

„RFID - Systematische Versuche für den zuverlässigen Einsatz in der Logistik“

PROF. DR.-ING. KARL-HEINZ WEHKING,
 DIPL.-LOGIST. ANDRÉ SIEPENKORT
 INSTITUTS FÜR FÖRDERTECHNIK UND LOGISTIK (IFT), UNIVERSITÄT STUTTGART

DR.-ING. KLAUS-PETER RAHN
 GESCHÄFTSFÜHRER „FIFL GMBH“, ANINSTITUT DES INSTITUTS FÜR FÖRDERTECHNIK UND LOGISTIK

Zusammenfassung

Mit zunehmender Komplexität und Vielfalt der Logistikprozesse steigt der Stellenwert der eingesetzten Informationstechnologien. Die den Warenfluss begleitenden bzw. vorhereilenden Informationen sind erforderlich, um Waren identifizieren und Unternehmensressourcen optimal einsetzen zu können. Als Beispiel ist der klassische Wareneingang zu nennen. Durch die Avisierung von Menge und Art eingehender Waren können der Einsatz des Personals zur Entladung und Vereinnahmung sowie die erforderlichen Ressourcen (Ladehilfsmittel, Flurförderzeuge, usw.) im Vorfeld geplant und bereitgestellt werden. Der Informationsfluss ist demnach als Qualitätsmerkmal und als Wirtschaftlichkeitsfaktor zu verstehen. Die Schnittstelle zwischen dem physischen Warenfluss und dem Informationsfluss auf EDV-Basis bildet die Identifikationstechnologien. In der Industrie verbreitete Identifikationstechnologien bestehen in der Regel aus einem Datenträger und einem Erfassungsgerät. Der Datenträger ist am physischen Objekt fixiert. Das Erfassungsgerät liest die auf dem Datenträger befindlichen Objektinformationen und wandelt sie in einen Binär-Code um, der durch nachgelagerte EDV weiterverarbeitet wird.

Die momentan in der Industrie und im Handel am häufigsten verwendete Identifikationstechnologie ist der Barcode. In den letzten Jahren tritt die RFID-Technologie in den Fokus der Industrie und des Handels im Bereich Materialfluss und Logistik. Unter „Radio Frequency Identification“ wird die Kommunikation per Funkwellen zwischen Datenträger (Transponder) und Lesegerät verstanden.

Mittels der RFID-Technologie ist der Anwender, im Gegensatz zum Barcode, in der Lage, Informationen auf dem Transponder ohne Sichtkontakt zu erfassen. Eine Ausrichtung der einzelnen Artikel ist nicht erforderlich.

Zudem können auf bestimmten Transpondertypen weitaus größere Datenmengen als auf einem Barcode hinterlegt werden. Transponder mit hoher Speicherkapazität eignen sich in der Regel, um die auf ihnen hinterlegten Daten bei Bedarf aktualisieren zu können. Eine dezentrale Datenorganisation ist realisierbar.

Ein weiterer Vorteil der RFID-Technologie ist die Möglichkeit, mehrere Datenträger im Bruchteil einer Sekunde zu erfassen. In diesem Fall spricht man von einer Pulkerfassung. Diese Eigenschaft ist besonders im Bereich Warenein- und -ausgang von Interesse. Durch RFID ist es möglich, Ladeeinheiten, z. B. Paletten mit Waren, durch einen Antennenbereich zu fördern, und die mit Transpondern versehenen Artikel zu identifizieren und in die EDV zu übertragen.

Neben der Funktionalität einer solchen Technologie steht in der Industrie vor allem die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Transponder sind heute teurer als Barcodes. Zudem müssen Investitionen in die für den Betrieb von RFID erforderliche Hard- und Software einkalkuliert werden. Daher muss der Einsatz der RFID-Technologie Einsparungen durch die Reorganisation der Unternehmensprozesse nach sich ziehen.

Ein Schwachpunkt der RFID-Technologie ist momentan je nach Anwendung die mangelnde Zuverlässigkeit und Wiederholgenauigkeit bei Pulklesungen. Die Industrie und der Handel brauchen Identifikationstechnologien, deren Erfassungsraten im Bereich nahe 100 % liegt. Die Gefahr besteht darin, dass durch ein unzuverlässiges RFID-System unvollständige bzw. fehlerhafte Datensätze erzeugt werden können. Die Korrektur der Daten kann teurer sein als die durch die Reorganisation der Prozesse mittels RFID erzielten Einsparungen.

Die Erfassungsrate der Transponder bei Pulkerfassungen wird durch mehrere Faktoren beeinflusst, die im Folgenden detailliert dargestellt werden. Das Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) in Stuttgart untersucht mögliche Einflussgrößen auf die Erkennungsraten bei Pulkerfassungen. Mit den gewonnenen Erkenntnissen sollen mögliche Schwachstellen bei der Erkennung mehrerer Transponder im Vorfeld einer Implementierung in die Logistikprozesse eines Unternehmens eliminiert werden.



Abbildung 1: RFID-Versuchsstand des IFT / Stuttgart

Abstract

With increasing complexity and variety of the logistics processes the significance of the used information technologies increases. The information accompanying the material flow is necessary in order to be able to identify goods and to be able to use corporate resources optimally. The classical goods entrance is to be mentioned as an example. The notification of amount and kind of incoming goods can be used for previously planning and providing of the personnel and necessary resources. The flow of information is to be understood accordingly as a high-quality feature and as an economic efficiency factor.

The identification technologies form the interface between the physical material flow and the flow of information on EDP-basis. Common identification technology in the industry consists of a storage medium and an acquisition device. The storage medium is fixed at the physical object. The acquisition device reads the object information contained on the storage medium and converts it into a binary-code which is relayed to subordinate EDP.

The currently in the industry and on the market most frequently identification technology used is the barcode. In the last years the RFID-technology is focused by industry and retail. Radio Frequency Identification stands for the communication by radio waves between storage medium and reading device.

Unlike the bar code, RFID user can read information without visual contact. A direction of the single articles is not necessary.

Furthermore on certain transponder types larger amounts of data can be recorded than on a bar code. Transponders with high storage capacity are able to update the data set on them if required. A decentralised data organisation is realisable.

A further advantage of the RFID-technology is the possibility to acquisition several data mediums in the fraction of a second. In this case bulk capturing is mentioned. This property is especially interesting in the field of goods receipt and goods issue. For example, with RFID the user has the possibility to convey pal-

ettes with goods through an antenna field, to identify the articles and to render into the EDV in the fraction of a second.

Next to the functionality of such technology particularly the economic efficiency stands to the fore in the industry. Transponders are today more expensive than bar codes. Furthermore the company have to calculate investments in the necessary RFID hardware and software. Therefore the use of the RFID-technology must involve savings through the reorganisation of the business processes.

Currently a weak point of RFID is according to application the lacking reliability and repetitive accuracy of bulk capturing. The industry and the retail need identification technologies whose acquisition rate lies close to 100%. The danger consists, that unreliable RFID-systems can collect incomplete and/or faulty data. The correction of the data can be more expensive than the savings achieved by the reorganisation of the processes by using RFID. The acquisition of the transponders at bulk captures is influenced by several factors which are represented in the following text about experimental series detailed. The Institute for conveyor technique and Logistics in Stuttgart / Germany examines possible actuating variables for the acquisition rate in the case of bulk captures. With the won findings possible weak points with the acquisition of several transponders previously of an implementation into the logistics processes of an enterprise are supposed to be eliminated.

1. RFID-Versuchsstand am Institut für Fördertechnik und Logistik

Das Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) in Stuttgart verfügt über einen RFID-Versuchsstand (siehe Abbildung 1: RFID-Versuchsstand des IFT / Stuttgart). Der Aufbau besteht aus einer Förderstrecke von ca. 9 m Länge. Die Fördergeschwindigkeit der Anlage beträgt $0,5 \text{ m/sec}$. Es können Ladeeinheiten mit einem Gewicht von bis zu 300 kg geprüft werden. In der Mitte der Förderstrecke sind beidseitig jeweils eine Rahmenantenne für den Frequenzbereich 13,56 MHz sowie je zwei Antennen für den Bereich 868 MHz montiert. Bei den Versuchsreihen werden Transponder, Antennen & Reader von Herstellern aus dem oberen Qualitätssegment verwendet. Bei den Versuchsreihen wird Hardware (Transponder, Antennen & Reader) von Herstellern aus dem oberen Qualitätssegment verwendet. Da die Versuche unter Realbedingungen durchgeführt werden, werden keine Hardware-Prototypen, sondern auf dem Markt erhältliche Komponenten geprüft. Die Transponder entsprechen dem Stand der Technik von 2005 (13,56 MHz) bzw. 2006 (868 MHz). Die Antennen und Reader entsprechen dem technischen Stand von 2004.

Durch den rasanten Schub der Entwicklung im Bereich der RFID-Technologie wird somit ein Stand der Technik beschrieben, der aufgrund neuester Informationen in Bezug auf Lese- und Schreibgenauigkeit nicht den heutigen Stand der Technik repräsentiert. Ziel der Darstellung ist das Aufzeigen der Methodik zur Ermittlung der Parameter, der Einstellungen und Reproduzierbarkeit der Versuche.

Durch die Installation der Fördertechnik sind Dauerversuche möglich, die den exakten Bedingungen des Industrieinsatzes entsprechen. Um statistisch abgesicherte Versuchsergebnisse zu erhalten, werden die verschiedenen Versuchsreihen mit jeweils 10.000 Zyklen durchgeführt. Unter einem Zyklus werden das Durchfahren einer Ladeeinheit durch den Antennenbereich und der dazugehörige Auslesevorgang verstanden.

Zur Kommunikation zwischen Leseinheit und Datenträger werden in Europa 4 Frequenzbänder verwendet. Der Niederfrequenzbereich (NF, 125-135 kHz), der Hochfrequenzbereich (HF, 13,56 MHz), der Ultrahochfrequenzbereich (UHF, 868 MHz) sowie der Mikrowellenbereich (MW, 2,45 GHz). Auf dem beschriebenen Versuchsstand des IFT werden die Frequenzen 13,56 MHz und 868 MHz zur Pulkerfassung eingesetzt.

Die verwendeten Funkfrequenzen unterscheiden sich in ihren Eigenschaften. Generell sind RFID-Systeme mit der Arbeitsfrequenz 868 MHz in der Lage, höhere Datenübertragungsraten als HF-Systeme zu erzielen. Dieses hängt mit der ca. 65-mal höheren Frequenz zusammen. Durch Phasenmodulation können mehr Informationen über die kurzweilige Frequenz pro Zeiteinheit übermittelt werden als bei einer Arbeitsfrequenz von 13,56 MHz. Durch die höhere und somit energiehaltigere Frequenz sind die mit 868 MHz-Transpondern erzielten Reichweiten größer als bei HF-Transpondern.

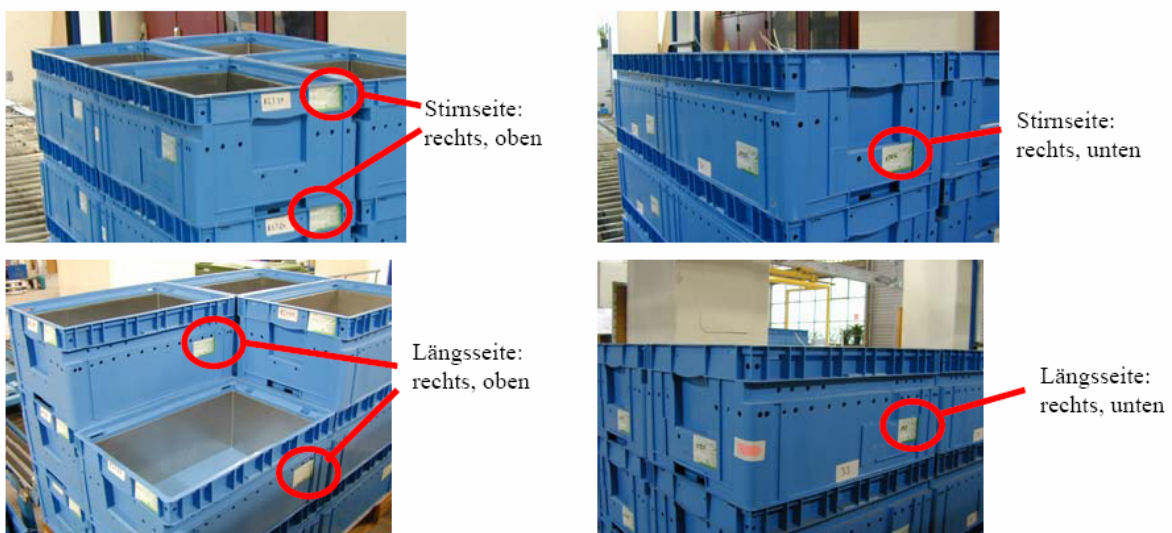
Vorteilhaft ist bei einer Arbeitsfrequenz von 13,56 MHz, dass die Funkwellen feste Materialien besser durchdringen können als kürzer wellige 868 MHz-Frequenzen. Die Erfassungsraten von Transpondern, die durch Material abgeschirmt sind, sind daher mit 13,56 MHz in der Regel höher. Sollen große Datenmengen gespeichert werden, bieten sich 13,56 MHz-Transponder an. Die auf dem Markt erhältlichen 868 MHz-Tags weisen in der Regel heute noch deutlich geringe Datenspeicher auf.

Als Versuchsaufbau am IFT dienen zwölf Kleinladungsträger (KLT; 600 x 400 mm), die in drei Lagen auf einer Euro-Palette mit den Abmaßen 1.200 x 800 mm gestapelt sind. Kleinladungsträger sind vom VDA (Verband der Deutschen Automobilindustrie) genormte Ladungsträger, von denen in Europa etwa 30 Millionen Stück zur Aufrechterhaltung der Transportkette vom Zulieferer und Automobilbauer im Umlauf sind (siehe Abb. 2). Prinzipiell kann an jeder Seite der KLT ein Transponder angebracht sein. Das bedeutet bei zwölf KLT pro Palette insgesamt 48 Transpondern pro Ladeinheit.



Abbildung 2: Kleinladungsträger (KLT) in 3 standardisierten Größen

Bei den Versuchsreihen werden zwei Typen von Ladeeinheiten verwendet. Die Ladeeinheiten unterscheiden sich in der Anbringungshöhe der Transponder an den Stirn- und Längsseiten der KLT. Bei einer Einheit sind die Datenträger im nestbaren Bereich, also dem oberen Rand, des KLTs befestigt (Transponderposition 1). Bei der zweiten Ladeeinheit (Transponderposition 2) sind die Transponder in mittlerer Höhe angebracht. Die Datenträger liegen somit auf einer Höhe mit dem jeweiligen Füllstoff des KLTs (siehe Abb. 3).



**Abbildung 3: Positionierung der Transponder an KLT
(links: Transponderposition 1; rechts: Transponderposition 2)**

Anhand der Versuchsreihen sollen Parameter identifiziert werden, die die Pulkerfassung von Transpondern beeinflussen. Ziel ist es, dass alle Transponder einer Ladeeinheit zuverlässig, d. h. mit einer Erfassungsrate von möglichst 100 %, erkannt werden.

Im Fokus der Versuchsreihen stehen dabei folgende Parameter:

- Systemfrequenz
- Datenmenge
- Art und Anzahl der Transponder im Lesefeld
- Ausrichtung und Position der Transponder untereinander
- Ausrichtung und Position der Transponder im Antennenfeld
- Art, Menge und Verteilung kritischer Materialien wie Metall und Wasser am gelabelten Objekt

Bei den durchgeführten Versuchsreihen werden unterschiedliche Versuchsbedingungen zur Ermittlung der optimalen Bedingungen überprüft. Dieses geschieht vor dem Hintergrund, die Unterschiede der verschiedenen Parametereinstellungen des RFID-Systems quantitativ darstellen zu können.

Das Institut für Fördertechnik und Logistik schließt mit den durchgeführten Versuchsreihen eine Lücke in der RFID-Forschung. Bislang existieren - soweit bekannt - keine Veröffentlichungen über Dauerversuche im Bereich RFID-Pulkerfassung.

2. RFID-Versuche am Institut für Fördertechnik und Logistik

2.1. Vorversuche – Montage und Einrichtung

Vor Beginn der Versuchsreihen sind Justier- und Kalibrierarbeiten erforderlich. Zur Montage und Ausrichtung der 13,56 MHz-Antennen (siehe Abb. 4) werden zunächst beide Rahmenantennen unter Berücksichtigung der herrschenden Umwelteinflüsse ausgerichtet und eingestellt. Dafür wird der automatische Abgleichmodus der Antennenanlage aktiviert. Sind beide Antennen einzeln auf die Umwelteinflüsse angepasst, werden die Signale beider Antennen aufeinander abgestimmt. Hierzu werden zwei Messantennen mittig in den Antennenringen positioniert (siehe Abb. 5). Die Messsignale werden mittels eines Oszilloskops visualisiert (siehe Abb. 6). Um einen zuverlässigen Betrieb der Anlage zu gewährleisten, darf die Amplitudendifferenz max. 30 % betragen. Der Phasenwinkel, also der zeitliche Versatz der Signale, soll bei $90^\circ \pm 10^\circ$ laut Hersteller liegen. Die Amplitudendifferenz ist minimal und der Phasenwinkel beträgt 90° (siehe Abb. 6).



Abbildung 4: RFID-Versuchsstand des IFT / Stuttgart

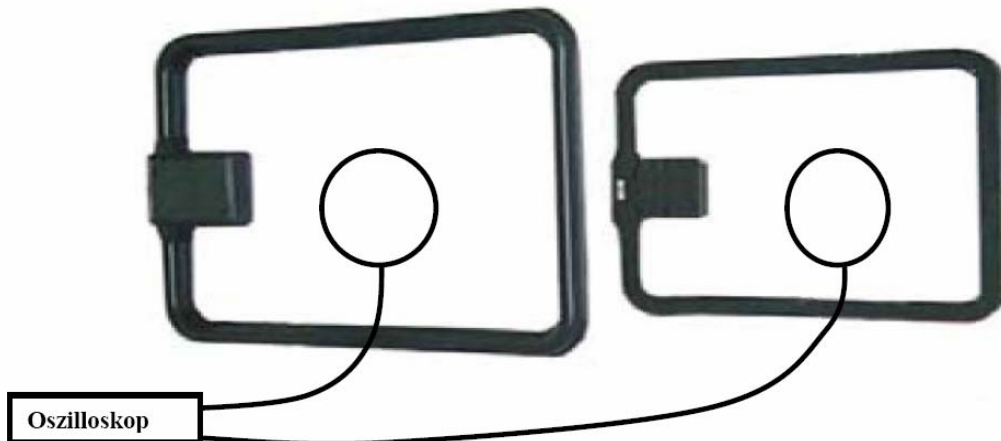


Abbildung 5: Basis- und Ergänzungsantenne mit prinzipiellem Messaufbau zur Signalabgleichung

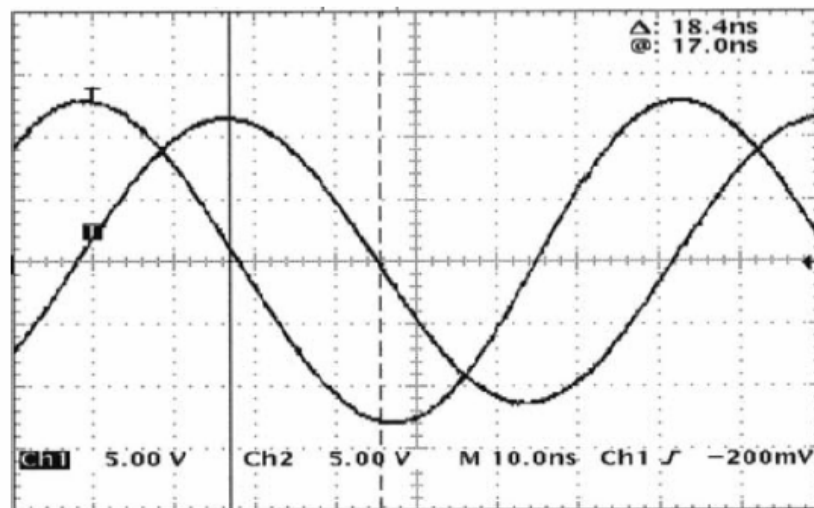


Abbildung 6: gemessenes Signal der Antennenanlage

Zur Optimierung der Anlage werden die beiden folgenden Parameter nacheinander variiert:

- Time-Slot-Anzahl in der Antikollisionsbehandlung
Von einer Transponder-Kollision spricht man, wenn sich mehrere Transponder gleichzeitig auf eine Abfrage des Lesesystems (Reader) melden. Bei einer Kollision können die Kontaktversuche getriggert werden, d. h. die Kontaktaufnahme erfolgt in mehreren aufeinander folgenden Zeitintervallen, bis keine Kollision mehr auftritt. Die Anzahl dieser Abschnitte (Time-Slots) kann erhöht werden.
- Anzahl der Re-Readversuche
Die Anzahl der Re-Readversuche während eines Lesezyklus entspricht der Wiederholhäufigkeit der Kontaktversuche bei Abbruch des Signalkontakts. Bricht während der Kommunikation zwischen Reader und Transponder die Verbindung ab, kann die Anzahl der Versuche zur wiederholten Kontaktaufnahme wiederholt werden.

Die Optimierung der Parameter zeigt, dass die Variation der Time-Slots-Einstellungen eine Verbesserung der Erkennungsrate der Transponder zur Folge hat. Die Erhöhung der Re-Readversuche bringt keine messbaren Veränderungen.

2.2. Vorversuche – Bestimmung der Leseleistung und Versuchsanordnung

Zu Beginn der Pulkerfassungsversuchsreihen steht die Frage, welche Leseleistung das verwendete RFID-System aufweist. D. h. wie viele Transponder können maximal bei der Durchfahrt eines Objekts durch den Lesebereich der 13,56 MHz-Antennen erfasst werden.

Zunächst wird die maximale Transponderanzahl rechnerisch ermittelt. Zur Berechnung sind die Fördergeschwindigkeit des Rollenförderers sowie die Distanz zwischen dem ersten und letzten Transponder in Förderrichtung von Bedeutung. Aus diesen beiden Parametern resultiert die Verweildauer der Transponder im Lesebereich der Antenne. Mit Angaben über die Übertragsdatenmenge des Lesesystems pro Zeiteinheit sowie die zu erfassende Datenmenge pro Transponder wird die maximale Datenträgeranzahl pro Zeitperiode berechnet:

$$Transponder_{\max} = \frac{\text{Transponderentfernung}_{\max} \left[\frac{m}{\text{sec}} \right]}{\text{Fördergeschwindigkeit} \left[\frac{m}{\text{sec}} \right]} * \frac{\text{Übertragungsdatenmenge pro Zeiteinheit} \left[\frac{\text{bit}}{\text{sec}} \right]}{\text{Datenmenge pro Transponder} \left[\frac{\text{bit}}{\text{Transponder}} \right]}$$

Ergebnis der Berechnung ist, dass mit dem verfügbaren Versuchsstand bei einem maximalen Abstand zwischen den Transpondern von 1.200 mm, dieses entspricht einer Euro-Palette, 95 Transponder erfasst werden können. Nach der theoretischen Ermittlung der maximal erfassbaren Transponderanzahl wird ein 1.200 mm langes und 800 mm hohes Holzbrett mit 100 Transpondern präpariert. Die Transponder sind auf einer Seite des Bretts längsorientiert zur Längsseite des Bretts angebracht.

Das Brett wird hochkant auf einer Euro-Palette fixiert (vgl. Abb. 7) und der Aufbau auf dem Versuchsstand geprüft. Die Transponder werden bezüglich ihrer Anordnung 2-dimensional durch das Lesefeld der Antenne gefördert. Es wurden 95 Transponder zuverlässig, d. h. zu 99,53 %, erfasst. Bei den restlichen 0,47 % der Lesungen wurden zwischen 91 und 94 Transponder erkannt.

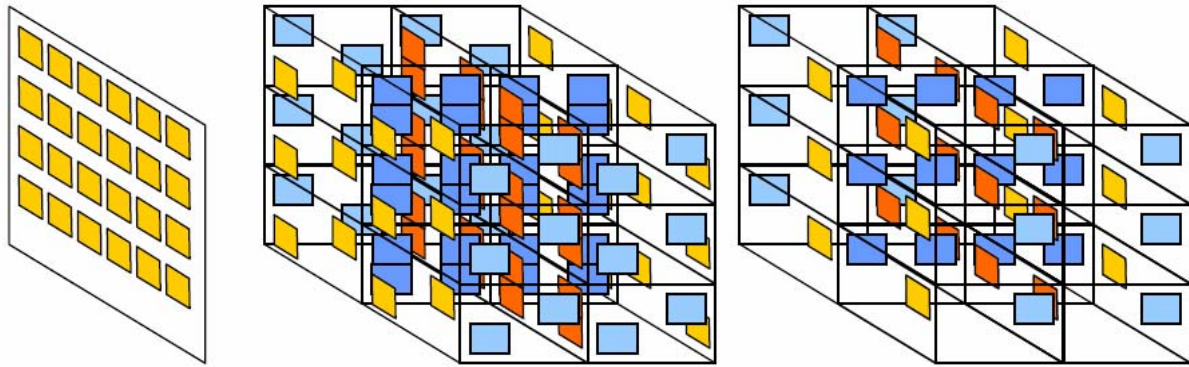


Abbildung 7: 2-dimensionale Anordnung von 100 Transpondern im Antennenfeld

Nach der 2-dimensionalen Anordnung der Transponder im Lesefeld der Antenne wird geprüft, ob eine 3-dimensionale Anordnung Auswirkungen auf die Erkennungsrate der Transponder bei Pulkerfassungen hat. Hierzu werden Kleinladungsträger (KLT) an allen vier Seitenwänden mit Transpondern versehen und zu einer Ladeeinheit zusammengefasst. Insgesamt umfasst die Ladeeinheit zwölf KLT á 8 Transponder, d. h. in Summe 96 Datenträger (siehe Abb. 8). Beim Test der 96 Transponder in räumlicher Anordnung reduziert sich die Anzahl der erfassten Datenträger. Bei lediglich 86,98 % der Lesungen wurden alle 96 Transponder erfasst. Bei 11,43 % der Zyklen wurden 95 Transponder erfasst.

Tests mit Variationen des Versuchsaufbaus, z. B. dem Ersetzen einzelner Stapellagen durch KLT ohne Transponder und das Durchtauschen der Stapellagen von oben nach unten, ergeben, dass weder die KLT einen negativen Einfluss auf die Erkennungsraten hat, noch dass Transponder beschädigt wurden.

Die Berechnung der maximal erfassbaren Transponderanzahl durch den Versuchstand des IFT wird durch die durchgeführten Tests bestätigt. Auffällig bei den Testreihen mit räumlicher Transponderanordnung ist, dass die unzuverlässig erfassten Transponder an den Stirnseiten der KLT bzw. an den inneren Längsseiten der KLT zu finden waren. Die an den äußeren Längsseiten der KLT positionierten Datenträger wurden zu 100 % erfasst. Für die Verschlechterung der Erkennungsraten bei Wechsel von der 2-dimensionalen Anordnung zum KLT – Versuchsaufbau ist demnach die räumliche Ausrichtung verantwortlich.



**Abbildung 8: schematische Darstellung der unterschiedlichen Transponderanordnungen
(2-dim., 95 Transponder; 3-dim., 96 Transponder; 3-dim., 48 Transponder)**

Neben der Leseleistung des RFID-Systems für zuverlässige Transpondererfassung, spielt auch die räumliche Anordnung der Transponder eine wesentliche Rolle. Es können drei Ursachen für die Reduzierung der Transponder bei räumlicher Anordnung ausgemacht werden. Zum einen die Orientierung der Transponder zum Antennenfeld. Beim 2-dimensionalen Versuchsaufbau waren die Transponder optimal d. h. orthogonal zu den Feldlinien des Antennenfeldes ausgerichtet (siehe Abb. 9). Bei der 3-dimensionalen Anordnung waren die Transponder durch die Positionierung an den KLT parallel bzw. orthogonal zueinander angeordnet (siehe Abb. 9). Dadurch könnten Transponder durch den Verlauf des Antennenfeldes nicht bzw. nur unzureichend mit Energie versorgt werden. Sie konnten ihre Identifikationsnummer nicht senden und somit nicht erkannt werden.

Zum anderen war es besonders an den Innenseiten der KLT möglich, dass die Distanz zwischen zwei parallel angeordneten Transpondern zu gering war. Liegen zwei Transponder zu nahe nebeneinander bzw. aufeinander, ist eine eindeutige Identifizierung beider Datenträger nicht möglich. Auch dieses hängt mit der unzureichenden Versorgung des Transponders mit Energie zusammen.

Des Weiteren ist der Abstand der Transponder zur Antenne zu beachten. Die Transponder im 2-dimensionalen Versuchsaufbau sind alle in einer Ebene mit einem einheitlichen Abstand zur Antenne angebracht. Bei der räumlichen Antennenanordnung hingegen ist nicht nur die Orientierung der Transponder innerhalb des Antennenfeldes unterschiedlich, sondern auch der jeweilige Abstand zur Antenne. Mit steigender Entfernung zwischen Transponder und Antenne nimmt die Feldstärke des Antennenfeldes ab. In Verbindung mit einer ungünstigen Ausrichtung des Transponders zu den Feldlinien des Antennenfeldes ist eine unzureichende Energieversorgung des Datenträgers erklärbar.

Als Maßnahme wird die Transponderanzahl pro Ladeinheit auf 48 Datenträger reduziert. Die daraufhin durchgeführten Pulkversuche haben eine zuverlässige Erfassung aller Transponder zur Folge. Die weiteren Versuchsreihen werden daher mit 48 Transpondern pro Ladeinheit durchgeführt.

Die Versuche mit räumlicher Anordnung der Transponder werden in Abbildung 8 dargestellt. Die mittlere Grafik entspricht der Versuchsreihe mit 96 Transpondern, die rechte zeigt die Anordnung bei 48 Transpondern.

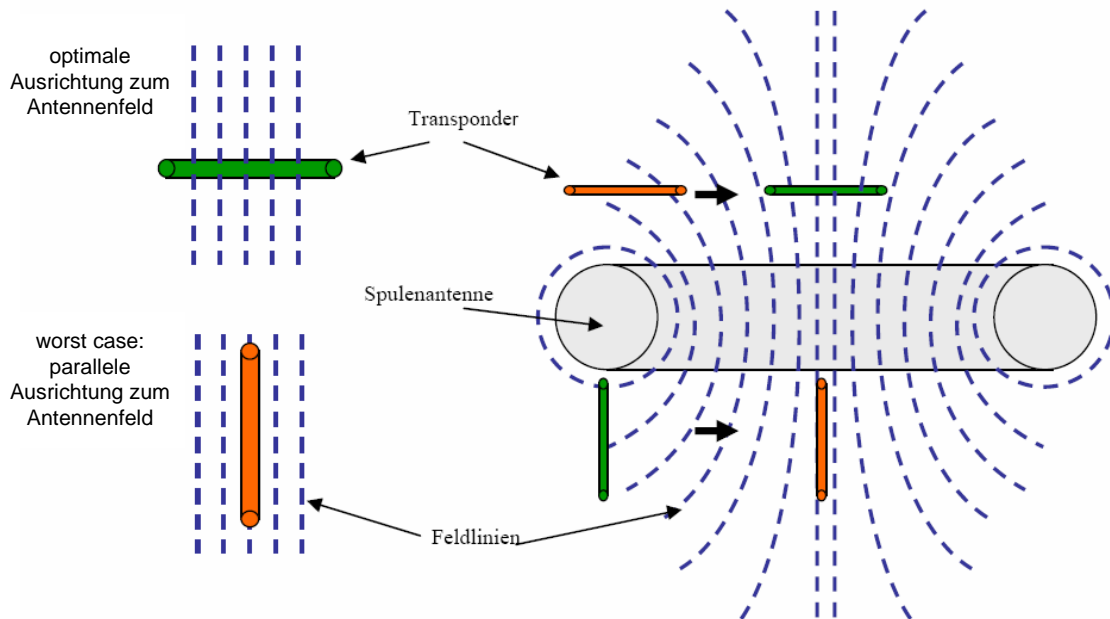


Abbildung 9: Ausrichtung der Transponder zu den Feldlinien des Antennenfeldes (13,56 MHz)

Nach den erläuterten Versuchsreihen kann ein erster Parameter identifiziert werden, der die Erkennungsrate bei Pulkerfassungen beeinflusst. Die Lage der Transponder im Antennenfeld ist für die Pulkerfassung von Bedeutung. Hierbei ist im Frequenz-Bereich 13,56 MHz eine Ausrichtung der Transponder zur optimalen Energieversorgung anzustreben. D. h., die Längsachse der Transponder soll orthogonal zur Ausbreitungsrichtung der Antennenfeldlinien verlaufen (siehe Abb. 9, Grafik oben links). Inwieweit die Orientierung von UHF-Transpondern im Antennenfeld für die Pulkerfassung ist, wird in nachfolgenden Versuchsreihen beschrieben.

Im nächsten Schritt werden zwei weitere mögliche Einflussgrößen untersucht. Zum einen werden die Auswirkungen verschiedener KLT-Inhaltsstoffe auf die Erkennungsraten geprüft. Es werden folgende Stoffe geprüft:

- Aluminium (siehe Abb. 10)
- Stahl
- Wasser
- Spanholzplatten
- **Mitteldichtefaser-Platten (MDF)**

Zudem wurden Referenzversuchsreihen mit leeren KLT durchgeführt.

Um die verschiedenen Stoffe prüfen zu können, wurden L-Profile aus den Metall- und Holzwerkstoffen angefertigt. Pro Behälter werden zwei L-Profile formschlüssig mit den Seitenwänden auf die Nutzfläche des KLT gestellt (siehe Abb. 10). Um weiterhin eine Staplung der KLT gewährleisten zu können, liegen die Profile nicht im nestbaren Bereich der Behälter. Um die Auswirkungen von Wasser auf die verschiedenen Testszenarien prüfen zu können, wurden die Behälter mit 12 gefüllten Wasserflaschen aus PET bestückt.

Die Ziele dieser Versuchsreihen sind:

- Ermittlung des Einflusses von Füllstoffen auf das Identifikationsverhalten der Transponder
- Ermittlung der Erkennungsraten auf KLT-Basis mit verschiedenen Füllstoffen. Es wird die Fragestellung untersucht, wie eine 100 %-ige Lesbarkeit eines KLT (stellvertretend für eine Ladeinheit) realisierbar ist.
- Ermittlung der optimalen Transponderposition an den KLT
- Ableiten von generellen Regeln, die bei der Implementierung von RFID-Technik zu beachten sind.



Abbildung 10: KLT mit Aluminiumprofilen

Des Weiteren werden parallel zwei unterschiedliche Transponderpositionen am KLT getestet. Hier werden die bereits erwähnten Ladeeinheiten eingesetzt (siehe Abbildung 3: Positionierung der Transponder an KLT (links: Transponderposition 1; rechts: Transponderposition 2)). Aufgrund der Ergebnisse aus den ersten Versuchsreihen wird die Anzahl der Transponder pro Ladeeinheit von 96 auf 48 reduziert, d. h., pro Behälterseite wird ein Transponder fixiert.

2.3. Pulkversuche im Frequenzbereich 13,56 MHz

In den ersten Versuchsreihen werden die Erfassungsraten der Transponder im Bereich 13,56 MHz in Abhängigkeit der Transponderposition 1 bzw. 2 betrachtet. Für jeden der genannten Inhaltsstoffe wird eine Versuchsreihe mit jeweils 10.000 Zyklen durchgeführt. Wie bei den vorhergegangenen Vorversuchen wird erfasst, welche Transponder pro Zyklus, d. h. pro Durchfahrt der Ladeeinheit durch den Antennenbereich, ihre eindeutige Identifikationsnummer an den Reader übermitteln.

Bei den Versuchsreihen mit leeren KLT bzw. mit dem Füllstoff Wasser in PET-Flaschen und den beiden Holztypen sind die Erkennungsraten oberhalb der Grenze von 99,90 % (siehe Abb. 11).

Wie erwartet, sind die Ergebnisse bei KLT mit Aluminium- bzw. Stahlprofilen deutlich geringer. Die schlechteren Erkennungswerte bei metallischen Behälterinhalten lassen sich auf die abschirmende Wirkung des Stoffes auf die innen liegenden Transponder erklären. Die an den äußeren Stirn- bzw. Längsseiten des KLT befestigten Transponder werden zuverlässig erfasst. Die Erkennungsraten liegen im Bereich von 99,78 % bis 100 %.

Bei weiterer Betrachtung der Versuchsergebnisse wird deutlich, dass Unterschiede zwischen Transponderposition 1 und Transponderposition 2 existieren. Die an den Außenseiten der KLT angebrachten Transponder werden bei beiden Transponderpositionen zuverlässig erkannt. Die ungünstigere Transponderposition 2 (siehe Abb. 12) hat eine Halbierung der Gesamterkennungsraten von ca. 69 % (Aufbau 1) auf ca. 38 % (Aufbau 2) zur Folge. Die Absenkung der Erkennungsrate aller Transponder hängt wie beschrieben mit der Reduzierung der Erkennungsrate der äußeren Stirnseiten von ca. 100 % auf ca. 50 % bzw. der inneren Stirnseiten von ca. 75 % auf 0 % zusammen. Im Gegensatz zum Aufbau 2 werden bei Aufbau 1 die an den inneren Stirnseiten der KLT positionierten Datenträger zu 75 % erkannt. Da die Transponder der Ladeeinheit 1 im nestbaren Bereich der KLT angebracht sind, d. h. in dem Bereich, in dem die Behälter bei Staplung ineinandergreifen, befindet sich dort kein Füllstoff (siehe Abb. 12).

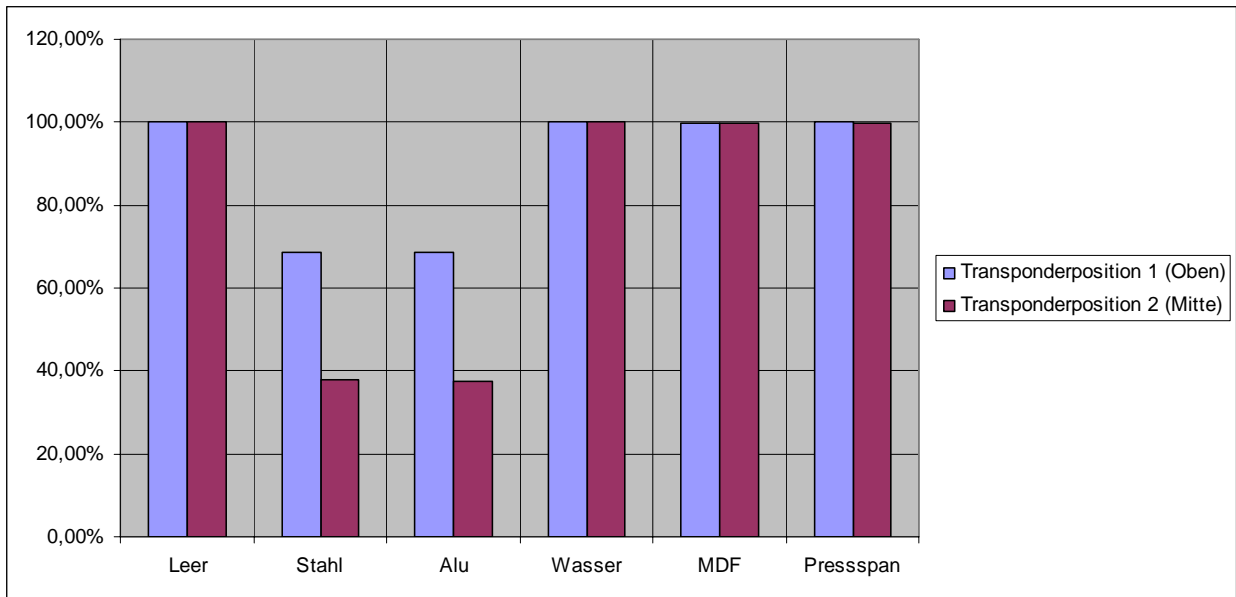


Abbildung 11: Versuchsergebnisse 13,56 MHz

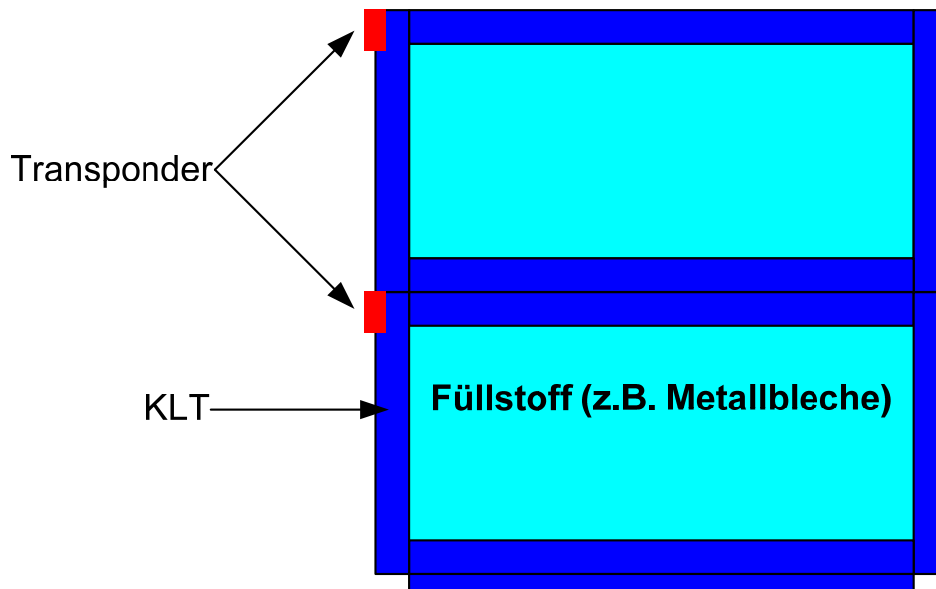


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Transponderposition bei Aufbau 1 (vgl. Abb. 10)

2.4. Pulkversuche im Frequenzbereich 868 MHz (optimale Antennenausrichtung)

Nachdem die Versuchsreihen im Bereich 13,56 MHz abgeschlossen sind, wird der Frequenzbereich 868 MHz betrachtet. Hier sind vergleichbare Ergebnisse wie im HF-Bereich zu erwarten. Jedoch werden neben schlechten Erfassungsraten bei metallischen Füllstoffen auch die Raten bei der Erkennung von mit Wasser gefüllten KLT im Gegensatz zum HF-Bereich absinken.

Erwartungsgemäß liegen bei den Versuchsreihen mit 868 MHz-Transpondern die Erkennungsraten nicht nur bei metallischem Behälterinhalt, sondern auch bei Wasser deutlich unter 100 % (siehe Abb. 13). Die geringen Erfassungsraten sind wie bei 13,56 MHz mit der abschirmenden Wirkung der 3 Inhaltsstoffe zu erklären. Wasser wirkt im UHF-Bereich aufgrund der kürzer welligen Frequenz dämmend. Dieses Phänomen ist im HF – Bereich nicht zu beobachten.

Jedoch werden leere bzw. mit Holz ausgekleidete Behälter nicht zu 100 % erfasst, sondern zu 99,99 % (leer), zu 99,66 % (MDF-Platten) bzw. zu 98,58 % (Spanplatten).

Wie auch bei den 13,56 MHz-Versuchsreihen kann die Aussage getroffen werden, dass Transponderposition 1 (oben) vorteilhafter für eine zuverlässige Pulkerfassung von Transpondern ist.

In Abhängigkeit des jeweiligen KLT-Füllstoffs sind die Erfassungsraten tendenziell durch die Anbringung des Transponders im nestbaren Bereich der KLT bei Transponderposition 1 höher als bei Position 2 (siehe Abb. 13).

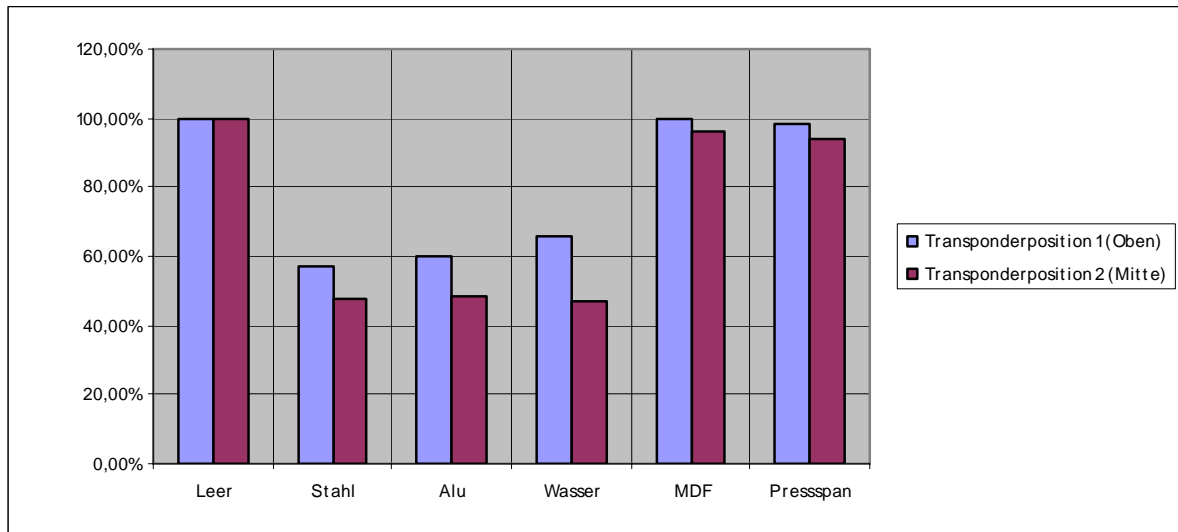


Abbildung 13: Versuchsergebnisse 868 MHz (optimale Antennenausrichtung)

Beim direkten Vergleich der unterschiedlichen Frequenzbereiche wird offensichtlich, dass die Erkennungsraten im Bereich 868 MHz (UHF) geringer als im Bereich 13,56 MHz (HF) sind. Ein Unterschied der Erkennungsraten bezüglich der Transponderposition am KLT ist bei allen Versuchsreihen erkennbar, mit Ausnahme der Versuche mit leeren KLT. Die Reduzierung der Erkennungsrate liegt bei Aluminium, Stahl und Wasser im Bereich von -20 %, bei MDF- und Spanplatten bei -5 %.

Die Erfassungsraten aller UHF-Transponder sind weit unter der von der Industrie angestrebten 100 % (siehe Abb. 13). Differenziert man die Transponder jedoch nach ihrer Position innerhalb der Ladeeinheit, wird deutlich, dass die an den äußeren Längsseiten angebrachten Transponder zu 100 % gelesen werden. Am Beispiel der Versuchsreihen im UHF-Bereich wird offensichtlich, dass selbst bei der im Versuch schlechter abgeschnittenen Transponderposition 2 (unten) eine zuverlässige Erfassung der einzelnen Kleinladungsträger gewährleistet werden kann. (siehe Abb. 14). Diese Werte sind unabhängig von den verwendeten Füllstoffen der Behälter. Dieses bedeutet, dass bei der Verwendung von KLT (600 x 400 mm) zwei Transponder – je Längsseite ein Datenträger – für eine zuverlässige Erfassung in der Praxisanwendung ausreichend sind.

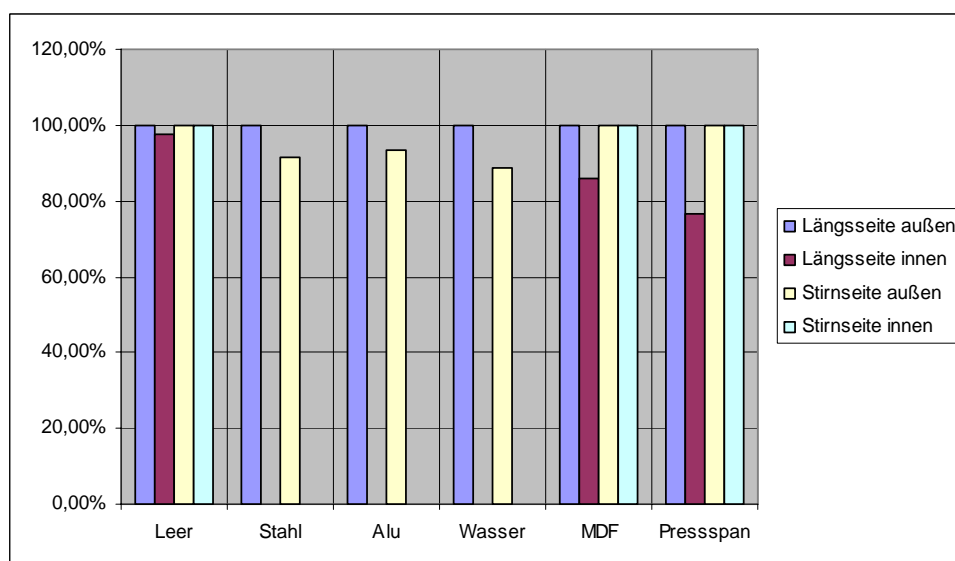


Abbildung 14: Versuchsergebnisse 868 MHz (Anordnung 2) differenziert nach Transponderposition (optimale Antennenausrichtung)

2.5. Pulkversuche im Frequenzbereich 868 MHz (nicht-optimale Antennenausrichtung)

Die Charakteristik der Feldlinien von Rahmenantennen im Frequenzbereich 13,56 MHz ist in Abbildung 9 (rechte Grafik) dargestellt. Im UHF-Bereich werden keine Rahmenantennen, sondern Backscatter-Antennen verwendet. Hier erfolgt die Ausbreitung der Feldlinien keulenartig (siehe Abb. 15). Die UHF-Wellen bestehen aus einem magnetischen und einem elektrischen Feld. Aus dem Produkt der beiden Felder ergibt sich ein Strahlungsvektor (siehe Abb. 15). Trifft das elektromagnetische Feld z. B. auf einen Transponder mit Dipolantenne, wird das Signal zur Energieversorgung der Transponderkomponenten genutzt. Der Transponder gibt elektromagnetische Wellen ab, welche die Daten des Speichers enthalten. Das Schwingungsverhalten der Dipolantenne ist exakt vorhersagbar und mathematisch definiert.

Problematisch beim Einsatz von Dipolantennen ist, dass das Antennensignal nicht gleichmäßig zurückgeworfen wird. Der Strahlungsvektor des Antennenfeldes sollte daher nicht parallel zur Längsachse des Dipols verlaufen. Daher ist eine Ausrichtung der Transponder im Antennenfeld erforderlich.

Die optimale Ausrichtung der Backscatter-Antennen ist um 45° zur Förderrichtung des Versuchsstandes geneigt und um 45° gedreht (siehe Abbildung 1: RFID-Versuchsstand des IFT / Stuttgart). Durch die Neigung sowie die Drehung der Antennen wird vermieden, dass die Längsachse des Transponders parallel zur Ausbreitungsrichtung des Strahlungsvektors verläuft. D. h. es kann unter den genannten Umständen nicht zu einem Empfang der vom Transponder abgegebenen elektromagnetischen Wellen durch die Antennen der Schreib-/Leseinheit erfolgen. Somit kann der Transponder seine eindeutige Identifikationsnummer zwar senden, diese aber wird von der Leseinheit des RFID-Systems nicht erkannt.

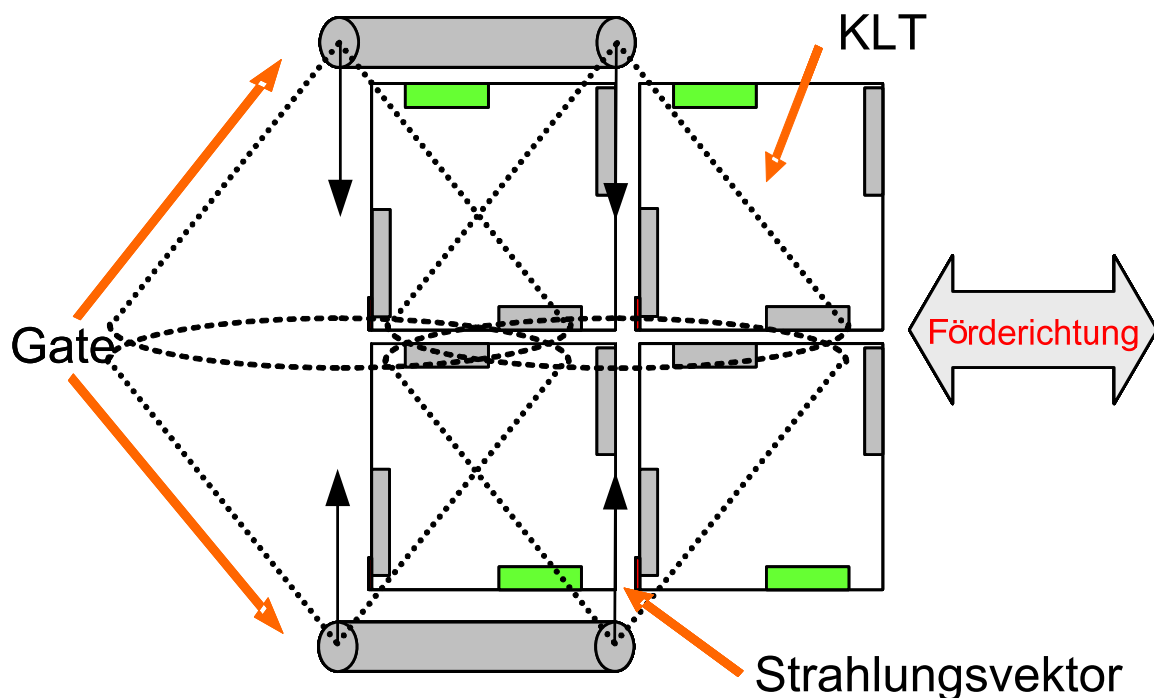


Abbildung 15: 868 MHz-Antenne mit Sendekeule

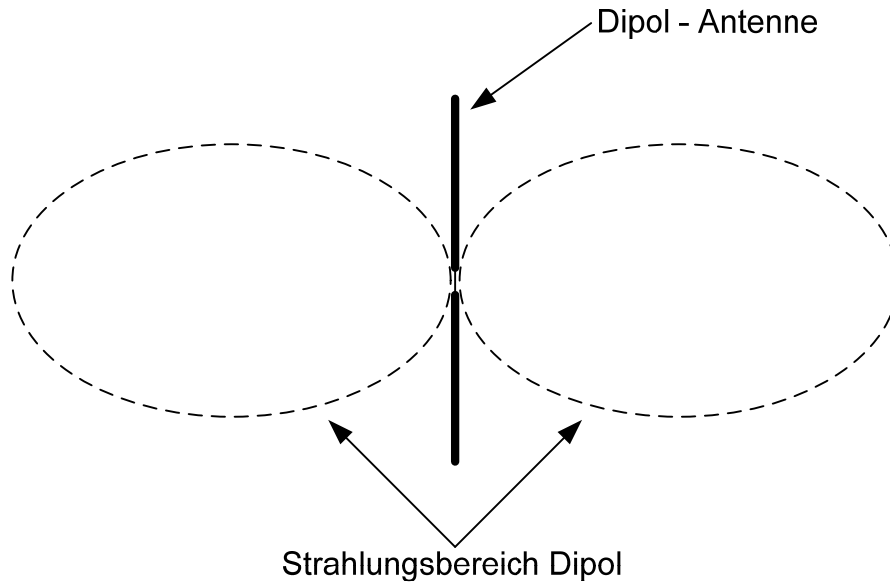


Abbildung 16: Schematische Darstellung des Strahlungsdiagramms einer Dipol- Antenne [Finkenzeller2006]

Um die Auswirkungen von schlecht ausgerichteten Antennen darzustellen, werden bei den folgenden Versuchsreihen die UHF-Antennen frontal zur Längsseite der Ladeeinheit positioniert. Die sonstigen Versuchsparameter wie Inhaltsstoffe, Transponderpositionen etc. sind identisch zu den zuvor durchgeführten UHF-Versuchsreihen. Die Ergebnisse der einzelnen Versuchsreihen mit geänderter Antennenausrichtung im Frequenzbereich 868 MHz weisen deutliche Unterschiede auf. Wie in Abbildung 17 zu sehen ist, hat sowohl die Position des Transponders am Behälter als auch die Ausrichtung der Leseantennen starken Einfluss auf die Erkennungsraten bei Pulklesungen. Speziell die an den Stirnseiten der KLT angebrachten Transpondern, unabhängig ob innere oder äußere, werden seltener bzw. nicht erfasst.

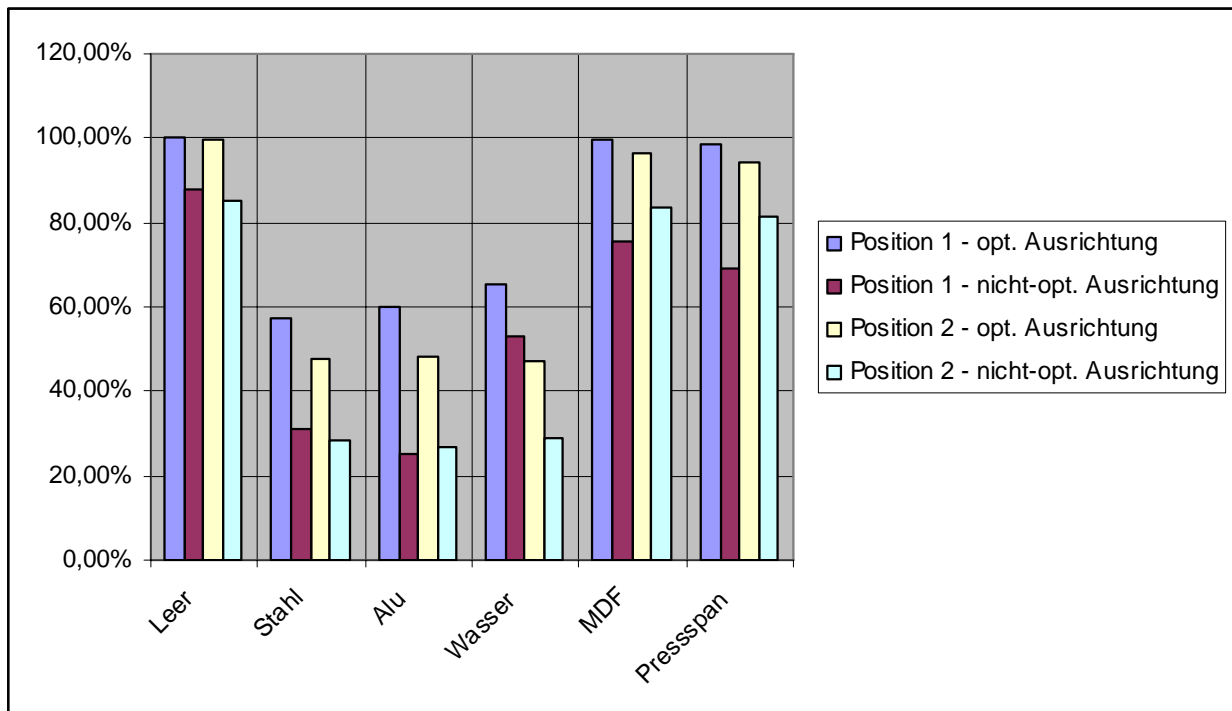


Abbildung 17: Vergleich der Versuchsergebnisse 868 MHz in Abhängigkeit der Transponderposition und der Antennenausrichtung

Erklärbar ist die Absenkung der Pulkerfassungsrates bei optimaler bzw. nicht-optimaler Antennenausrichtung mit der Ausbreitung der Funkwellen bzw. der Orientierung der Transponder im Antennenfeld. Die 868 MHz-Antennen arbeiten, wie bereits angesprochen, mit einer so genannten „Sendekeule“ (siehe Abbildung 15), d. h., die Antenne sendet lediglich Funkwellen in eine bestimmte Richtung bzw. Kreissegment. Der Öffnungswinkel der verwendeten UHF-Antennen liegt bei 60°. Die Antenne ist frontal zur Längsseite der Ladeeinheit angebracht. Dieses hat zur Folge, dass die Erfassung der an den äußeren Stirnseiten der KLT befestigten Transponder nicht direkt erfolgen kann, d. h. nicht ohne Durchdringung der Funkwellen durch den KLT bzw. den Behälterinhalt. Hierdurch können in Abhängigkeit des Behälterinhaltes außen angebrachte Datenträger dasselbe schlechte Erfassungsrateniveau wie innen positionierte Transponder aufweisen.

Hinzu kommt die Orientierung der Transponder im Antennenfeld. Vergleichbar mit der in Abbildung 16 dargestellten Ausbreitung der vom Dipol gesendeten elektromagnetischen Wellen, kann bei paralleler Ausrichtung der Transponderlängsachse zum Strahlungsvektor unter Umständen kein Transpondersignal die Antenne der Schreib-/Leseinheit erreichen. Der Datenträger wird nicht erkannt. Dieses Szenario liegt bei der in dieser Versuchsreihe geprüften Orientierung von Schreib-/Leseantennen und der an den Stirnseiten der KLT positionierten Dipol-Antennen vor (siehe Abb. 16).

3. Zusammenfassung

Ein erster, bei der Implementierung von RFID-Systemen zu berücksichtigender Parameter, ist die Anzahl der Transponder, die bei einer Pulklesung erfasst werden sollen. Hier sind zunächst durch die Technik vorgegebene Restriktionen zu berücksichtigen. Die Anzahl der Transponder kann sowohl rechnerisch unter Berücksichtigung der erforderlicher Systemdaten als auch praktisch erfolgen. Sinnvoll erscheint eine Kombination aus beiden Alternativen.

Als nächster Parameter wurde die Arbeitsfrequenz der Transponder sowie deren Einfluss auf die Erfassung der Transponder bei unterschiedlichen Behälterinhalten untersucht. Zusammenfassend ist anzumerken, dass sowohl im Hochfrequenz- als auch im Ultrahochfrequenzbereich Transponder bei metallischen Behälterinhalten je nach Transponderposition unzuverlässig bzw. nicht erkannt werden. Im Bereich 868 MHz treten diese Probleme auch bei Wasser auf. Diese physikalischen Einschränkungen der RFID – Technologie müssen hingenommen werden.

Als weitere Erkenntnis konnte die Identifikation der Transponderposition am KLT als wichtiger Parameter gewonnen werden. Die Positionierung der Datenträger im nestbaren Bereich der KLT zeigte deutlich bessere Ergebnisse als die Anbringung der Transponder auf Höhe des Behälterinhaltes. Dieser Parameter sowie die Ausrichtung der Leseantennen (868 MHz) können beeinflusst werden.

Trotz der Identifikation der aufgeführten Parameter, die die Zuverlässigkeit bei Pulkerfassungen beeinflussen, ist bei jeder Implementierung von RFID-Systemen die verschiedenen Komponenten, d. h. Transponder, Antennen, Ladeeinheit und Fördertechnik, aufeinander abzustimmen. Eine RFID-Lösung „von der Stange“ ist unrealistisch, da bei jedem Anwendungsfall unterschiedliche Parameter mehr oder weniger die Erkennungsrate beeinflussen können. Derartige Tests können auf dem Versuchsstand des Instituts für Fördertechnik und Logistik durchgeführt werden.

Der Vergleich der beiden geprüften Frequenzen zeigt, dass Systeme mit der Arbeitsfrequenz 13,56 MHz bessere Erfassungsraten bei KLT mit dem Inhalt Holz bzw. Wasser aufweisen als UHF-Systeme (siehe Abb. 18). Dieses hängt mit der bereits angesprochenen besseren Durchdringung der langwelligen Frequenzen bei Festkörpern zusammen.

Lediglich bei metallischen Füllstoffen und Transponderposition 2 weisen die Versuchsreihen im UHF-Bereich höhere Erkennungsraten als im HF-Bereich.

Des Weiteren ist erwähnenswert, dass die Absenkung der Erfassungsraten bei einer Systemfrequenz von 13,56 MHz deutlicher reduziert wird als bei UHF-Systemen (siehe Abb. 18). Die falsche Positionierung von HF-Transpondern hat demnach größere Auswirkungen auf die Pulkerfassungsrates als bei UHF-Transpondern.

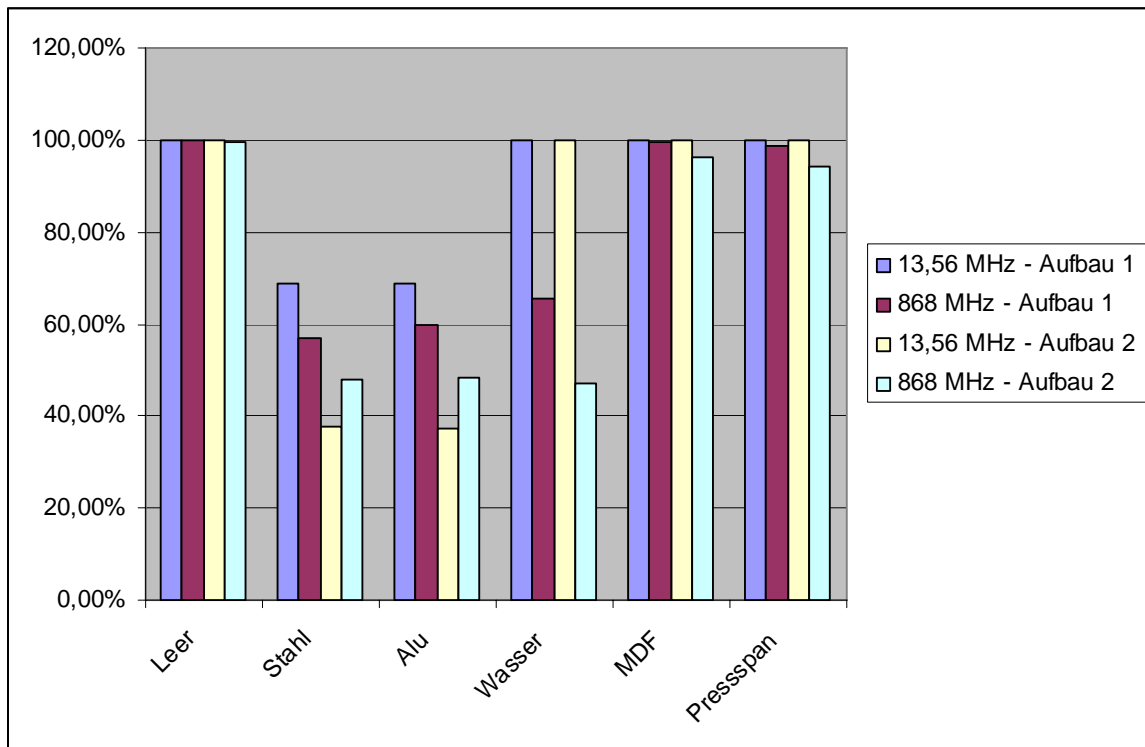


Abbildung 18: Vergleich der Frequenzbereiche sowie der Transponderpositionen

Es wurde festgestellt, dass unter definierten Randbedingungen, z. B. bei der Anbringung eines Transponders an jeder Behälterlängsseite, eine Erfassungsrate gewährleistet ist, die dem von der Industrie geforderten hohen Niveau von nahezu 100 % entspricht.

Hinsichtlich der durchgeführten RFID-Tests am Institut für Fördertechnik und Logistik kann also das Resümee gezogen werden, dass durch zielgerichtete Komponentenauswahl (Transponder, Antennen, Auswertungssoftware) sowie durch richtige Positionierung der Transponder auf den Gütern und der Optimierung der technischen Einstellparameter für die unterschiedlichen Anwendungsfälle in der Praxis Lösungen gefunden werden können. Anders formuliert muss gesagt werden, dass ohne solche Versuchsreihen, also durch Verwendung von Transpondertechnologie nach dem Prinzip „Plug & Play“, die Gefahr besteht, dass die falschen Komponenten, die falschen Positionen der Transponder am Gut bzw. die falsche Ausrichtung der Antennen zu wählen oder ganz allgemein die Rahmenbedingungen für den Einsatz so falsch festzulegen, dass die Systeme eine unzureichende Lese- oder Pulkwiederholgenauigkeit erzielen. Die für die Logistik und ihre Zukunftsgestaltung wichtige RFID-Technologie muss sachkundig geplant und eingesetzt werden.

4. Ausblick

Die Durchführung von Versuchsreihen ist als eine zielgerichtete Entwicklung für die Praxis zu verstehen. Die einzelnen Parameter werden nach und nach verändert, um mögliche Abweichungen von vorherigen Versuchsreihen erklären zu können.

Nach der Durchführung von Versuchsreihen im Bereich 13,56 bzw. 868 MHz, bei denen die Position der Transponder sowie die Antennenausrichtung variiert wurden, wird ab Februar 2007 der Einfluss der Durchfahrtschwindigkeit durch den Antennenbereich untersucht. Hierzu wird zusätzlich ein neuer Versuchstand eingerichtet, mit dem die Durchfahrt eines Flurförderzeugs durch ein Antennengate mit einer Geschwindigkeit von bis zu 5 $\frac{m}{sec}$ simuliert werden kann. Werden Ladeeinheiten mit höheren Geschwindigkeiten durch den Gatebereich gefördert, kann dieses aufgrund der kürzeren Verweildauer im Antennenfeld Auswirkungen auf die Pulkerfassung haben. Dieser Aspekt soll daher mittels des zusätzlichen Versuchstandes systematisch erfasst werden. Die dann eingesetzte Hardware (Transponder, Antennen, Reader) entspricht dem aktuellen Stand der Technik im Jahre 2007.

Um statistisch abgesicherte Dauerversuche durchführen zu können, wird nicht der Stapler, sondern das Gate bewegt. Das Antennengate wird deckenseitig über das Flurförderzeug und der auf den Zinken positionierten Ladeeinheit geführt. Neben Staplern können weitere Handhabungssysteme wie z. B. Handgabelhubwagen im Versuchstand positioniert werden.

Zudem können auf dem neuen Versuchsstand höhere Ladeeinheiten als bisher untersucht werden. Es werden Palettenhöhen von bis 2.000 mm geprüft werden können. Neben höherer Flexibilität bei der Palettenhöhe können unterschiedliche Ladungsträger, z. B. Industriepaletten (1.200 x 1.000 mm), getestet werden.

In der Vergangenheit waren RFID-Praxisanwendungen in der Regel Insellösungen. D.h. die Transponder und evtl. die Erfassungssysteme wurden von einem Produzenten bezogen. In der Zukunft werden in komplexen Logistikketten RFID-Transponder verschiedener Hersteller z. T. in einer Ladeinheit verwendet werden. Inwieweit die Verwendung von Transpondern unterschiedlicher Hersteller Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit bei der Pulkerfassung hat, wäre an dieser Stelle zu klären.

Das Institut für Fördertechnik und Logistik ist beteiligt an dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt „IdentProLog“. Ziel der Projektgruppe aus Industrie (Jungheinrich, Still, KUKA u.a.) und Forschung ist die flexible Zielführung von Ladungsträgern in Produktion und Materialflusslogistik durch vollständig in den Informationsfluss integrierte Flurförderzeuge. Hierzu werden Ladungsträger mit RFID-Transpondern bzw. Flurförderzeuge mit Schreib-/Lesegeräten ausgestattet. Die Überprüfung der Zuverlässigkeit und der Wiederholgenauigkeit der Transpondererfassung werden am IFT anhand von Dauerversuchsreihen durchgeführt.

Literatur

- [Finkenzeller2006] Finkenzeller, K.: RFID – Handbuch. München: Hanser 2006. 4. aktual. u. erw. Aufl., ISBN 3-446403981
- [Wehking2006] Wehking, K.-H.; Seeger, F.; Kummer, S.: RFID-Technologie : Bindeglied zwischen Informationsfluss und Materialfluss. Wie zuverlässig sind die Identifikationsvorgänge? IN: Logistics Journal : nicht-referierte Veröffentlichungen. eJournal der Wissenschaftlichen Gesellschaft Technische Logistik (WGTL) (2006), Link: <http://www.logistics-journal.de/archive/2006/4/wehking>, DOI 10.2195/LJ_Not_Ref_42006