

# Messkonzept und Methodik zur Konfiguration und zum Nachweis einer zuverlässigen Identifikation durch UHF-RFID-Installationen

A Measuring concept and Methods for configuring and providing evidence of a reliable Identification from UHF-RFID-Installations

Johannes Lechner  
Willibald A. Günthner

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik  
Technische Universität München

**R**adio Frequenzidentifikation (RFID) auf Basis passiver Transponder im Ultra-High-Frequenzbereich (UHF) findet in der Logistik immer häufiger Anwendung. Zur Ausschöpfung der Potenziale dieser AutoID-Technologie wird vorausgesetzt, dass die Identifikation der Waren und Güter zuverlässig erfolgt. Dies gestaltet sich aufgrund von Umgebungseinflüssen auf das elektromagnetische Lesefeld, das die passiven Transponder zur Identifikation mit Energie versorgt, oftmals sehr schwierig. Die Kenntnis der elektromagnetischen Feldstärkeverteilung im Raum kann somit als Grundlage für die Bewertung der zuverlässigen Erfassung durch RFID-Installationen herangezogen werden. Das im Beitrag vorgestellte Messkonzept mit Methodik zeigt eine Möglichkeit zur schnellen Erfassung der Lesefeldausprägung auf, um anhand der Ergebnisse die Konfiguration dieser Systeme zu erleichtern.

[Schlüsselwörter: RFID, Radiofrequenzidentifikation, Auto-ID, Identifikationssysteme, Identtechnologie]

**R**adio-frequency Identification using the Ultra High Frequency range is increasingly applied in the field of logistics. In order to benefit from the advantages of this AutoID-Technology a reliable identification of the tagged goods has to be ensured. This is often problematic due to complex interactions between the electromagnetic field of the RFID-Installation and the surrounding environment. Thus supplying the passive tags with energy through the field and hence the identification of the tag can be disturbed. Knowing the spatial distribution of the electromagnetic fields strength can be used as a basis for estimating the reliability of the identification and for deriving a suitable configuration of the installation. In this paper a concept and methods for quickly measuring the distribution of the electromagnetic field is presented.

[Keywords: RFID, radio-frequency identification, Auto-ID, identification systems]

## 1 EINLEITUNG

Die RFID-Technologie hat bereits in vielen Bereichen der Logistik und Produktion Einzug gehalten. Im Kontext der Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge wird RFID als eine der Schlüsseltechnologien betrachtet. Trotzdem bestehen Vorbehalte und Hindernisse, welche die weitere Verbreitung der Technologie verzögern. Laut einer am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München (fml) durchgeführten Studie [GMCF10], ist aus technischer Sicht vor allem die als zu gering erachtete Lesesicherheit der wesentliche Aspekt der gegen den Einsatz von RFID zur automatischen Identifikation spricht.

Schwierigkeiten mit der Lesezuverlässigkeit von RFID-Aufbauten lassen sich bei passiven UHF-RFID-Systemen häufig auf die Feldausbreitung des elektromagnetischen Lesefelds am Einsatzort zurückführen. Da die passiven RFID-Transponder die Energie zur Versorgung ihrer Mikrochips direkt aus dem Funkfeld entnehmen, sind die Feldausbreitung und die resultierende Verteilung der Feldstärke bei diesen Systemen entscheidend. Die ausreichende Versorgung der Transponder mit Energie stellt in den meisten Systemen die beschränkende Größe für das Zustandekommen eines funkbasierten Datenaustauschs und somit der Identifikation dar. Auftretende Reflexionen und Absorptionen durch Objekte in unmittelbarer Umgebung haben ein komplexes unregelmäßiges Lesefeld zur Folge, das sich stark von jenem bei ideellen Bedingungen unterscheidet. Daher stellen metallische Umgebungen aufgrund der reflektierenden Eigenschaften für RFID-Installationen sehr schwierige Bedingungen dar, in denen mit stark zerklüfteten inhomogenen Feldern zu rechnen ist. Eine nahezu ungestörte Feldausbreitung kann im Gegensatz dazu nur in speziellen reflexionsarmen Räumen erzeugt werden, die in der Realität aber kaum zu finden sind.

Die Verteilung der Feldstärke im Raum ist für den RFID-Systemintegrator bzw. -Anwender nicht wahrnehmbar und es herrscht Unwissenheit über diejenigen Bereiche im Raum mit ausreichender Feldstärke für die Auslesung der Transponder. Deshalb ist eine gleichmäßige Ausleuchtung des Raumes, in der die Transponder zur Identifikation gelesen werden sollen, zum zuverlässigen Betrieb der Systeme essentiell. Die Konfiguration solcher Identifikationsinstallationen durch Variation von Faktoren wie Antennenanzahl, -ausrichtung oder auch der Sendeleistung zielt somit darauf ab, ein gleichmäßiges homogenes Feld mit ausreichender Feldstärke im vorgegebenen Raum für die Identifikation zu erzeugen. Leselöcher sowie Überreichweiten gilt es zu vermeiden. Als Leselöcher werden hierbei Stellen im Lesefeld bezeichnet, die eine zu geringe Feldstärke aufweisen. Überreichweiten hingegen bezeichnen Orte außerhalb der gewünschten Lesezone, in denen durch die konstruktive Überlagerung der Wellen Feldstärkewerte erzeugt werden und die eine ungewollte Lesung der Transponder hervorrufen. Eine Veranschaulichung dieser Erscheinungen findet sich in Abbildung 1.

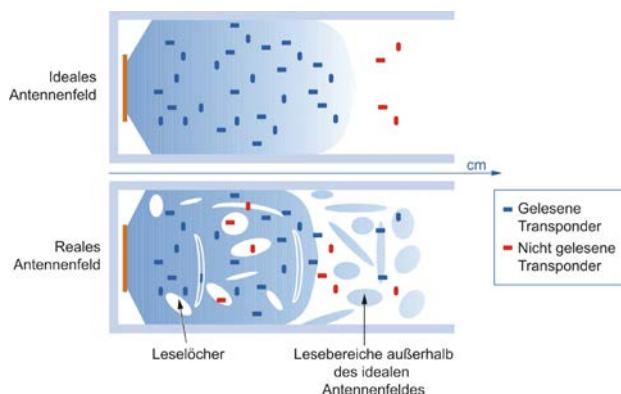


Abbildung 1. Gegenüberstellung eines idealen und eines realen Lesefeldes mit Überreichweiten und Leselöchern

Aufgrund der vorgestellten Problematik wurde im Forschungsprojekt RFID-MobiVis am fml ein Messkonzept entwickelt, das eine Möglichkeit zur schnellen Überprüfung und Beurteilung der Lesefeldausbreitung vor Ort liefert [GL15] und so bei der zielgerichteten Raumausleuchtung unterstützt. Hierzu wird die elektromagnetische Feldstärkeverteilung zur aktuellen Konfiguration aufgenommen und dem Systemintegrator bzw. Anwender zur Inspektion visualisiert. Durch die schnelle Rückmeldung über die Güte einer Konfiguration soll der Inbetriebnahmeprozess mit dem Ziel einer zuverlässigen Identifikation verbessert und beschleunigt werden.

Zum tieferen Verständnis werden zunächst die im Rahmen einer Literaturrecherche ermittelten bereits existierenden Testverfahren und Richtlinien sowie simulative Ansätze für die Bewertung von RFID-Komponenten und -Systemen vorgestellt. Anschließend werden Verbesserungspotenziale der bisherigen Ansätze zur Leistungsbewertung ermittelt und Anforderungen an ein neuartiges Messkonzept zur Lesefeldanalyse abgeleitet. Auf Grund-

lage der Anforderungen wird ein geeignetes Messkonzept entwickelt, auf dessen Basis eine Bewertung und Auswahl der hierzu benötigten Messkomponenten erfolgt. Dem folgt eine Beschreibung zur Konzeption und Entwicklung eines Funktionsdemonstrators. Im letzten Abschnitt wird auf die Erprobung des Messkonzepts anhand von praxisnahen Versuchen zum Einsatz des Systems eingegangen.

## 2 STAND DER TECHNIK ZUR BEWERTUNG DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON RFID-SYSTEMEN

### 2.1 STANDARDS UND RICHTLINIEN FÜR MESSVERFAHREN

Zur Bewertung und Prüfung von RFID-Systemen existieren bereits Standards und Richtlinien. Im folgenden wird auf einige der relevanten Dokumente eingegangen.

#### 2.1.1 TESTVERFAHREN NACH ISO 18046-1

Als ein internationaler Standard für Testverfahren für RFID-Komponenten und -Systeme wurde die ISO 18046 identifiziert. In der aktuellsten Version besteht die Norm aus vier Teilen. Die für die Bewertung des Gesamtsystems und somit für diesen Beitrag relevanten Testverfahren werden im ersten Teil der Norm [ISO11] beschrieben. Hierbei werden für die Tests die Umgebung sowie die Umgebungsbedingungen wie Raumtemperatur (20 bis 26 Grad Celsius), Luftfeuchte (30 bis 60%) und Störsignalpegel ( $< -80\text{dBm}$ ) definiert. Die Tests zur Leistungsbestimmung werden für vier prinzipielle Systemaufbauvarianten beschrieben. Die verschiedenen Tests zielen zum einen auf die Ermittlung der Reichweite des Systems ab und zum anderen auf die Leseleistung des Systems bei der Erfassung mehrerer Transponder im Pulk. Zum Testen selbst werden Transponder eingesetzt die mit unterschiedlichen Befehlen (Query, Inventory, Read, Write) vom Schreib-/Lesegerät angesprochen werden.

#### 2.1.2 TESTVERFAHREN NACH RICHTLINIE VDI/AIM 4472 BLATT 10

Die in der VDI/AIM Richtlinie 4472 Blatt 10 [VDI08] beschriebenen Methoden dienen der Untersuchung der Leistungsfähigkeit von RFID-Systemen im Bereich der Logistik. Den beschriebenen Methoden wird die Norm ISO 18046 zu Grunde gelegt. So gehen bspw. die Beschreibung der relevanten Systemkomponenten und die in der Richtlinie beschriebenen Verfahren zur Ermittlung der Transponderqualität aus der ISO 18046 hervor. Im Dokument werden zunächst die Einflussgrößen dargelegt und anschließend die Testparameter definiert. Zur Leistungsbewertung der Systeme werden anschließend statische und dynamische Untersuchungen definiert. Beide in der Richtlinie beschriebenen Untersuchungsformen basieren auf der Auswertung des Kommunikationserfolgs mit den eingesetzten Transpondern. Während es bei den stati-

schen Tests darum geht die Reichweite des Systems zu ermitteln, steht bei den dynamischen Tests eine Bewertung hinsichtlich Pulklesefähigkeit im Vordergrund. Bei den statischen Tests werden Transponder im Untersuchungsraum platziert und somit überprüft in welchem Bereich eine Auslesung der Transponder erfolgt, um die Reichweite des Systems festzustellen. Bei den dynamischen Tests werden Transponderanordnungen entlang bzw. durch die RFID-Identifikationsanlagen bei definierter Geschwindigkeit bewegt. Als Bewertungskennzahl wird hier die Lesequote zu

$$\text{Lesequote} = \frac{\text{Anzahl positiver Ereignisse}}{\text{Gesamtzahl möglicher Ereignisse}} \quad (1)$$

definiert. Positive Ereignisse stehen dabei für die erfolgreichen Kommunikationsversuche mit Transpondern. Diese werden der Gesamtanzahl der zur Kommunikation zur Verfügung stehenden Transponder also den gesamten möglichen Ereignissen gegenübergestellt. Zusätzlich wird ein Abnahmeverfahren beschrieben, welches für jede Parameterkombination eine Mindestanzahl von 100 Durchläufen vorsieht. Ein Durchlauf steht dabei für eine Fahrt durch den Lesebereich in beide Richtungen. In der Richtlinie werden in Anlehnung an die ISO/IEC 18046 günstige, moderate und ungünstige Umgebungsbedingungen unterschieden. Für die Durchführung systembezogener Tests im Sinne eines Leistungsvergleichs werden mindestens moderate Umgebungsbedingungen gefordert. Solche Bedingungen werden beispielsweise auf großen offenen Flächen im Außenbereich vorgefunden. Die systembezogenen Tests für einen Leistungsvergleich sind laut Richtlinie in einer durch ISO/IEC 18046 definierten günstigen oder wenigstens moderaten Umgebung bezüglich Reflexionen durchzuführen. Es wird zudem darauf verwiesen, dass eine anwendungsbezogene Bewertung am besten am Einsatzort erfolgen sollte oder zumindest in ausreichender Form durch Nachbildung des Einsatzortes angenähert werden muss.

### 2.1.3 EPCGLOBAL FELDSTÄRKEMESSVORSCHRIFT FÜR GATE UND ROLLENBAHNERFASSUNG

Die GS1 veröffentlichte in [EPC09a] den Arbeitsstand der Beschreibung einer Testmethode für Gate- und Rollenbahninstallationen. Sie soll dazu eingesetzt werden die Leistung von RFID-Testinstallationen zu prüfen, welche zum Test bereits aufgebrachter Transponder dienen. Bei dieser Methode erfolgt eine Bewertung durch die Feldstärkemessung an vorgegebenen Punkten der Installation. Die Feldstärkemessung selbst erfolgt mit einem Spektrumanalysator und einem Dipol als Messantenne. Die Punkte sind an die maximalen Abmessungen der mit Transpondern versehenen Testbehälter angepasst. Aufgrund des Bezugs der Methode auf Testinstallationen, wird eine entsprechende Konfiguration vorausgesetzt. Als Hilfestellung zur Messung werden Angaben zur Einstellung des Spektrumanalysators und zur Anzahl der Mes-

sungen pro Messpunkt getätigt. Zur Interpretation der Messergebnisse existiert eine weitere Vorschrift im Arbeitsstand [EPC09b], in welcher die Qualitätskriterien zu den Messwerten definiert sind.

### 2.1.4 SCHWÄCHEN BESTEHENDER MESSVERFAHREN

Die in der Norm ISO 18046-1 [ISO11] beschriebenen Testverfahren dienen hauptsächlich der Ermittlung der Systemleistung zum Vergleich verschiedener Systeme. Deshalb werden die Betriebsumgebung sowie -bedingungen zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse vorgegeben. Dies erschwert die Übertragung der Ergebnisse auf die Leistung des Systems in der realen Anwendung unter den dort vorherrschenden Randbedingungen. Zudem beziehen sich die ermittelten Ergebnisse immer auf die bei den Tests verwendeten Transponder. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass selbst bei Transpondern des gleichen Typs ein produktionsbedingter Unterschied in der Leistungsfähigkeit vorhanden sein kann. Die Testergebnisse beziehen sich demnach auf die am jeweiligen Transponder nötige Aktivierungsenergie. Die Übertragung der Ergebnisse auf Transponder mit einem geringeren Energiebedarf ist deshalb nicht ohne weiteres möglich, da der Einsatz leistungsfähigerer Transponder eine unbestimmte Erweiterung des Erfassungsbereichs zur Folge hätte. Diese Erweiterung des Lesebereichs kann zu Überreichweiten und somit zu Erfassungen außerhalb des für die Identifikation vorgegebenen Raums führen. Für Transponder mit höherer Aktivierungsenergie können ebenso keine Aussagen aus den Versuchen gewonnen werden. Die Tests können deshalb nur bei einer grundsätzlichen Auswahl der Komponenten dienlich sein. Eine Aussage über die Systemleistung bei anwendungsspezifischen Bedingungen und unter Variation von Transpondern ist trotz des hohen Aufwands zur Bewertung eines Systems daher nur schwer möglich.

Das in der VDI/AIM Richtlinie 4472 Blatt 10 [VDI08] beschriebene Abnahmeverfahren ist mit großem Aufwand verbunden. Auch hier ist die Beschränkung der gewonnenen Ergebnisse auf die verwendeten Transponder analog zur ISO/IEC 18046 gegeben.

Bei der von GS1 in [EPC09a] vorgeschlagene Messmethode wird explizit darauf hingewiesen, dass mit dieser Vorschrift keine Erfassungslöcher nachgewiesen werden können. Für den Nachweis von Erfassungslöchern wäre eine wesentlich höhere Anzahl von Messpunkten nötig. Die punktuelle Vermessung bedingt eine wiederholte Positionierung der Messantenne, was zu einem hohen Aufwand bei der Anwendung der Methode führt. Zudem werden in der Vorschrift Messungen mit einer Dipolantenne nur in einer Orientierung vorgesehen. Je nach Transponderantenne und Ausrichtung während der Erfassung können daraus nur eingeschränkte Aussagen gewonnen werden.

Aufgrund des Mangels geeigneter aufwandsgerechter Ansätze zur anwendungsbezogenen Prüfung wird in der Praxis oft auf eine Leistungsermittlung durch Messung verzichtet. Vielmehr wird direkt dazu übergegangen die Lesesicherheit über eine hohe Anzahl an Praxistests im Trial-and-Error-Verfahren nachzuweisen. Als Folge dieses Vorgehens kann bei problematischen Fällen ebenfalls ein sehr großer Aufwand nötig sein, da keine Messwerte als Vergleichsbasis zur Neukonfiguration der Installation vorliegen und somit zahlreiche Adaptionen während der Umsetzung erforderlich werden.

## 2.2 MÖGLICHKEITEN ZUR SIMULATIVEN ERMITTLUNG DER FELDESTÄRKEVERTEILUNG

Einen weiteren Ansatz zur Bestimmung der Feldstärkeverteilung an einem RFID-Aufbau stellt die Simulation dar. In der Literatur lässt sich der Einsatz von Vollwellensimulationen sowie dem Raytracing-Verfahren finden.

In [HJKO11] wird eine Vollwellensimulation zur Ermittlung der Feldausbreitung an einem Gabelstapler mit Gitterbox eingesetzt. Die Ergebnisse werden mit einer korrespondierenden Feldstärkemessung verglichen, wobei hier an vergleichsweise wenigen Punkten gemessen wird. Das Resultat der Übereinstimmung bezüglich der Ausgestaltung des elektromagnetischen Feldes wird als gut befunden. Dennoch wird auf die Unterschiede in den absoluten Werten verwiesen. Eine Erhöhung der Auflösung ist hier als Lösungsvorschlag zur Minderung des Unterschieds in den Werten angegeben.

Mit Raytracing Simulationen kann der Aufwand für die Berechnung der Ergebnisse verringert werden. Anwendungen sind hier in erster Linie Ausbreitungssituationen für z. B. Mobilfunk (vgl. [WJJ11]). In [B07] werden Untersuchungen im Bereich der UHF-RFID beschrieben, in welchen eine weiträumige Betrachtung der Lesefeldausbreitung zur Vorhersage der gegenseitigen Störung mehrerer parallel betriebener Installationen mittels Raytracing erfolgt. Die Ergebnisse dieser Simulationen sind ungenauer gegenüber der Vollwellensimulationen und dienen daher nur größeren bzw. weiträumigeren Betrachtungen.

Ein Nachteil für den breiten Einsatz von Simulationen zur Lesefeldprüfung ist das vorausgesetzte Expertenwissen. Ein anderer Aspekt ist der hohe Aufwand der zur Untersuchung von RFID-Installationen zu betreiben ist. Für eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse mit der Realität sind detaillierte Umgebungsmodelle nötig. Ein tatsächliches Abbild der Realität ist dennoch nicht möglich. Zudem ist oft eine genaue Abbildung der tatsächlich vorherrschenden Situation aufgrund sich ändernder Positionen von Objekten in der Umgebung des Aufbaus nicht möglich. Bei den Vollwellensimulationen ist für eine detaillierte Aussage von einem hohen Rechenaufwand auszugehen. Dieser kann durch den Einsatz von Raytracing reduziert werden, wobei die benötigte Genauigkeit zur

Untersuchung von RFID-Aufbauten hinsichtlich Leselöchern und Überreichweiten verloren geht.

## 3 ANFORDERUNGEN AN EIN MESSKONZEPT ZUR ANALYSE VON LESEFELDERN

Unabhängig von den erwähnten Schwächen der VDI/AIM Richtlinie Blatt 10 [VDI08] stellt ihre Grundstruktur und Zusammensetzung eine gute Basis für eine Methodik zur Konfiguration und dem Nachweis der Lesezuverlässigkeit unter Nutzung eines neuartigen Messkonzepts dar.

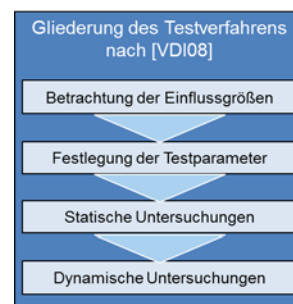


Abbildung 2. Gliederung des Testverfahrens nach [VDI08]

Eine Änderung der Methodik auf Basis eines neuartigen Messkonzepts setzt primär bei den ersten drei Schritten an und betrachtet diese unter dem Gesichtspunkt der Konfiguration im Sinne der Erreichung der Lesezuverlässigkeit. Eine Erleichterung und Verbesserung der Verfahren zum Test der Konfiguration in diesen Punkten minimiert den Gesamtaufwand erheblich. Zum letztendlichen Nachweis der Zuverlässigkeit ist es jedoch unabdinglich eine Bewertung anhand von Praxistests in Anlehnung an die in [VDI08] beschriebenen dynamischen Tests durchzuführen. Im Folgenden werden anhand der Gliederungspunkte die Anforderungen an das neue Messkonzept sowie die daraus resultierenden Änderungen im Gegensatz zu bisherigen Methodiken herausgestellt.

### Aufnahme der Einflussgrößen

Eine erweiterte Methodik zur Konfiguration von Installationen muss ebenso die in der Richtlinie beschriebenen möglichen Einflussgrößen berücksichtigen und betrachten. Im Falle der Systemkomponenten sollen jedoch durch das neuartige Messkonzept von den Komponenten (z. B. Transponder, Reader) unabhängige Ergebnisse ermittelt werden können, welche den Rückschluss auf die zu verwendenden Komponenten erlauben, sofern deren Leistungsvermögen bekannt ist. So soll anstelle der Auswertung von Kommunikationsversuchen mit Transpondern anhand einer Messung der Feldstärke, welche für die Aktivierung der Transponder ausschlaggebend ist, eine Aussage für verschiedene Transponder mit bekannten Eigenschaften getroffen werden. Dieser Ansatz wird durch die verschiedenen am Markt erhältlichen Messsysteme zur

Bewertung von RFID-Komponenten unterstützt. Die Folge ist eine erhebliche Verringerung des Messaufwands.

Eine Methodik zum Nachweis der Lesezuverlässigkeit einer Erfassungsinstallation muss die Einflussgrößen aus den realen Umgebungsbedingungen berücksichtigen. Diese sind nur am konkreten Einsatzort vorzufinden. Das Messkonzept muss demnach auf den Einsatz vor Ort der Installation – also auf die dort herrschenden industriellen Bedingungen – ausgelegt sein. Beispielsweise muss die Messung der Feldstärke selektiv für das UHF-Frequenzband durchführbar sein, damit Fremd- bzw. Störsignale keinen Einfluss auf die Bewertung des Lesefeldes haben. Darüber hinaus sollen mögliche Störsignale detektiert werden können, damit deren realer Einfluss auf die Funktion des Systems abgeschätzt werden können.

### Festlegung der Testparameter

Die in der VDI Richtlinie berücksichtigten und festzulegenden Testparameter sind grundsätzlich auch in einer weiterentwickelten Methodik zu betrachten. Im beschriebenen Test nach VDI-Richtlinie entstehen vor allem große Aufwände durch die vielen Positionen und Lagen die mit den Transpondern untersucht werden sollen, um entweder einen vorgeschriebenen Kommunikationsbereich nachzuweisen bzw. ihn festzustellen. Somit soll durch das neue Messkonzept eine kontinuierliche Messung der Feldstärke mit gleichzeitiger Ermittlung bzw. Kenntnis der Messpose eine schnelle Aufnahme vieler Messwerte an einer hohen Anzahl an Messpositionen ermöglichen. Daraus resultieren eine wesentliche Aufwandsminderung sowie eine Verbesserung der Untersuchungsergebnisse aufgrund der schnelleren und zugleich räumlich höher aufgelösten Messung. Wie in der VDI Richtlinie soll dabei auch die Transponderlage mit berücksichtigt werden. Deshalb ist Position und Orientierung (Pose) bei der Messung zu erfassen. Durch diesen Ansatz soll zudem die Identifikation und Lokalisierung von Überreichweiten und Leselöchern erreicht werden.

### Statische Untersuchungen

Die statischen Untersuchungen nach [VDI08] gelten der Ermittlung bzw. dem Nachweis des Kommunikationsbereichs. Diese Information sollen in einer Methodik zur Konfiguration und zum Nachweis ebenso erhoben werden. Im Gegensatz zur Richtlinie soll dies wie im Abschnitt zu den Einflussparametern beschrieben unter den realen Einflüssen vor Ort geschehen. Zudem soll die Anzahl der dazu ausgewerteten Messpunkte entsprechend den Beschreibungen zu den Testparametern wesentlich gesteigert werden. Voraussetzung zur Durchführung dieser Tests bzw. Messungen vor Ort ist ein auf Mobilität ausgelegtes Messkonzept, das einerseits einfach an den jeweiligen Ort des Einsatzes gebracht werden kann und andererseits eine einfache Vermessung angepasst an die Installation zulässt.

Ein weiterer Aspekt, der eine wesentliche Verbesserung gegenüber bestehender Konzepten und Methoden bedeutet ist die Darstellung der Ergebnisse zur vereinfachten und somit schnelleren Analyse und Interpretation. Anstelle der datentechnischen Auswertung von Informationen über Leseergebnisse mit Position, soll aus der gesteigerten Anzahl an Messwerten mit konkreter Information zur Feldstärke eine dreidimensionale Visualisierung erzeugt werden. Die Darstellung in 3D soll es ermöglichen trotz der hohen Zahl an Messdaten eine für den Nutzer einfach interpretierbare Ergebnisdarstellung zu erzeugen. Zur weiteren Verbesserung der statischen Untersuchungen hinsichtlich der Verbesserung der Konfiguration der UHF-Installation muss die Visualisierung verschiedene Betrachtungsaspekte im Hinblick auf weitere Untersuchungsziele erlauben, welche über die reine Information der Lesung hinausgehen.

### Dynamische Untersuchungen

Eine Absicherung der Lesequote durch dynamische Tests analog zu den Beschreibungen in der VDI Richtlinie ist ebenso als letzter Schritt beim Nachweis der Zuverlässigkeit einer Konfiguration nötig. Jedoch ist es das Ziel durch eine genauere statische Untersuchung verlässlichere Aussagen auf die Leseleistung im dynamischen Fall zu gewinnen. So kann aufgrund der erhaltenen statischen Messergebnisse eine angepasste Durchführung der dynamischen Tests mit dem Ziel einer Aufwandsreduzierung erfolgen. Hierzu bedarf die Methodik weiterer Entwicklungen, die über diesen Beitrag hinausgehen. Die Grundlagen für eine angepasste Ausführung von dynamischen Tests können jedoch aufgrund des in diesem Beitrag weiter beschriebenen Messkonzepts erarbeitet werden.

### Zusammenfassung der Anforderungen

In diesem Abschnitt wird eine angepasste Methodik zur Konfiguration und zum Nachweis einer zuverlässigen Identifikation beschrieben, um die daraus resultierenden Anforderungen an ein zugehöriges Messkonzept abzuleiten. Die Methodik orientiert sich an den Grundelementen des Testverfahrens nach [VDI08]. Die aufgrund der Zielsetzung der verbesserten Zuverlässigkeitsbewertung nötigen Anpassungen und Erweiterungen der Methodik sowie die grundlegenden Anforderungen an ein Messkonzept sind in Abbildung 3 gezeigt.

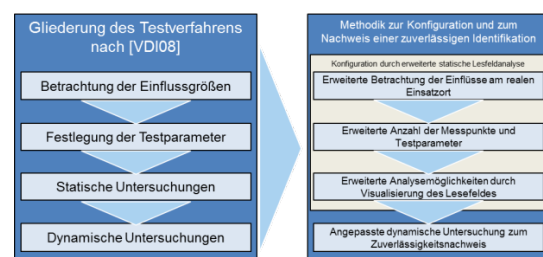


Abbildung 3. Erweiterung und Anpassung der Methode nach [VDI08]

#### 4 KONZEPTION EINES LESEFELDDANALYSESYSTEMS FÜR UHF-RFID-INSTALLATIONEN

Aus den Anforderungen an ein Messsystem zur aufwandsgerechten Konfiguration von RFID-Aufbauten können die benötigten Komponenten ermittelt und zu einem Grundkonzept (siehe Abbildung 4) zusammengefasst werden. Das Gesamtsystem zur Lesefeldanalyse unterteilt sich in zwei Subsysteme. Das Messdatenerfassungssystem dient der Ermittlung der Feldstärkeverteilung an der Installation. Die von ihm erfassten Daten werden an die Steuer- und Recheneinheit weitergegeben. Die Aufgabe der Steuer- und Recheneinheit ist einerseits diese Daten zur Interpretation sowie zur Darstellung aufzubereiten, andererseits werden auch die Befehle durch den Benutzer entgegengenommen und die Steuerungsaufgaben zur Messung übernommen.

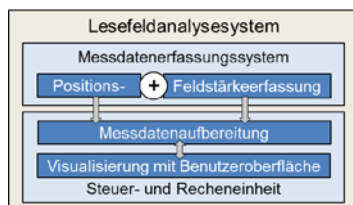


Abbildung 4. Systemmodell zum Lesefeldanalyse-System

##### 4.1 MESSKONZEPT ZUR ERFASSUNG DER RÄUMLICHEN FELDESTÄRKEVERTEILUNG

Eine wesentliche Anforderung ist die Feldstärkemessung ohne Transponderbezug zu erhalten, damit die Analyse zur Messung für unterschiedliche Transponder erfolgen kann. Zum Empfang des elektromagnetischen Feldes aus dem Freiraum zur Leistungsmessung können Feldmesssonden oder Antennen eingesetzt werden. Das empfangene Signal muss zur Feldstärkeermittlung an ein entsprechendes Leistungsmessgerät übertragen werden. Für den Erhalt der Feldstärkeverteilung aus Einzelmessungen werden die Positionen, an welchen die Messantenne die eine entsprechende Leistung aus dem Feld entnimmt benötigt. Dazu kann entweder eine konkrete Position vor der Messung eingenommen werden oder die Position wird ebenso vom System erfasst.

In [EPC09a] wird erster Ansatz verfolgt. Hier werden Messpunkte fest vorgegeben. Bei diesem Ansatz muss also zuerst jeweils eine Positionierung erfolgen bevor eine Feldstärkemessung an einem weiteren Punkt im Raum erfolgen kann. Dazu ist eine spezielle Haltevorrichtung nötig. Sofern diese die Positionierung nicht automatisch vornimmt, ist hier von vergleichsweise hohem Aufwand bei der Bedienung bzw. immer wieder erneuten Anbringung der Antenne auszugehen. Zudem würde eine derartige Vorrichtung die Mobilität und Flexibilität eines Messsystems stark einschränken.

Ein anderer bisher noch nicht verfolgter Ansatz ist es die Position der Messantenne durch den Einsatz von sogenannten Trackingsystemen zu ermitteln. Diese ermöglichen es die Position eines Objektes im Raum zu verfolgen. Sie finden deshalb Anwendung als Eingabegeräte im Bereich der Virtual-Reality. Andere Einsatzfälle gibt es bei computerassistierten Interventionen. Hier werden die chirurgischen Instrumente von Trackingsystemen verfolgt (vgl. [FSSCEM14]). Je nach Trackingtechnologie können diese Systeme mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich die Position bestimmen und liefern diese in hoher Frequenz. Zudem wird durch die Systeme meist auch die Orientierung und somit die Pose des verfolgten Objekts ermittelt.

Der Einsatz eines Trackingsystems zur Verfolgung der Pose der Messsonde ermöglicht aufgrund der beschriebenen Eigenschaften eine schnelle räumliche Erfassung der Feldstärke. Hierzu kann die Messsonden vom Nutzer des Systems frei durch das elektromagnetische Feld geführt werden. Die Einschränkung der Bewegung ist hierbei abhängig von der eingesetzten Trackingtechnologie nur wenig eingeschränkt. Dadurch entsteht eine hohe Flexibilität bei der gezielten Untersuchung der wichtigen Bereiche an der Installation. Die genannten Vorteile machen den Einsatz eines Trackingsystems zur Verfolgung der Messantenne zum geeigneten Messkonzept zur aufwandsgerechten Analyse von Lesefeldern an UHF-RFID-Installationen.

##### 4.2 SOFTWARETECHNISCHES KONZEPT ZUR LESEFELDDANALYSE

Zum vorgestellten Messkonzept wird ein zugehöriges Softwarekonzept benötigt, welches mehrere Aufgaben übernimmt. Hierzu gehören die Fernsteuerung der Komponenten des Messsystems sowie die Aufbereitung der erfassten Daten. Eine weitere wichtige Aufgabe des Softwaresystems ist die Kommunikation mit dem Nutzer. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang die Darstellung der Messergebnisse. Für eine möglichst einfache und intuitive Interpretation der räumlich erfassten Messergebnisse sieht das Softwarekonzept dementsprechend eine Visualisierung des elektromagnetischen Feldes in dreidimensionaler Darstellung vor. Zudem ist es wichtig den Kontext zur untersuchten Installation herzustellen. Dazu wird neben der Visualisierung des Lesefeldes ein Modell zur Installation abgebildet.

Als Grundlage zur Visualisierung der Daten werden diese zuvor aufbereitet. Hier muss zunächst eine Verknüpfung von Pose- und Feldstärkedaten vorgenommen werden. Je nach Untersuchungsaspekt erfolgt des Weiteren eine Filterung der Daten. Im Sinne eines Überblicks zur Ausprägung des Lesefeldes, wird vom Konzept vorgesehen einzelne Messpunkte entsprechend einer gewählten Auflösung zusammenzufassen. Durch eine Filterung der Darstellung anhand der Feldstärkewerte können gezielt

Lesefeldgrenzen sowie Leselöcher und Überreichweiten hervorgehoben werden.

Zugang zu den Funktionen zur Messung sowie Visualisierung erhält der Nutzer über eine grafische Benutzeroberfläche. Zudem werden weitere Angaben zur Messung und zur Auswertung über diese Schnittstelle übergeben. Auch die Einstellung der Visualisierung erfolgt über die grafische Schnittstelle.

## 5 IMPLEMENTIERUNG UND EVALUIERUNG DES MESSKONZEPTS

Nach der Ausarbeitung des in Abbildung 5 veranschaulichten Konzepts erfolgt deren Evaluierung durch den Aufbau und den Einsatz des Messkonzepts in Form eines Demonstrators.

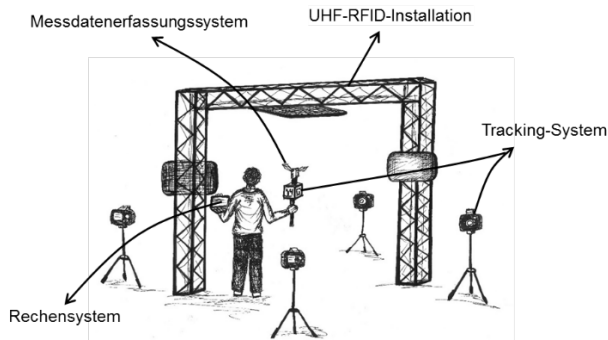


Abbildung 5. Skizze zum Messkonzept

Hierzu werden zunächst die passenden Komponenten zur Messdatenerfassung in einer Technologierecherche und -bewertung ermittelt.

### 5.1 AUSWAHL GEEIGNETER MESSKOMPONENTEN

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die Auswahl der geeigneten Messkomponenten anhand erhobener Kriterien erfolgt. Die Kriterien zur Bewertung der Technologien gehen aus den Anforderungen an das System sowie aus den Randbedingungen beim Einsatz in industrieller Umgebung hervor.

#### 5.1.1 AUSWAHL EINES GEEIGNETEN TRACKINGSYSTEMS

Nach Welch und Foxlin [WF02] gibt es im Bereich der Trackingsysteme keine Wunderwaffe, jedoch aber ein beachtliches Arsenal. Diese Aussage veranschaulicht den Bedarf für die Wahl des geeigneten Lösungsansatzes nach anwendungsspezifischen Auswahlkriterien. Tabelle 1 enthält die Bewertung der unterschiedlichen Ausprägungen von Trackingsystemen gegenüber der für ein Messkonzept nach Abschnitt 4 entscheidenden Kriterien.

Tabelle 1. Bewertung der Trackingsysteme

	Genauigkeit	Messvolumen	einfacher, schneller Aufbau	Robustheit	Updatrate	Flexibilität
akustisch / Ultraschall	⊕	○	⊖	×	⊖	⊕
Inertialsensork	×	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
elektromagnetisch	⊕	⊖	×	×	⊕	⊕
mechanisch	⊕	×	○	⊕	⊕	⊖
Papiermarker Tracking Inside-Out	○	⊕	⊕	○	○	⊖
Papiermarker Tracking Outside-In	○	⊕	⊕	○	○	⊕
optisches Infrarot-Tracking	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
Hybrides Tracking (akustisch/optisch) + inertial	⊕/⊕	⊕/⊕	⊕/⊕	⊖/⊕	⊕/⊕	⊕/⊖

⊕ = gut geeignet; ○ = geeignet; ⊖ = weniger geeignet; × = ungeeignet

Die Unterscheidung der verschiedenen Typen von Trackingsystemen erfolgt im Wesentlichen auf Basis der physikalischen Größen, die zur Bestimmung der Pose ausgewertet werden. Zur Bewertung der Trackingansätze ergeben sich aus den Anforderungen folgende entscheidende Kriterien zur Auswahl:

- erreichbare Genauigkeit
- Größe und Ausprägung des Messvolumens
- Einfachheit und Schnelligkeit des Aufbaus
- Robustheit gegenüber den Bedingungen im industriellen Umfeld
- Wiederholrate (Updatrate) der Messungen
- Flexibilität in Bezug auf das Tracking der Feldmessensoren

Akustische Trackingsysteme weisen im Bereich der Robustheit entscheidende Nachteile auf. Diese Systeme werten akustische Signale im Ultraschallbereich aus und werden daher durch verschiedene Umgebungsbedingungen beeinflusst. In [WF02] wird hier auf den Einfluss der Luftfeuchtigkeit sowie der Raumtemperatur verwiesen. Zudem besteht die Gefahr einer Beeinflussung der Funktion durch eventuell auftretenden Störgeräusche. Die erwähnten Nachteile gelten auch für hybride Lösungen, welche auf eine Kombination von akustischem und Inertialtracking zurückgreifen. Ein Tracking mittels Inertialsensoren weist in Bezug auf die meisten Kriterien eine gute Eignung auf. Der entscheidende negative Aspekt dieser Systeme ist der als Drift bezeichnete zeitlich akkumulierende Fehler, der in diesen Trackingsystemen auftritt. Elektromagnetisches Tracking wird entscheidend durch metallische Objekte in der Umgebung beeinflusst. Dies erschwert die Kalibrierung dieser Systeme und darüber hinaus werden die Messwerte durch bewegte metallische Objekte im Umfeld beeinflusst. Mechanisches Tracking wie z. B. durch Nutzung eines Messarms weist meist wie

im genannten Beispiel ein stark eingeschränktes Messvolumen auf. Theoretisch könnten diese Systeme bei größeren Abmessung größere Messvolumina abdecken. Dies bedeutet gleichzeitig aber einen vergrößerten Aufwand beim Aufbau der Systeme bzw. wird somit die Anforderung an die Mobilität des Systems nicht erfüllt.

Die verbleibenden Trackingsysteme lassen sich der Kategorie der optischen Trackingsysteme zuordnen. Hierbei werden drei unterschiedliche Ansätze unterschieden. Zwei der Ansätze basieren auf der Auswertung papierbasierter Markierungen. Zur Ermittlung der Pose werden bei diesen Systemen markante Punkte in einem Videobild ausgewertet. Auch die optischen Trackingsystemen, welche mit infrarotem Licht arbeiten, basieren auf dem gleichen Funktionsprinzip. Jedoch ergeben sich durch die Nutzung des infraroten Lichts und entsprechend angepasster Marker wesentliche Unterschiede in den Eigenschaften bzw. in der Leistungsfähigkeit der Systeme. Die Anwendungsprinzipien von optischen Trackingsystemen welche mit Inside-Out und Outside-In bezeichnet werden, haben vor allem Auswirkungen auf die sich ergebende Flexibilität bei der Handhabung der Feldmesssensorik. Während sich bei Inside-Out-Systemen der Sensor am bewegten Objekt befindet und die Markierung eine feste Referenz widerspiegelt ist es bei Outside-In-Systemen entgegengesetzt. Somit befindet sich bei der Inside-Out-Variante die Kamera an der Feldmesssensorik. Das birgt den Nachteil, dass bei der Handhabung auch auf das Sichtfeld der Kamera zu achten ist. Dieses sollte immer mindestens einen Marker erfassen, damit die Pose der Feldstärkemessung ermittelt werden kann.

Mit Infrarotlicht arbeitende optische Trackingsysteme setzen Markierungen aus retroreflektierendem Material ein, welches besonders stark das infrarote Spektrum zurückwirft. Dadurch können diese Markierungen sehr deutlich und genau in den Bildern der Kameras wiedergefunden werden. Die benötigte Infrarotlichtquelle ist bei diesen Systemen meist in das Kameragehäuse integriert. Aufgrund der Nutzung einer eigenen Lichtquelle und der speziellen Marker sind diese Systeme daher unanfällig gegenüber schlechten oder schwankenden Lichtbedingungen. Optisches Tracking mit infrarotem Licht erweist sich somit als beste Lösung zum Einsatz in einem Lesefeldanalyse-system.

### 5.1.2 AUSWAHL DER FELDMESSKOMONENTE

Zur Aufnahme und Messung der elektromagnetischen Feldstärke können im Wesentlichen folgende drei Systeme eingesetzt werden:

- spezielle Feldmesssonden
- Spektrumanalysatoren mit einer Antenne zur Leistungsaufnahme

- Power-Sensoren (auch Leistungsmessköpfe genannt) mit einer Antenne zur Leistungsaufnahme

Zur Untersuchung von Lesefeldern an UHF-RFID-Installationen nach dem beschriebenen Messkonzept werden folgende Kriterien anhand der Anforderungen zur Auswahl der geeigneten Technologie herangezogen:

- Möglichkeit zur Beschränkung der Bandbreite der Messung
- Flexibilität der Messung
- Handhabung der Messsensorik
- Wiederholrate der Messung
- Genauigkeit der Messung

Das Ergebnis der Bewertung der verschiedenen Systeme ist in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2. Bewertung der Feldmesssysteme

	Bandbreitenbeschränkung	Flexibilität der Messung	Handhabung der Messsensorik	Update rate	Genauigkeit
Feldmesssonden	X	⊖	⊕	⊕	⊕
Spektrumanalysator + Antenne	⊕	⊕	○	⊕	⊕
Power-Sensor (USB) + Antenne	über Filter	○	⊕	⊕	⊕

⊕ = gut geeignet; ○ = geeignet; ⊖ = weniger geeignet; X = ungeeignet

Feldmesssonden sind speziell auf die Messung der Feldstärke ausgerichtete Messsysteme. Sie sind in den meisten Kategorien aufgrund ihrer kleinen Bauform und technischen Eigenschaften gut für den Einsatzzweck geeignet. Der entscheidende Nachteil bei diesen Geräten ist, dass aufgrund des herkömmlichen Einsatzes zur Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit die Messung in einem sehr großen Frequenzbereich erfolgt. Dies ist bei der Untersuchung der UHF-Installationen nicht erwünscht. Hier darf nur der für die Aktivierung der Transponder verantwortliche Frequenzbereich untersucht werden. Somit würde die Anwesenheit von anderen Funksignalen wie z. B. WLAN oder DECT entscheidend die Messung mit Feldmesssonden verfälschen. Mit Feldmesssonden ist meist nur eine isotrope Erfassung der Feldstärke möglich. Hierdurch wird die Anpassung der Messung an die Empfangscharakteristik des Transponders nicht unterstützt.

Spektrumanalysatoren sind Messgeräte zur Erfassung von Signalpegeln im Frequenzbereich. Die Leistungsmessung mit diesen Geräten kann in einem frei wählbaren Frequenzbereich erfolgen. Zudem kann über die Messung mit Spektrumanalysatoren auch eine selektive Untersuchung weiterer anwesender eventuell störender Signale



erfolgen. Spektrumanalysatoren gibt es in unterschiedlichen Ausführungen mit verschiedenen Größen. Jedoch sind hochwertige Geräte aufgrund ihrer Abmessungen und ihres Gewichts meist nicht für den portablen Einsatz gedacht. Deshalb muss bei der Messung auf lange Leitungen zur Übertragung von Hochfrequenzsignalen zurückgegriffen werden. Mit dem Spektrumanalysator ist der Einsatz verschiedener Antennen möglich. So kann Empfangscharakteristik der Messung angepasst werden.

Leistungsmessköpfe für hochfrequente Signale, auch Power-Sensoren genannt, sind kleine Geräte welche oftmals in Kombination mit einem Spektrumanalysator eingesetzt werden. Es gibt zudem Geräte, die über USB-Schnittstelle direkt an einem Rechner betrieben werden können. In dieser Ausführung stellen diese Geräte eine preisgünstige Alternative für die Hochfrequenzleistungsmessung dar. Obwohl deren Messung ebenso wie die der Feldmesssonden auf einen großen Frequenzbereich ausgelegt ist, besteht hier die Möglichkeit auf Bandpassfilter zurückzugreifen, welche eine Filterung der entscheidenden Signale zulässt. Auch bei dieser Variante der Leistungsmessung kann mit unterschiedlichen Antennen gearbeitet werden.

Zur detaillierten Auswertung der Signale ist ein Spektrumanalysator einzusetzen. Aufgrund der geringeren Anschaffungspreise sind Power-Sensoren die günstige Alternative für die reine Leistungsmessung. Die umfangreichen Möglichkeiten zur Messung und Signalauswertung machen Spektrumanalysatoren zum Mittel der Wahl für die Analyse der UHF-Lesefelder.

## 5.2 AUFBAU EINES FUNKTIONSDEMONSTRATORS

Im Folgenden Abschnitt wird auf die Umsetzung eines Funktionsdemonstrators eingegangen, welcher die entwickelten Konzepte auf Machbarkeit prüft.

### 5.2.1 AUFBAU DES TRACKINGSYSTEMS

Zur Messung der Messantennenpose wird im Demonstrator das TRACKPACK-System der Firma Advanced Realtime Tracking GmbH eingesetzt (siehe Abbildung 6). Bei diesem Infrarot-Trackingsystem müssen die Bilder von mindestens zwei Kameras ausgewertet werden, damit eine Pose zu den Markern geliefert werden kann. Dazu müssen dem System die Posen der Kameras zueinander bekannt sein. Hierzu ist nach dem Aufbau des Systems eine Raumkalibrierung durchzuführen.



Abbildung 6. Trackingsystem des Demonstrators inklusive Kalibrierungstools

Mit dem am Funktionsdemonstrator eingesetzten Trackingsystem können bis zu vier Kameras betrieben werden. Dies ermöglichte ein Aufstellen der Kameras über Kreuz und eine Minimierung der Einschränkungen in der Bewegung aufgrund der Line-Of-Sight-Bedingung (siehe Abbildung 7). Zum Aufstellen der Kameras werden diese auf handelsübliche Kamerastativen montiert. Hierüber kann ein schneller und anpassungsfähiger Aufbau des Lesefeldanalysystems gewährleistet werden.

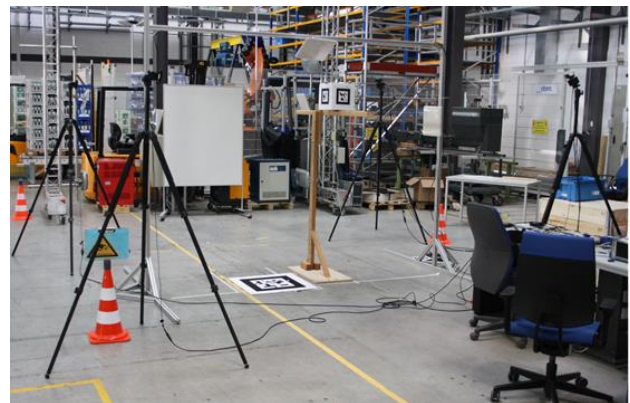


Abbildung 7. Aufbau der Trackingsysteme des Demonstrators

Damit alle erforderlichen Posen zur UHF-RFID-Installation, zum Bezugssystem und zur Messantenne erfasst werden können, werden entsprechende Marker bzw. Targets eingesetzt. Diese bestehen aus einer festen Anordnung der für optische Infrarot-Trackingsysteme typischen Kugeln, welche mit einem retroreflektierendem Material beschichtet sind (siehe Abbildung 8). Das Trackingsystem bestimmt die Pose bzw. Transformation  ${}^W T_M$  der körperfesten Koordinatensysteme (KOS)  $M$  der Marker in Bezug auf ein Welt-KOS  $W$ . Durch das Anbringen eines Markers an der Antenne (siehe Abbildung 8 rechts) wird das körperfeste KOS dieses Markers fest in Relation zum körperfesten KOS  $A$  der Antenne gesetzt. Dadurch kann über eine konstante Transformation  ${}^M T_A$  die Pose der Antenne im Bezugs-KOS  ${}^W T_A$  nach Formel 2 ermittelt werden.

$$W_{T_A} = W_{T_M} * M_{T_A} \quad (2)$$

Zudem können die Targets (siehe Abbildung 8 links) mit Kenntnis der Lage ihres körperfesten KOS auch zur schnellen Ermittlung einzelner Punkte bzw. Posen im Raum genutzt werden. So können die für die Konfiguration der RFID-Installation entscheidenden Posen, wie z. B. die der RFID-Antennen erfasst werden. Hierzu wird das KOS des Markers in die Position und Lage des zu messenden Objekts gebracht.



Abbildung 8. Marker einzeln (links) und Antenne mit Marker zur Messung (rechts) der Pose der Feldstärkemessung

### 5.2.2 AUFBAU ZUR FELDESTÄRKEMESSUNG

Der Aufbau und die Komponenten zur Messung der Feldstärkeverteilung eines UHF-Lesefeldes ist in Abbildung 9 gezeigt. Es beinhaltet sowohl Komponenten zur Messung als auch zur Erzeugung des Feldes.

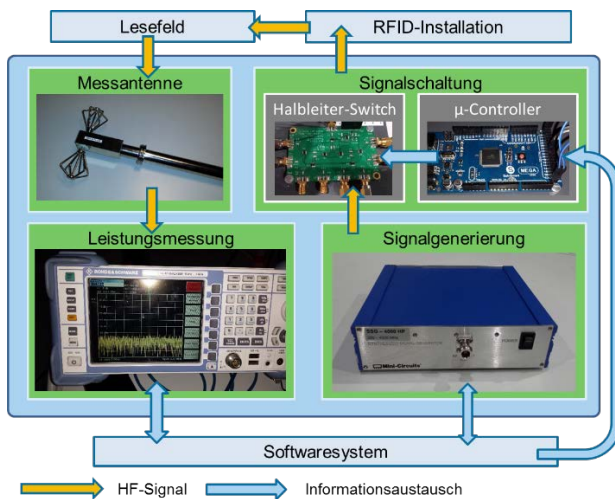


Abbildung 9. Aufbau des Systems zur Feldstärkemessung

Die Signalerzeugung kann nicht durch einen UHF-RFID-Reader erfolgen, da ein zeitlich stabiles Ausgangssignal zur Abstrahlung durch die Antennen der Installation benötigt wird. UHF-RFID-Reader liefern kein Signal mit einer konstanten Leistung, da diese im ständigen Wechsel zwischen Schreib- und Lesephasen wechseln. Dadurch wäre das gemessene Signal nicht auf eine Ausgangsleistung am Reader zurückzuführen. Daher wird im Funktionsdemonstrator ein Signalgenerator eingesetzt,

der per Softwareschnittstelle ferngesteuert wird. Das vom Signalgenerator ausgegebene Signal wird über einen Hochfrequenz-Halbleiterschalter auf die einzelnen Antennen des Identifikationssystems geschaltet. Dessen Ansteuerung wird durch eine Mikrocontrollerplattform übernommen. Durch die Verbindung über eine serielle Schnittstelle ist es damit möglich die einzelnen Antennen gezielt anzusteuern. Dadurch ist eine Verknüpfung des aufgenommenen Messwertes mit der Sendeantenne der Installation möglich. Zur Aufnahme der Leistung aus dem elektromagnetischen Feld wird eine bikonische Antenne eingesetzt (siehe Abbildung 8, rechts). Derartige Antennen besitzen eine dipolartige Empfangscharakteristik, welche oft bei Transpondern zu finden ist. Dies erlaubt Rückschlüsse zwischen der Ausrichtung der Messantenne und der späteren Ausrichtung der zu identifizierenden Transponder. Zur Leistungsmessung selbst wird im Funktionsdemonstrator ein Spektrumanalysator eingesetzt. Dieser erlaubt nicht nur die Beschränkung der Messung auf den relevanten Frequenzbereich, sondern es können zusätzlich mögliche Störsignale genauer analysiert werden.

### 5.3 EINSATZ DES MESSKONZEPTS

Eine verbesserte und vereinfachte Konfiguration durch Prüfung des resultierenden Lesefeldes an einer UHF-RFID-Installation mittels des vorgestellten Messkonzepts bedingt eine geeignete Vorgehensweise. Nachdem Aufbau des Systems an der zu untersuchenden Installation muss das Trackingsystem zunächst kalibriert werden. Hierüber werden zugleich das Bezugs- bzw. das Welt-KOS festgelegt. Dies kann in einem weiteren Schritt durch den Nutzer an einer selbst gewählten Stelle versetzt werden, um den Datenbezug selbst zu definieren. Nachdem das Bezugs-KOS festgelegt ist kann die Konfiguration der Installation mit dem System, wie in Abschnitt 5.2.1 erläutert, erfasst werden. Konkret werden hierzu die Posen der RFID-Antennen an der Installation über einen Marker erfasst, da dies die für die Konfiguration relevanten Daten darstellen.

Für die Messung der Feldstärkeverteilung wird zuvor eine räumliche Auflösung festgelegt. Entsprechend dieser Auflösung kann später eine Zusammenfassung der Einzelwerte erfolgen. Den Untersuchungsraum legt der Anwender per Angabe der Endpunkte der Raumdiagonalen eines Quaders an. Die Punkte werden hierzu über das Trackingsystem eingegeben. Nachdem alle Daten zur Messung bekannt sind wird ein Modell zur Installation und der festgelegte Untersuchungsraum wie in Abbildung 10 visualisiert. Der Untersuchungsraum wird gemäß der gewählten Auflösung in einzelne Quaderelemente unterteilt.

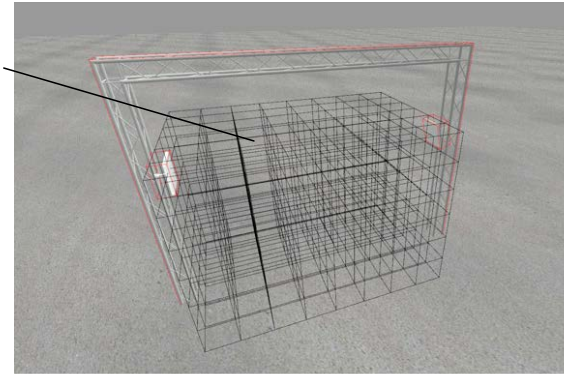


Abbildung 10. Visualisierung des Messvolumens an der Installation vor der Messung: (1) Darstellung des Messvolumens mit Quaderelementen, (2) Modell der Installation, (3) Visualisierung der UHF-RFID-Antennen

Während der Messung werden durch die Software die Pose der Messantenne sowie der Fortschritt visualisiert (siehe Abbildung 11). Dabei wird die Messantenne vereinfacht durch einen Dipol inklusive einer Darstellung seiner Empfangscharakteristik als Torus in der Visualisierung am jeweiligen Ort angezeigt bzw. mitbewegt. Zusätzlich wird die momentane Feldstärke anhand der Färbung des Torus übermittelt. Der Fortschritt der Vermessung wird über eine Art Fortschrittsbalken in den einzelnen Quaderelementen repräsentiert. So wächst dieser Balken mit der Anzahl der Messungen in diesem Bereich bis eine festgelegte Anzahl an Messungen erreicht ist und das Quaderelement verschwindet.

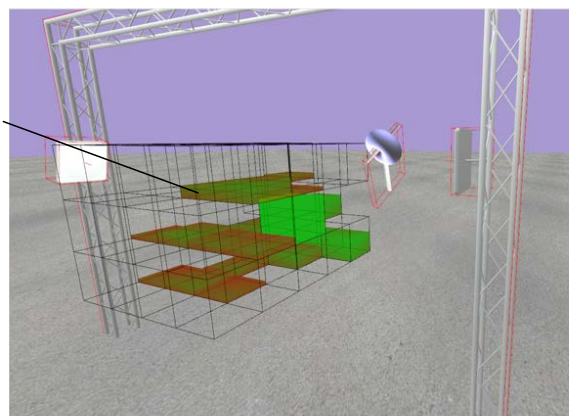


Abbildung 11. Visualisierung des Fortschritts der Messung: (1) Quaderelement mit geringer Anzahl an Messungen, (2) Quaderelement mit hoher Anzahl an Messungen, (3) Verschwundenes Quaderelement nach Erfassung einer ausreichenden Anzahl an Messwerten, (4) Darstellung der Messantenne an aktueller Pose

In Abhängigkeit der Auswertung der Messergebnisse können Maßnahmen zur Verbesserung der Konfiguration getroffen werden. Die Änderungen an der Konfiguration können dann durch eine erneute Messung geprüft werden.

## 5.4 VISUALISIERUNG DER MESSERGEBNISSE

Zur Auswertung der Messergebnisse stehen verschiedene Visualisierungsmethoden zur Verfügung, welche Aufschluss über die Güte des Lesefeldes zur aktuellen Konfiguration geben. Zudem können mögliche Konfigurationsmaßnahmen abgeleitet werden. In Abbildung 12 sind Einstellungsmöglichkeiten zur Visualisierung hervorgehoben. Diese helfen dem Nutzer bei der Betrachtung verschiedener Aspekte. Durch die Darstellungseinstellungen kann eine gezielte Ein- und Ausblendung der Werte der einzelnen Antennen vorgenommen werden. Des Weiteren werden unterschiedliche Visualisierungsmodi angeboten. Entsprechend dem gewählten Modus kann:

- eine Darstellung aller Messwerte
- die Anzeige von zusammengefassten Werten
- die Visualisierung von genäherten isotropen Werten

erfolgen. Die zusammengefassten und die isotropen Werte werden je in einem Quaderelement angezeigt. Sie werden aus den Einzelwerten mit dem gewichteten Mittelwert berechnet. Eine Gewichtung erfolgt hierzu je nach Abstand des einzelnen Messwerts vom Mittelpunkt des Quaderelements. Die isotrope Darstellung setzt voraus, dass je eine Messung mit Orientierung der Messantenne entlang der drei Hauptachsen erfolgt ist. Hierfür steht dem Nutzer je ein entsprechender Messmodus bereit, der die Fortschrittsanzeige auf die Anzahl der Messwerte bezieht welche in einer bestimmten Orientierung aufgenommen werden. Rechnerisch ergeben sich die isotropen Werte durch Näherung über den vektorialen Betrag der achsenbezogenen Messwerte.

Eine zusätzliche Filterungsmöglichkeit basiert auf der Orientierung der Messantenne während der Aufnahme der Messwerte. Dadurch ist eine Beurteilung des Lesefeldes in Bezug auf die Transponderorientierung möglich. Durch Transparenzeinstellungen können die Werte hervorgehoben oder auch ausgeblendet werden. Damit ist eine Untersuchung von Leselöchern und Überreichweiten möglich. In den Screenshots in Abbildung 13 sind die Ergebnisse der Anwendung der Filter und die verschiedenen Darstellungsmodi gezeigt.

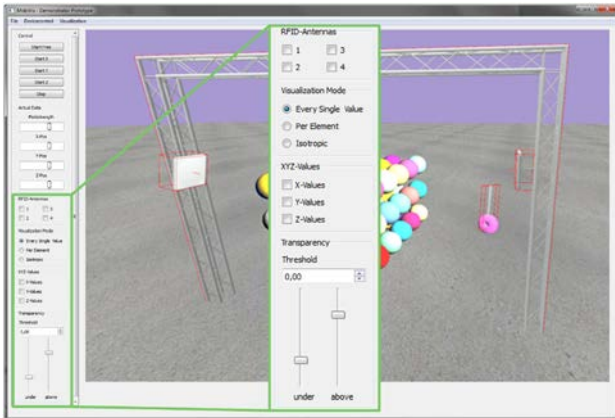


Abbildung 12. Einstellungsmöglichkeiten zur 3D-Visualisierung

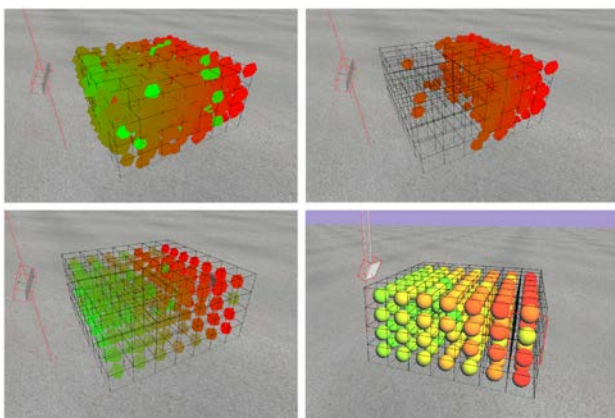


Abbildung 13. Visualisierungen des Lesefeldes in unterschiedlichen Modi und unter Anwendung von Filtern: Darstellung der einzelnen Messwerte (links oben), Anwendung von Transparenzfilter (rechts oben), Achsenbezogene zusammengefasste Werte (links unten), Näherung isotroper Werte (rechts unten)

## 5.5 EVALUIERUNG DES MESSKONZEPTS

Zur Evaluierung des Messkonzepts erfolgte der Aufbau und Einsatz des Funktionsdemonstrators in der Versuchshalle des fml. In dieser praxisnahen Umgebung wirken die wesentlichen Randbedingungen und Umgebungseinflüsse, welche auch beim Einsatz unter industriellen Bedingungen herrschen. Als Untersuchungsobjekt wurde ein UHF-RFID-Gate aufgebaut.

Der Aufbau des Demonstrators ist in weniger als 2 Stunden, also mit angemessenem Aufwand möglich und die Aufstellung des Trackingsystems ist flexibel an das Untersuchungsobjekt anpassbar. Die wechselnden vorherrschenden Lichtverhältnisse hatten aufgrund der Nutzung des Infrarot-Trackingsystems keinen Einfluss auf die Posemessung der Feldstärkeantenne. Teilweise werden Reflexionen des infraroten Lichts an spiegelnden Oberflächen durch das System detektiert. Ein Einfluss auf die Messung bzw. auf die Messwerte wird dabei nicht festgestellt. Jedoch ist bei der Aufstellung des Systems in Abhängigkeit der Anzahl eingesetzter Kameras die Position

und Ausrichtung des Nutzers bei der Messung mit einzuplanen, da hier die Line-of-Sight-Bedingung eine Beschränkung des Messvolumens darstellen kann. Es ist zu beachten, dass der Nutzer des Messsystems seine Position nach der minimalen Abschirmung bzw. Absorption des Lesefeldes durch seinen Körper richten muss. Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse. Trotz dieser Einschränkungen in der Vermessung des Feldes ist eine flexible Manipulation der Messantenne zur Aufnahme der Werte gut möglich.

Mit dem Funktionsdemonstrator lassen sich 30 Messungen pro Sekunde durchführen. Dies erlaubt die geforderte hohe räumliche Auflösung der Messung. Der Messraum ist beim Einsatz von vier Trackingkameras zur Untersuchung eines Gate mit einer Breite von 3m und einer Höhe von 2,5 m ausreichend.

Anhand der Erprobung des Funktionsdemonstrators und somit des Messkonzeptes konnte aufgezeigt werden, dass eine Prüfung des Lesefeldes und somit der Konfiguration einer Installation mit angemessenem Aufwand ermöglicht wird. Die Auswahl an Visualisierungsmethoden hilft dem Nutzer, also z. B. dem RFID-Systemintegrator, verschiedene Aspekte der Lesefeldausprägung zu beleuchten und ggf. konfigurierende Maßnahmen im Sinne einer zuverlässigen Lesung der Transponder abzuleiten.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In diesem Beitrag wird ein Messkonzept mit Methodik zur Prüfung der Konfiguration von UHF-RFID-Identifikationspunkten vorgestellt, das die Schwächen bestehender Systeme nivelliert. Es sieht vor, die Einstellungen des Systems anhand der Ausprägung der resultierenden Feldstärkeverteilung im Lesefeld zu prüfen und die Lesezuverlässigkeit abzuschätzen. Schwierigkeiten bzw. Probleme im Lesefeld und somit in der Lesezuverlässigkeit des Systems können so schnell erfasst und dem Systemintegrator visualisiert werden. Dies bedeutet zum einen Zeitersparnis bei der Inbetriebnahme, aber auch eine Möglichkeit Probleme bei der Umsetzung frühzeitig erkennen zu können. Die Konzeption des Messsystems erlaubt darüber hinaus eine aufwandsgerechte Untersuchung, um eine sinnvolle Alternative zu der in der Praxis noch oft angewendeten Methode des Versuch und Irrtums darzustellen. Schwierige Bedingungen für ein RFID-System können mit dem Messkonzept direkt vor Ort überprüft und analysiert werden.

In weiteren Untersuchungen gilt es, das geeignete Vorgehen mit dem Messsystem angepasst auf die verschiedenen Typen von RFID-Installationen festzustellen. Zudem ist eine Richtlinie zum Einsatz eines derartigen Systems sowie zur Interpretation der Ergebnisse zu erarbeiten.

Literatur:

- [B07] Bosselmann, P.: *Planning and Analysis of UHF RFID Systems for Consumer Goods Logistics Using Ray Tracing Predictions*. In: 2007 3rd European Workshop on RFID Systems and Technologies. RFID SysTech: 12-13 June 2007, Duisburg, Germany. [Piscataway, N.J.: IEEE], S. 1–10.
- [EPC09a] EPC -09-1.2:14. 07.2009: *Portal Field Strength Measurement Test Method For Applied Tag Performance Testing (Draft)*. EPCglobal 2009.
- [EPC09b] EPC -09-1.0.0:14.07.2009: *Portal Field Strength Measurement Test Method Evaluation and Minimum Performance Recommendation (Draft)*. EPCglobal 2009
- [FSSCEM14] Franz, A. M.; Schmitt, D.; Seitel, A.; Chatrasingh, M.; Echner, G.; Meinzer, H.-P. et al. (2014): *Kabelloses elektromagnetisches Tracking in der Medizin*. In: *Bildverarbeitung für die Medizin 2014*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Informatik aktuell), S. 360–365.
- [GL15] Günthner, Willibald A.; Lechner, Johannes: *RFID-MobiVis - Mobile Lesefelderfassung und -visualisierung von UHF-RFID-Installationen*. Garching: Lehrstuhl fml: 2015.
- [GMCF10] Günthner, Willibald A.; Meissner, Sebastian; Conze, Matthias; Fischer, Roland: *Stand und Entwicklung des RFID-Einsatzes in der Automobillogistik - Ergebnisse einer empirischen Studie*. Garching: Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik, Techn. Univ., 2010.
- [HJKO11] Hoefinghoff, J.-F.; Jungk, A.; Knop, W.; Overmeyer, L.: *Using 3D Field Simulation for Evaluating UHF RFID Systems on Forklift Trucks*. In: IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Jg. 59 (2011)2, S. 689–691.
- [ISO11] ISO/IEC 18046-1:2011-10: *Informationstechnik: Leistungstestsverfahren für RFID-Einrichtungen. Testverfahren für die Systemleistung*. International Organization for Standardization, 2011.
- [VDI08] VDI , 4472-10:2008-05: *Anforderungen an Transpondersysteme zum Einsatz in der Supply Chain - Testverfahren zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Transpondersystemen (RFID)*. VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik. Berlin: Beuth 2008.
- [WF02] Welch, G.; Foxlin, E.: *Motion tracking: no silver bullet, but a respectable arsenal*. In: IEEE Comput. Grap. Appl. 22 (6), 2002, S. 24–38.
- [WJJ11] Wang, Z.; Jin, R.; Jin, Y.: *Path Loss Prediction for Mobile Digital TV Propagation Under Viaduct*. In: IEEE Transactions on Broadcasting, Jg. 57 (2011) 1, S. 37–45.

Dieser Beitrag geht aus dem IGF-Forschungsvorhaben 17390 N/1 hervor:

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 17390 N/1 der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

---

**Dipl.-Ing. Johannes Lechner**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München.

**Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner**, Ordinarius am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München.

Adresse: Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik, Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching, Germany, Tel.: +49 89 / 289-159 21, Fax: +49 89 / 289-159 22, E-Mail: kontakt@fml.mw.tum.de