €</b>
Wartung durch extern	1.800 €
Interner Support	2.200 €

Tabelle 5 Die jährlich anfallenden Kosten im Überblick

Hinsichtlich des errechneten jährlichen Nutzens wurden ausgehend von zugrunde gelegten Lohnkosten sowie einer angenommenen Reduktionen des Aufwands in den verschiedenen Bereichen die Einsparpotentiale - wie in Tabelle 6 dargestellt - berechnet. Das größte Einsparpotential zeigt sich im Bereich der Warenannahme, wo das VMI-Konzept eine Entgegennahme, Kommissionierung und Einlagerung der gelieferten Waren erübrigt.

Nutzen	[Pot.]	184.200 €
<b>t=1</b>		<b>53.200 €</b>
1. Warenannahme/Kommissionierung	100%	40.000 €
2. Kommissionieren (auslagern)	33%	6.600 €
3. Suchaktionen Materialbereitstellung	33%	6.600 €
4. Planung und Koordination	0%	0 €
<b>t=2</b>		<b>61.000 €</b>
1. Warenannahme/Kommissionierung	100%	40.000 €
2. Kommissionieren (auslagern)	40%	8.000 €
3. Suchaktionen Materialbereitstellung	40%	8.000 €
4. Planung und Koordination	10%	5.000 €
<b>t=3</b>		<b>70.000 €</b>
1. Warenannahme/Kommissionierung	100%	40.000 €
2. Kommissionieren (auslagern)	50%	10.000 €
3. Suchaktionen Materialbereitstellung	50%	10.000 €
4. Planung und Koordination	20%	10.000 €

Tabelle 6 Quantifizierte Nutzenpotenziale im Überblick

Ergebnisse/Kennzahlen	Einheiten	Szenario
Kapitalwert der Investition (i=3%)	€	111.034 €
Internal Rate of Return	%	91
Amortisationsdauer	Jahre	1,04

Tabelle 7 Wirtschaftlichkeit nach Kapitalwertmethode

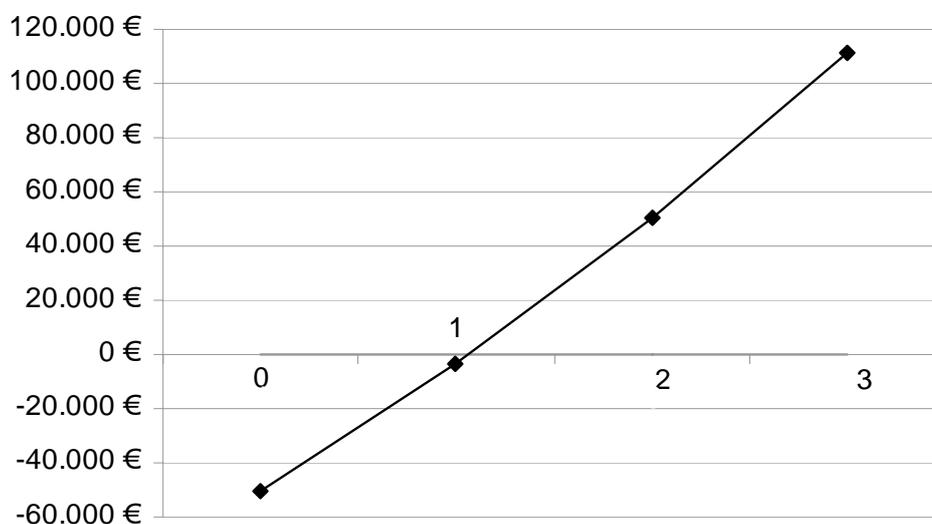


Abbildung 24 Kumulierte diskontierte Cashflows

Der sich nach drei Jahren einstellende Kapitalwert zeigt deutlich die Vorteilhaftigkeit einer Investition gegenüber der Entscheidung nicht zu investieren. Auf Grundlage eines internen Zinsfußes von 3% ergibt sich eine Internal Rate of Return (IRR) von 91% sowie eine Amortisationsdauer von 1,04 Jahren. Die IRR gibt dabei an, „mit wie viel Prozent sich das anlässlich einer Investition eingesetzte Kapital verzinst“. „Die Amortisationsdauer gibt die Zeit an, in der das eingesetzte Kapital zurück gewonnen wird“ [9]. An dieser Stelle sei jedoch erneut darauf hingewiesen, dass die beim Lieferanten anfallenden Kosten nicht in dieser Wirtschaftlichkeitsrechnung enthalten sind. Dennoch ist davon auszugehen, dass sich auch auf Lieferantenseite die SmartRack-Einführung rentieren würde, da auch dort wie bereits gezeigt ein großes Nutzenpotential vorhanden ist.

### **3.7.5 Fazit**

Unter Anwendung des SCOR-Modells auf die Prozessgegebenheiten beim Kunden und Lieferanten konnte in diesem Abschnitt verdeutlicht werden, welche Prozesse im Allgemeinen bzw. welche konkreten Vorgänge innerhalb dieser Prozesse im Speziellen durch den Einsatz von RFID-Technologie optimiert und dadurch effizienter gestaltet werden konnten. Selbstverständlich begünstigten die getroffenen Annahmen die zeitnahe Wirtschaftlichkeit des SmartRack- Gesamtsystems, dennoch sollte deutlich geworden sein, dass das vorhandene Potenzial je nach Anpassung der Prozesse sehr groß sein kann. Als ein möglicher Nachteil sei hier auf die Gefahr verwiesen, dass die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems in hohem Maße abhängig ist von der störungsfreien Funktionsfähigkeit der technischen Komponenten ist. Jedoch wurde auch gezeigt, dass simple und kostengünstige Hilfsmittel wie beispielsweise die Einführung des Check-Desks zu einer Steigerung der Sicherheit führen und dem System eine gewisse Redundanz verschaffen, um etwaige Fehler durch Mitarbeiter oder Betriebsstörungen abfangen zu können. Hinsichtlich der allgemeinen Realisierbarkeit von Projekten, die eine Einführung des SmartRack-Kleinteilregallagers betreffen, wurde ebenfalls aufgezeigt, an welche Rahmenbedingungen dies geknüpft ist. So ist es ein zentraler Vorteil für kleine Unternehmen, dass weder ein ERP-System vorhanden sein noch eine derartige IT-Infrastruktur geschaffen werden muss. Des Weiteren sind die entstehenden Kosten in benötigte Anlagen überschaubar. Als ebenfalls vorteilhaft kann die Tatsache betrachtet werden, dass die Lagerumgebung wie sie bisher Bestand hatte, bestehen bleibt, da hinsichtlich der Größe der Lageraufbauten selbst keine nennenswerten Veränderungen aufgetreten sind. Die Einführung von RFID in der Logistik, eingebettet in ein smartes Regallager wie das SmartRack, kann somit einen hohen Nutzen auch für kleinere Unternehmen darstellen und wird, kombiniert mit effizienten Konzepten bei der Lieferantenanbindung (z.B. VMI), ein noch größeres Potenzial bieten können.

#### 4 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Maßnahme	Ziel/ Weiterführende Informationen	Datum / Zeitraum
Übernahme der Ergebnisse in die aktuelle Lehre	Das IFL ist bestrebt, die Vorlesungen am aktuellen Stand der Forschung auszurichten. Bereits jetzt werden auch Erkenntnisse aus diesem Projekt in mehreren Vorlesungen z. B. in „Materialflusslehre“ oder in "Technische Logistik" automatische Identifikationstechnologien und ID-Techniken gelehrt.	seit Wintersemester 2009
Einbinden von Studenten in das Forschungsprojekt	Mit Hilfe von Seminar-, Studien- und Diplomarbeiten hatten Studenten die Möglichkeit sich genau mit dem Projekt Smart Rack auseinanderzusetzen und dieses durch Verbesserungsvorschläge weiterzuentwickeln.	seit Februar 2009 im halbjährlichen Turnus
Veröffentlichung im Internet	Neben dem SmartRack wurde gleichzeitig ebenso das CoffeeRack (vergelichbar mit SmartRack) entwickelt. Dies ist eine vereinfachte Variante des SmartRacks und dient dazu Erfahrungen im Betrieb zu sammeln, welche dann auf das SmartRack übertragen werden können. Dazu kann man sich auf der Institutsseite unter <a href="http://.coffeerack.ifl.kit.edu/">http://.coffeerack.ifl.kit.edu/</a> informieren.	seit Dezember 2009
Vorstellung der Ergebnisse im Institut	Mit Hilfe des Demonstrators können sich Interessierte über die Funktionsweise und über die Möglichkeiten des SmartRacks informieren. Dadurch ist es möglich, nicht nur die Bauweise des Regalsystems zu besichtigen, sondern auch im Selbstversuch die benutzerfreundliche Softwarelösung kennen zu lernen. Des Weiteren werden die Ergebnisse mit Hilfe von Postern im Institut veröffentlicht.	seit Oktober 2009
Publikationen der Ergebnisse auf Tagungen	Die in dem Forschungsvorhaben gewonnenen Ergebnisse werden in Form von Vorträgen und Publikationen der Wissenschaft und Praxis zugänglich gemacht. Beispiele für die Vorstellung des Smart Racks auf Messen oder Tagungen sind die Logimat 2009 und die WGTL Fachtagung im September 2009. Es folgte im April 2010 die Vorstellung des Demonstrators auf der Hannover Messe International 2010.	Seit 2009
Vorstellung der Ergebnisse für die Institutsmitarbeiter	Der Projektleiter informierte in regelmäßigen Abständen alle wissenschaftlichen Mitarbeiter über den aktuellen Stand des Forschungsthemas. Dies hat den Vorteil, dass alle Mitarbeiter über sämtliche Aktivitäten im Institut informiert sind und somit auf Veranstaltungen Industrievertreter auch über SmartRack informieren können. Desweiteren können dadurch neue Ansätze und Ideen besser untereinander ausgetauscht werden und diese eventuell durch Anpassungen in das SmartRack Konzept integriert werden.	Fortlaufend; das ganze Projekt begleitend
Veröffentlichung im Internet	Nach der Projektlaufzeit wird das Projekt Smart Rack auf unserer Institutshomepage vorgestellt. Somit sind Informationen allen Interessierten zugänglich.	September 2010
Beratungstätigkeit für KMUs durch die wissenschaftlichen Mitarbeiter des IFL's.	Da das Konzept Smart Rack KMUs kostengünstige, automatische und kontinuierliche Bestandserfassung ermöglicht, ist das IFL bestrebt diese Forschungsergebnisse interessierten Unternehmen in Form von Pilotprojekten zugänglich zu machen.	ab Anfang 2011

Wissenstransfer auf neue Problemstellungen	Die gewonnenen Erkenntnisse durch das Projekt Smart Rack können auf andere logistische Problemstellungen übertragen werden, da das Projekt Smart Rack nicht nur auf den Anwendungsbereich kleine, dezentrale Lagersysteme beschränkt ist.	ab Anfang 2011
Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und auf Tagungen	Die gewonnenen Erkenntnisse des Projektes Smart Rack werden in Fachzeitschriften z.B. Fördern und Heben, Logistik heute publiziert. Dabei werden die gewonnenen Informationen an die Fachzeitschriften eingereicht und nach erfolgreicher Prüfung in den Fachzeitschriften veröffentlicht. In der Ausgabe 2 /2010 von der Zeitschrift „Research to business“ befasst sich ebenfalls schon ein Artikel zum Projekt SmartRack Desweiteren wird das Projekt auch nach Ende der Projektlaufzeit auf Tagungen z.B. Materialflusskongress, WGTI-Kolloquium (wissenschaftliche Gesellschaft der Technischen Logistik) der interessierten Öffentlichkeit und dem Fachpublikum präsentiert.	ab Herbst 2010

Tabelle 8 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

## **5 Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)**

### **5.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse**

- in den Fachgebieten Automatisierungstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik sowie Betriebswirtschaft und Organisation.
- in den Wirtschaftszweigen Maschinenbau (29) und bei der Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen (72/74).
- Ebenfalls ist eine Nutzung in zusätzlichen Wirtschaftszweigen denkbar.

### **5.2 Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU**

Durch den Einsatz des SmartRacks können KMUs bei geringen Investitions- und Installationsaufwand eine höhere Datenintegrität realisieren. Dadurch können Bestände und Durchlaufzeiten reduziert werden und somit ein höherer Servicelevel bei geringeren Kosten erzielt werden. Dies ist eine entscheidende Voraussetzung für eine höhere Leistungsfähigkeit eines Unternehmens im Wettbewerb.

### **5.3 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende**

- *Wirtschaftliche/technische Erfolgsaussichten nach Projektende*

Für das SmartRack sind die technischen und wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach Projektende sehr gut. Ein Grund dafür ist das bereits getestete technische Konzept. Dieses funktioniert und kann somit relativ schnell in ein Unternehmen integriert werden.

Es wird davon ausgegangen, dass das Konzept ein Jahr nach Projektende in den ersten Unternehmen eingesetzt wird. Wirtschaftlich amortisiert sich der Einsatz des SmartRacks aufgrund der geringeren Betriebskosten schon nach ein paar Jahren.

- *Einschätzung der Finanzierbarkeit einer anschließenden industriellen Umsetzung*

Bei einer anschließenden industriellen Umsetzung des SmartRacks muss man zwischen zwei Situationen unterscheiden:

- Planung eines neuen Systems: Hier lohnt sich der Einsatz von SmartRack, da die Mehrkosten überschaubar sind und folglich eine kurze Amortisationsdauer vorliegt.
- Ersetzen eines bestehenden Systems: Die Amortisationsdauer ist folglich höher, da Smart Rack ein funktionierendes Konzept ersetzt. Somit fallen bei der Entscheidung für SmartRack Mehrkosten an, die nicht eingeplant waren. Jedoch lohnt sich die Investition trotzdem, da geringere Betriebskosten und ein höherer Servicegrad die Mehrkosten im Laufe der Jahre ausgleichen werden.

## **6 Durchführende Forschungsstelle**

Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL)  
Universität Karlsruhe (TH)  
Gotthard-Franz-Strasse 8  
76128 Karlsruhe

### **6.1 Leiter der Forschungsstelle**

Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans

### **6.2 Projektleiter**

Dr.-Ing Frank Schönung

### **6.3 Erläuterungen zum Einsatz des wissenschaftlichen Personals**

Für die erfolgreiche Fertigstellung des Projekts wurden folgende Personen eingesetzt (Anteil der Beschäftigung am Institut/ davon am Forschungsprojekt):

1. Dipl.-Ing. Peter Linsel
2. Dipl.-Wirt.-Ing. Dominik Berbig

Die Angemessenheit dieses Einsatzes ergibt sich aus der Tatsache, dass dieses hochinnovative Forschungsprojekt eine intensive Einarbeitungszeit voraussetzt. Aus diesem Grund wurde ein Mitarbeiter, Herr Linsel, mit entsprechendem Fachwissen in dieser Thematik für dieses Projekt eingesetzt und während der gesamten Projektlaufzeit nicht ausgetauscht. Weiter wurde zur Bearbeitung wirtschaftlicher Fragestellungen Herr Berbig kurzzeitig zum Projekt hinzugezogen. Die gesamten Ausgaben für wissenschaftliches Personal entsprachen dabei den Genehmigten. Somit entstanden und entstehen dem Letztzuwendungsempfänger keine finanziellen Vorteile sowie dem Zuwendungsgeber keine finanziellen Nachteile, die Kostenneutralität ist gewährleistet. Das gesamte Budget wurde in der vorgegebenen und bewilligten Zeit sowie in der vorgegebenen und bewilligten Höhe benötigt und verbraucht unter Maßgabe der sparsamen und zielgerichteten Verwendung der Fördermittel.

Grundsätzlich ist zu sagen, dass die geleistete Arbeit in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag entspricht und daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen war.

### **6.4 Erläuterungen zu Geräten mit einem Beschaffungswert über 2.500 €**

Im begutachteten und bewilligten Antrag wurden nachfolgende Geräte mit einem Beschaffungswert über 2.500 € genehmigt:

- 1-Industrie-PC
- Linaerachsen

Der Industrie-PC wurde im HHJ 2009 beschafft und diente zur Einrichtung, Versuchsdurchführung, zur Inbetriebnahme des Demonstrators sowie zur Demonstration des Demonstrators. Die Linearachsen wurden nicht beschafft, da im geplanten Beschaffungszeitraum des HHJ 2009 der Lieferant Lieferschwierigkeiten hatte. Aufgrund dieser Problematik und der Tatsache, dass kurze Zeit später vergleichbare Linearachsen aus einem anderen Forschungsprojekt unseres Hauses kurzfristig nicht mehr benötigt wurden, wurde entschieden, die genehmigten Linearachsen nicht mehr zu beschaffen und stattdessen die vorhandenen Linearachsen zu verwenden. Der bereits abgerufene Betrag wird auf das Konto der AiF zurück überwiesen.

---

Ort, Datum

---

Rechtsverbindliche Unterschrift des Leiters  
und Stempelabdruck  
der federführenden Forschungsstelle

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Prinzipieller Ablauf eines VMI Prozesses .....	6
Abbildung 2	Aufbau mit Punkt zu Punkt Kommunikation .....	7
Abbildung 3	Emissionen eines Elektromotors – 5 MHz bis 30 MHz .....	8
Abbildung 4	Emissionen eines Transformators - 0,1 MHz bis 5 MHz .....	8
Abbildung 5	Kommunikationsbereich System A .....	9
Abbildung 6	Kommunikationsbereich Testsystem B .....	9
Abbildung 7	Feldstärkeverlauf Testsystem A .....	10
Abbildung 8	Verlauf der magnetischen Feldlinien in verschiedenen Medien .....	10
Abbildung 9	ITU Normierung .....	13
Abbildung 10	Frequenzskalen .....	13
Abbildung 11	Aufbau des SmartRack .....	22
Abbildung 12	Durchlaufregal mit KLT .....	28
Abbildung 13	Schematische Darstellung eines RFID-Systems .....	29
Abbildung 14	Organisatorischer Aufbau des Systems SmartRack .....	31
Abbildung 15	Übersicht über die Kommunikationsschnittstellen .....	36
Abbildung 16	Schematische Darstellung eines Regalkanals .....	41
Abbildung 17	Übersicht der Auswahlkriterien des RFID-Systems .....	43
Abbildung 18	Benutzeroberfläche .....	45
Abbildung 19	Demonstrator .....	45
Abbildung 20	Beispiel des Anwendungsszenario .....	46
Abbildung 21	Prozesse und ihre Elemente aus Kundensicht .....	47
Abbildung 22	Beschaffung und Herstellung vor der Einführung von SmartRack .....	48
Abbildung 23	Beschaffung und Herstellung nach der Einführung von SmartRack .....	51
Abbildung 24	Kumulierte diskontierte Cashflows .....	55

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 RFID Frequenzbereiche.....	14
Tabelle 2 Getätigte Arbeitsschritte und erzielte Ergebnisse .....	21
Tabelle 3 Übersicht der Qualitätsanforderungen.....	39
Tabelle 4 Die einmaligen Projektkosten im Überblick.....	54
Tabelle 5 Die jährlich anfallenden Kosten im Überblick .....	54
Tabelle 6 Quantifizierte Nutzenpotenziale im Überblick.....	55
Tabelle 7 Wirtschaftlichkeit nach Kapitalwertmethode .....	55
Tabelle 8 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	58

## 9 Literaturverzeichnis

- Aim Inc. (Hrsg.). *Radiofrequenz-Identifikation RFID, Eigenschaften von RFID-Systemen*, Association for Automatic Identification and Mobility. Warendale, Pennsylvania, USA. 2000 Version 1.0 <http://www.kompetenzzentrum-autoid.de/contents/pdfs/RFIDCharacteristics.pdf> am 04.01.10
- Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H. & Furmanns, K. (2008). *Handbuch Logistik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 3. Auflage
- Arnold, D; Furmanns, K.: *Materialflusslehre*, Springer Verlagsgesellschaft, Berlin 2005
- Bachthaler, R.: *Auswahlkriterien für elektronische Datenspeicher*, Umschau-Verlag, Frankfurt a.M. 1997
- Balzert, Dr. H. *Lehrbuch der Software-Technik*. Spektrum. Akademischer Verlag. Heidelberg 1996
- Bretzke, Dr. W.-R. *Supply Chain Management. 7 Thesen zur zukünftigen Entwicklung logistischer Netzwerke*. Vortrag gehalten auf der GOR Tagung in St. Leon/Rot 2007 Veröffentlichung der Folien im Internet unter <http://www.winfo.tu-bs.de/projekte/snIm07/bretzke.pdf>
- Burk, B.: *Untersuchung eines Mikrowellensensors zur Ortung fahrerloser Transportsysteme*, Stuttgart 1994
- Chun, E.: *EMV in Anlagen und Gebäudeinstallationen*, VDE-Verlag, Berlin 1998
- Czarnecki, S.: *Analytische Betrachtung realer Kommunikationsbereiche von Identifikationssystemen mit elektronischen Datenträger*, Diplomarbeit, Karlsruhe 1996
- Dittmann, L.: *Der angemessene Grad an Visibilität in Logistik Netzwerken: die Auswirkungen von RFID*. Dt. Universitäts Verlag, Wiesbaden 2006
- Dillmann, R.; Rembold, U.; Lüth, T.: *Autonome Mobile Systeme* 1995, Springer-Verlag, Heidelberg 1995
- DIN EN 61000-4-8: *Prüfung der Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen*, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1994
- DIN 50082-2: *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV): Fachgrundnorm Störfestigkeit Teil 2: Industriebereich*, Berlin 1996
- DIN 69901. *Projektmanagement – Projektmanagementsysteme- Teil 5: Begriffe*, Deutsches Institut für Normung, Berlin 2009
- Fery, P.: *Ein analytisches Modell zur Bestimmung des Kommunikationsbereichs induktiver Identifikationssysteme*, Karlsruhe 1999
- Finkenzeller, K. : *RFID-Handbuch*, Hanser-Verlag, München. 5. Auflage 2008
- Gartner Technology Business Research Insight. 2008 <http://www.gartner.com/technology/home.html> am 20.1.10
- Gutsche, R.: *Fahrerlose Transportsysteme*, Vieweg Verlag, Wiesbaden 1994
- Hering, E.: *Handbuch der Elektrischen Anlagen und Maschinen*, Springer, Heidelberg 1999
- Heydrich, E.: *Theoretische und experimentelle Charakterisierung der polarimetrischen Strahlungs- und Streueigenschaften von Antennen*, Uni Karlsruhe (IHE), Karlsruhe 1992
- Hock, A.; Tscharmi, A.: *Antennenpraxis*, Expert-Verlag, Renningen 1995
- Hoppen, P.: *Autonome Mobile Roboter*, BI Wissenschaftsverlag, Mannheim 1992

- Horn, J.: *Bahnführung eines mobilen Roboters mittels absoluter Lagebestimmung durch Fusion von Entfernungsbild und Koppelnavigationsdaten*, VDI-Verlag, Düsseldorf 1997
- IN EN 13199. *Verpackung – Kleinladungsträgersysteme- Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren*. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2000
- Jacob, T. (o. J.). *Warehouse Management System*. [www.lagersystem.net/warehouse-management-system.php](http://www.lagersystem.net/warehouse-management-system.php) am 26.12.2009
- Jünemann, R.: *Identifikationstechnologien - Ein Wegweiser durch die Praxis*, Umschau Zeitschriftenverlag, Dortmund 1997
- Kern, C. . *Anwendung von RFID-Systemen*. Berlin ; Heidelberg 2006
- Laloni, C.: *Globales Monitoring System zur Steuerung und Überwachung FTS in Fabrikationsumgebungen*, Braunschweig 1996
- Lampe, M., Flörkemeier, C., Haller, S.. *Einführung in die RFID Technologie*. 2005 <http://www.vs.inf.ethz.ch/res/papers/mlampe-rfid-2005.pdf> am 04.01.10
- Landesanstalt für Umweltschutz: *Elektrische und magnetische Felder im Alltag*, Karlsruhe 1998
- Lehrstuhl für Softwaretechnik: Prof. Dr. Helmut Balzert, <http://www.swt.rub.de> am 3.1.2010/
- Pischeltstrieder, K.: *Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion*, Springer Verlag, Berlin 1996
- Reuter, G.: *Experimentelle Untersuchung der Wirkung von Umgebungseinflüssen auf das Betriebsverhalten von Identifikations- und Kommunikationssystemen mit elektronischen Datenträgern*, Karlsruhe 1994
- Schulte, C. (2005). *Logistik. Wege zur Optimierung der Supply Chain*. Franz Vahlen, München
- Stirner, E.: *Antennen*, Band 1-3, 2.Auflage, Hüthig Verlag, Heidelberg 1984
- Straube, F. (Hrsg.) (2009). *RFID in der Logistik – Empfehlungen für eine erfolgreiche Einführung*. Universitätsverlag der Technischen Universität Berlin, Berlin
- Strunz, U.: *Umgebungsmodellierung und sensorgestützte Navigation für mobile Roboter*, Aachen 1993
- VDE-00b, *Verein Deutscher Elektrotechniker: Norm EN 55011 (VDE 0878 Teil 11)*, Beuth Verlag, Berlin 2000
- VDE-00c, *Verein Deutscher Elektrotechniker: Norm EN 55022 (VDE 0878 Teil 22)*, Beuth Verlag, Berlin 2001
- VDE-94, *Verein Deutscher Elektrotechniker: EMV-Norm EN 61000-4-3 (VDE 0847 Teil 4-3)*, Beuth Verlag, Berlin 1994
- VDE-97, *Verein Deutscher Elektrotechniker: EMV-Norm EN 61000-4-8 (VDE 0847 Teil 4-8)*, Beuth Verlag, Berlin 1997
- REU-94, Reuter, G.: *Experimentelle Untersuchung der Wirkung von Umgebungseinflüssen auf das Betriebsverhalten und Identifikations- und Kommunikationssystemen*, Dissertation am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme, Karlsruhe 1994
- FER-99a, Fery, P.: *Ein analytisches Modell zur Bestimmung des Kommunikationsbereichs induktiver Identifikationssysteme*, Dissertation am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme, Karlsruhe 1999

- FER-99b, Fery, P.; Arnold, D.: *RFID-Lösungen effizient planen*, Fachzeitschrift *ident*, Wiesbaden 1999
- KAL-96, Kalliomäki, K.; Moilanen, M.; Elsilä, M.: *RF-Identification Antennas in vehicles*, Verlag *Praxiswissen*, Dortmund 1996
- DIN-00, Dinnyés, C.; Kulcsár, B.: Experimentelle Untersuchung von induktiven RFID-Systemen, Fachzeitschrift *ident*, Wiesbaden 2000
- FIN-99, Finkenzeller, K.: *RFID-Handbuch*, Hanser-Verlag, München 1999
- VDI 2519. (2001). Lasten-/Pflichtenheft für den Einsatz von Förder- und Lagersystemen, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf