BALLUFF

sensors worldwide

BIS U-Basishandbuch

Grundlagen zum Betrieb eines
UHF – RFID Systems

BISU

deutsch

www.balluff.com

1 Einleitung 4

2 Sicherheitsabstände zur Antenne 5

3 Physikalische Grundlagen 7
3.1 Physik der Sendeantenne 8
3.2 Physik des Transponders 9

4 Referenzantennen und Antennenparameter 10
4.1 Referenz- oder Normantennen 10
4.2 Antennengewinn 11
4.3 Rückflussdämpfung und Spannungsstehwellenverhältnis 11
4.4 Öffnungswinkel 12
4.5 Vor-Rück-Verhältnis 12
4.6 Impedanz 13
4.7 Polarisation 13
4.8 Achsenverhältnis 14
4.9 Belastbarkeit (Power Rating) 14

5 Antennenkabel 15

6 Berechnung der abgestrahlten Leistung 16

7 Eigenschaften der Komponenten und Systemverhalten 17
7.1 Speichertopologie des Datenträgers 17
7.2 Struktur des EPC-Codes 17
7.3 Antennenformen der Datenträger 18
7.4 Richtcharakteristik der Datenträger-Dipolantenne 19
7.5 Ansprechempfindlichkeit der Datenträger - Ansprechfeldstärke 19
7.6 Theoretische Lesereichweite 20

8 Reflexion, Streuung und Adsorption von elektromagnetischen Wellen 21
8.1 Änderung des Polarisationsachsenverhältnisses 22
8.2 Auswirkungen unterschiedlicher Umgebungsverhältnisse 22
8.3 Dämpfung von elektromagnetischer Strahlung 23

9 Montageabstände für Antenne und Transponder 24
9.1 Antennen an einer Auswerteinheit 24
9.2 Abstände zu Strukturen der Umgebung 24
9.3 Montage von Transponder 24

10 Betrieb von mehreren Auswerteeinheiten 25
10.1 Frequenzsprungverfahren 25
10.2 Listen-Before-Talk 25
10.3 Erstellung eines Sendeplans 25

11 Maßnahmen zur Verbesserung der Betriebsicherheit von UHF-Systemen 26
11.1 Feldreserve und Arbeitsabstand 26
11.2 Verwendung von mehreren Antennen 27

1 Einleitung

In diesem Dokument werden die physikalische Wirkungsweise des RF-Identifikationssystems BIS U sowie die Aufgaben der Einzelkomponenten innerhalb des Gesamtsystems beschrieben.

Weiterhin werden die Ausbreitung und das Verhalten von elektromagnetischen Wellen im Raum und deren Wechselwirkung mit allgemeinen Gegenständen und Gebäudeeinrichtungen praxisnah behandelt.

In einem gesonderten Abschnitt werden Sicherheitsabstände zu Antennen angegeben, die bei Antennenkonfigurationen zu beachten sind, wenn sich Menschen zeitweise oder ständig im Strahlungsbereich der Antennen befinden.

Die in dieser Dokumentation angegebenen Leistungsmerkmale, wie z. B. Betriebsfrequenzen und Strahlungsleistungen sind beispielhaft und beziehen sich auf die in der Europäischen Gemeinschaft gültigen gesetzlichen Bestimmungen.

2 Sicherheitsabstände zur Antenne

Beim Einsatz des Identifikationssystems BIS U ist es möglich, dass sich Menschen kurz oder auch längere Zeit im Strahlungsbereich der Antennen aufhalten.

Zusätzlich zu den Produktnormen, die andere Funkdienste gegen Störungen oder Beeinträchtigungen durch das RFID-System schützen sollen, hat die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) Grenzwerte für HF-Felder erarbeitet, um eine Schädigung des menschlichen Gewebes durch HF-Felder zu verhindern. Diese sogenannten Basiswerte – die spezifische Absorption SA J/kg oder die spezifische Absorptionsrate SAR in W/kg – beschreiben die mittelbaren oder unmittelbaren Auswirkungen auf das Gewebe.

Für die praktische Anwendung werden aber abgeleitete Werte verwendet, die mit einfacheren Methoden gemessen oder berechnet werden können. Sie wurden so festgelegt, dass unter Zugrundelegung der ungünstigsten Expositionsbedingung in keinem Fall die Basiswerte überschritten werden.

Für eine gebräuchliche Long-Range-Antenne, deren abgestrahlte Leistung in Hauptstrahlrichtung 2 $Watt_{ERP}$ beträgt, wird dieser Grenzwert in der Regel für Abstände größer als 24 cm unterschritten. Bei 4 $Watt_{EIRP}$ beträgt der Sicherheitsabstand 30 cm.

Für geringere Sendeleistungen verringert sich der Sicherheitsabstand entsprechend.
Die Konsequenz dieser Arbeitsschutzvorgabe ist, dass sich Personen nicht über längere Zeit näher als 24 cm bzw. 30 cm zur Antenne aufhalten sollen.

2 Sicherheitsabstände zur Antenne

Es sind folgende Maßnahmen zur Einhaltung der Arbeitsschutzvorschrift möglich:

- als organisatorische Maßnahme die Erstellung von Betriebsanweisungen, die notwendige Angaben für einen sicheren Betrieb enthalten und auf die Möglichkeit der Expositionen von elektromagnetischen Feldern hinweisen.
- Sicherung der Antennen durch Schutzeinrichtungen oder Abgrenzungen, so dass sich Personen während des Betriebs nicht unzulässig nahe an der Antenne aufhalten können.

In jedem Fall ist jedoch vor Beginn der Tätigkeit und danach in angemessenen Zeitabständen eine Unterweisung durchzuführen.

Nach heutigem Wissenstand ist selbst ein kurzfristiger Aufenthalt im Nahbereich der Antenne gesundheitlich unbedenklich. Während des Betriebs von Reader und Antenne kann es unter Umständen zu Beeinträchtigungen von Herzschrittmachern kommen, wenn sich die Träger der Herzschrittmacher im Antennenbereich aufhalten. Im Zweifelsfall sollen sich die betroffenen Personen an den Hersteller ihres Herzschrittmachers oder an ihren Arzt wenden.

Die folgende Abbildung zeigt den Feldstärkeverlauf im Nahbereich einer Antenne sowie Grenzwerte der elektrischen Feldstärke am Beispiel der EU-Richtlinie.

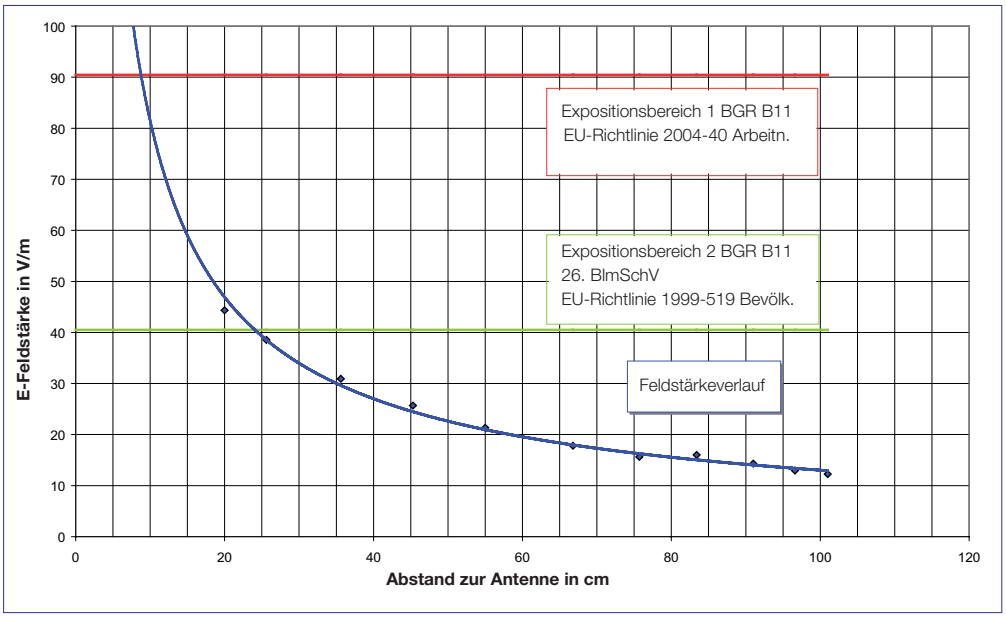


Abbildung 1: Elektrisches Feld im Nahbereich der Antenne für 2 $Watt_{ERP}$. Berücksichtigt sind beide Komponenten der zirkular polarisierten Antenne

3 Physikalische Grundlagen

Das BIS U-System gehört zur Klasse der UHF-Identifikationssysteme.
Unterstützt werden Datenträger deren Luftschnittstellen-Protokoll gemäß ISO 18000-6C bzw. dem EPCglobal™ Class-1 Generation-2-Standard aufgebaut ist.

Detailinformationen zu Leistungsmerkmalen der UHF-Identifikationssysteme, wie Betriebsfrequenzen und Strahlungsleistungen sind in den entsprechenden Produkthandbüchern zu finden.

Die hier eingesetzte UHF-Technologie ermöglicht auch für passive Transponder (d. h. ohne eigene Stromversorgung) eine Kommunikationsdistanz von mehreren Metern.

3 Physikalische Grundlagen

3.1 Physik der Sendeantenne

Die UHF-Antenne ist ein offener Schwingkreis, dessen elektrische Felder in den Raum hinaus reichen. Die einfachste Form einer UHF-Antenne ist ein elektrischer Dipol.
Aufgrund der hohen Anregungsfrequenz kommt es aber bereits in der Nähe der Antenne zu Feldablösungen. Die im Feld gespeicherte Energie entfernt sich dann annähernd mit Lichtgeschwindigkeit von der Antenne.

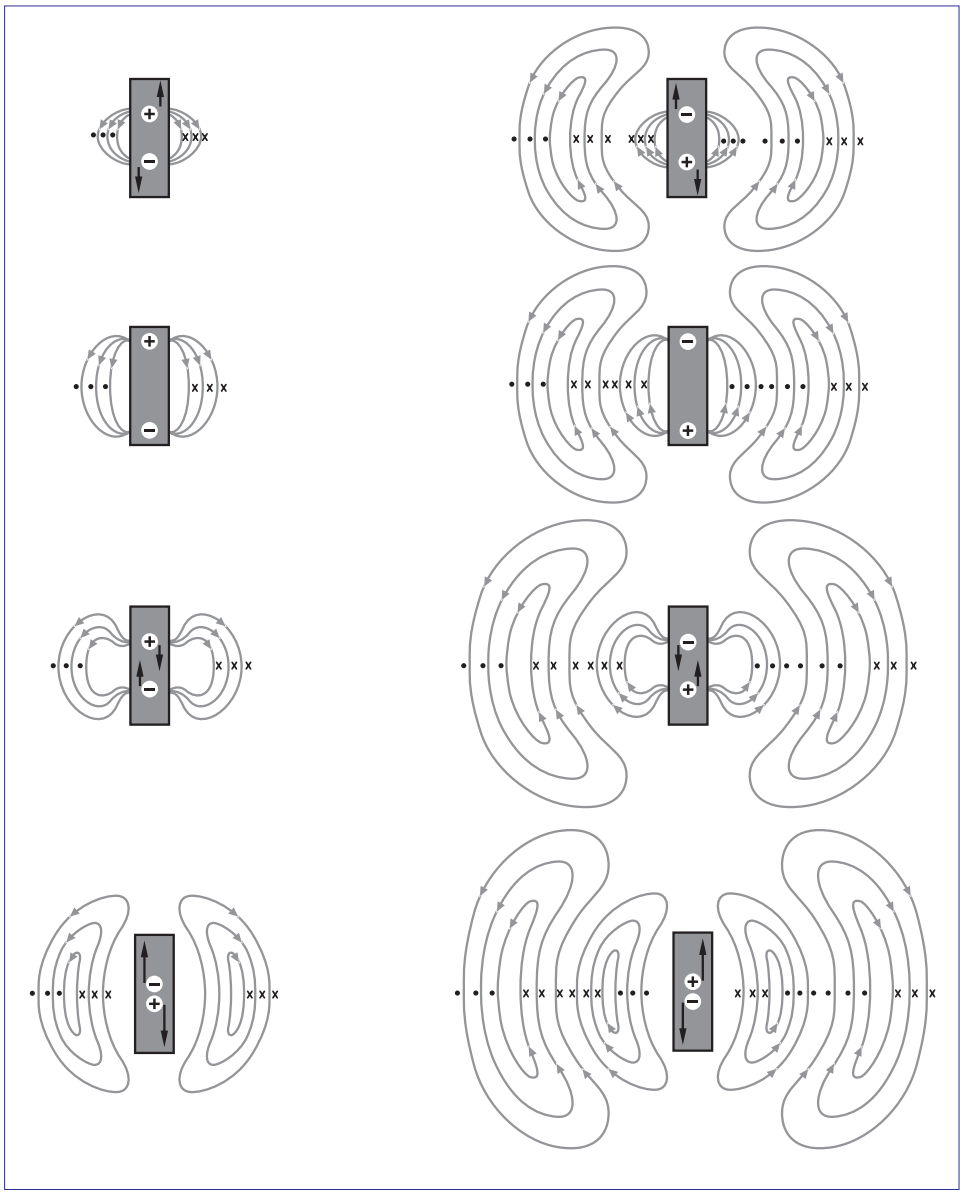


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Ablösungsvorgangs

Da sich die Energie mit wachsender Entfernung auf immer größere Raumbereiche verteilt, nimmt die Feldstärke reziprok zur Entfernung ab.
Dieser Verdünnungsvorgang wird auch als "Freiraumdämpfung" bezeichnet.

3 Physikalische Grundlagen

3.2 Physik des Transponders

Die Antennen der Datenträger sind aufgrund ihrer Form und Größe in der Lage, die vom Identifikationssystem BIS U ausgesandten elektromagnetischen Wellen sowohl zu reflektieren als auch zu absorbieren.

Da der passive Transponder (Datenträger) keine eigene Energieversorgung z. B. in Form einer Batterie besitzt, muss er die für den Betrieb notwendige Energie aus dem elektromagnetischen Feld entnehmen. So wird ein Teil der an den Anschlüssen der Antenne anliegenden HF-Spannung gleichgerichtet und zur Versorgung des ICs eingesetzt.

Der weitaus größere Teil der eingestreuten Leistung wird jedoch reflektiert. Eine zeitlich gesteuerte Änderung des Reflexionsverhaltens der Dipolantenne, führt zu einer zurück gestreuten und in seiner Amplitude (Intensität) modulierten elektromagnetischen Welle. Diese wird von der Antenne der Auswerteeinheit detektiert und anschließend demoduliert.

Diese Form des Informationsaustauschs zwischen den Partnern des Identifikationssystems wird als elektromagnetisches Backscatter-Verfahren bezeichnet.

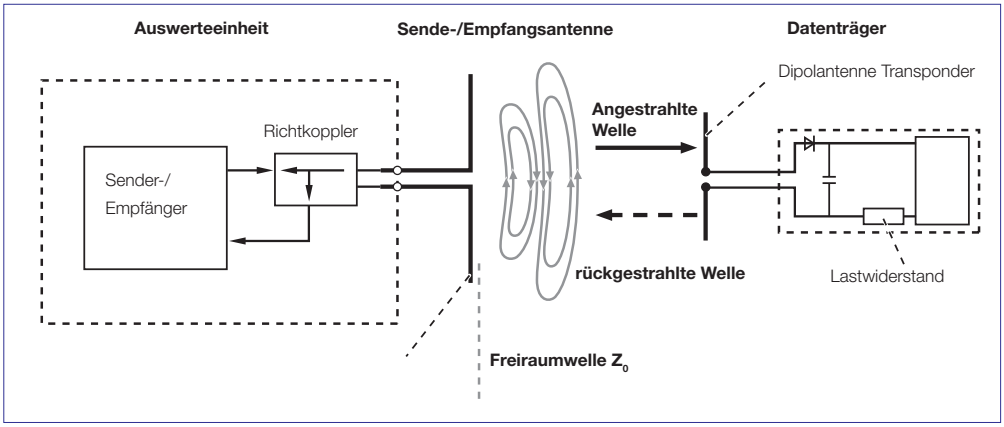


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Backscatter-Verfahrens

4 Referenzantennen und Antennenparameter

An die BIS U-Auswerteeinheit können nur passive Antennen angeschlossen werden. Die Leistungsbeschreibung der Antennen erfolgt über einen allgemein verbindlichen Parametersatz von messbaren Eigenschaften. Dies sind:

- Antennengewinn
- Rückflussdämpfung/VSWR
- Öffnungswinkel
- Vor-/Rückverhältnis
- Impedanz
- Polarisation
- Achsenverhältnis
- Belastbarkeit

4.1 Referenz- oder Normantennen

Anhand von Referenz- oder Normantennen werden die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Antennen und die quantitative Erfassung der von der Antenne abgestrahlten Leistung erreicht.

Es werden folgende Antennen zur Referenzbildung herangezogen:

Isotroper Kugelstrahler	Der isotrope Kugelstrahler ist eine hypothetische, verlustfreie Antenne, die in alle Richtungen des Raums gleichmäßig abstrahlt. Sie erzeugt eine im Abstand **r** winkelunabhängige Leistungsdichte.
Halbwellen-Dipol (λ/2-Dipol)	Die Feldstärkemaxima stehen senkrecht zur Dipolebene. Es wird eine Leistungsdichte in der Form einer Acht erzeugt.

Werden in beiden Antennen die gleichen Hochfrequenzleistungen eingespeist, so besitzt der Halbwellendipol in den Hauptstrahlrichtungen eine höhere Feldstärke als der isotrope Strahler. Zwischen den beiden Werten besteht aber ein direkter Zusammenhang: Die Strahlungsleistung eines Halbwellendipols in Hauptstrahlrichtung ist um den Faktor 1.64 (2.15 dB) höher als die eines isotropen Strahlers.

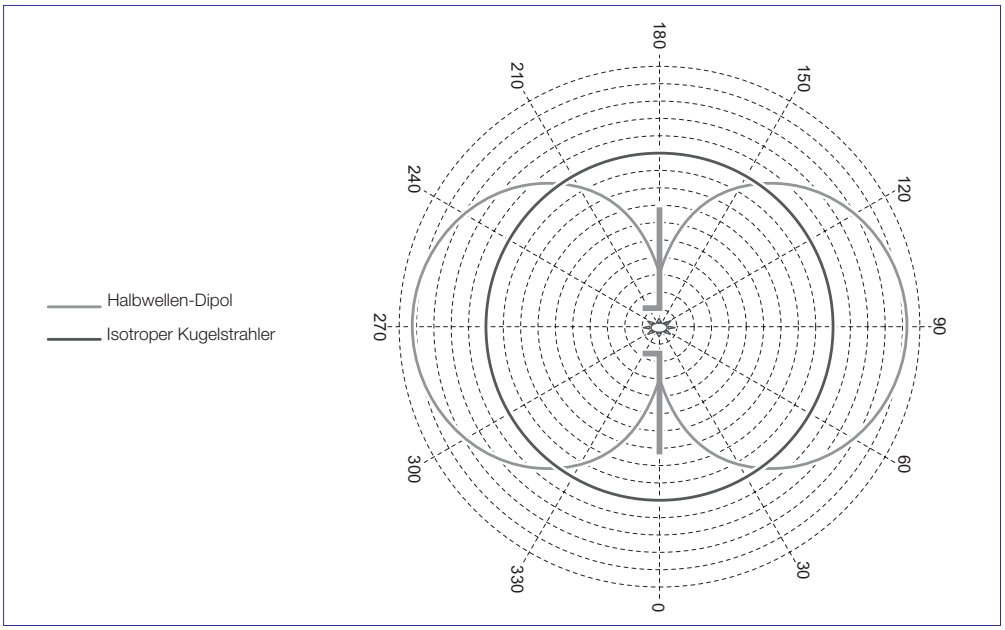


Abbildung 4: Vertikales Strahlungsdiagramm der Referenzantennen

4 Referenzantennen und Antennenparameter

4.2 Antennengewinn

Reale Antennen bündeln die Strahlung und besitzen daher eine Richtung maximaler Strahlleistungsdichte (Hauptstrahlrichtung).

Um Antennen unterschiedlicher Bauform bzw. Richtcharakteristik vergleichbar zu machen und um ein Maß zu nennen, wie stark die abgestrahlte Leistung einer Antenne in eine Vorzugsrichtung gerichtet wird, muss der Antennengewinn herangezogen werden. Dieser gibt an, um welchen Faktor die in Hauptstrahlrichtung abgestrahlte Leistung höher ist, als die einer Referenzantenne.
Gebräuchlich ist es, den Gewinn einer realen Antenne, bezogen auf den isotropen Kugelstrahler anzugeben.

G[dBi]	linearer Gewinn bezogen auf den isotropen Kugelstrahler
G[dBic]	zirkularer Gewinn bezogen auf den isotropen Kugelstrahler

In Abbildung 4 ist zu sehen, dass beim Halbwellendipol ebenfalls eine Strahlungsbündelung auftritt. Bezogen auf den isotropen Kugelstrahler beträgt sein Antennengewinn:

$$\mathbf{G[dBi]_{Halbwellendipol} = 2.15\ dBi}$$

4.3 Rückflussdämpfung und Spannungsstehwellenverhältnis

Das Spannungsstehwellenverhältnis (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR) und die Rückflussdämpfung (Return Loss, RL) zeigen an, wie viel der über das Kabel zur Antenne laufenden Energie am Empfangsantenneneingang zur Auswerteeinheit reflektiert wird. Ein schlechter VSWR-Wert kann Störungen oder Rauschen verursachen.
Für die BIS U 302-Antenne wird als typischer Wert < 1.2 zu 1 angegeben.

4 Referenzantennen und Antennenparameter

4.4 Öffnungswinkel

Durch die Angabe des Öffnungswinkels wird ein weiterer Parameter der Richtcharakteristik einer Antenne erfasst. Man bezeichnet damit den Öffnungswinkel, bei dem gerade noch die halbe Leistung – Abfall der Leistung um 3 dB – abgestrahlt wird. Bezugsgröße ist wieder der Maximalwert in Hauptstrahlrichtung. Da es sich bei den Antennen immer um passive Komponenten handelt, steht der Antennengewinn im direkten Zusammenhang mit dem Öffnungswinkel: je höher der Antennengewinn, desto kleiner ist der Öffnungswinkel.

In einigen Ländern, wie z. B. Ländern der europäischen Gemeinschaft, ist die maximale, zulässige Strahlungsleistung abhängig vom Öffnungswinkel der verwendeten Antenne.

In der geltenden Produktnorm EN 302 308 (Ausgabe V1.1.2 2006-07) wird die zulässige Strahlungsleistung einer Antenne mit deren Öffnungswinkel wie folgt korreliert:

- Öffnungswinkel ≤ 70 Grad Strahlungsleistung bis 2 $Watt_{ERP}$
- Öffnungswinkel > 70 Grad Strahlungsleistung bis 0.5 $Watt_{ERP}$

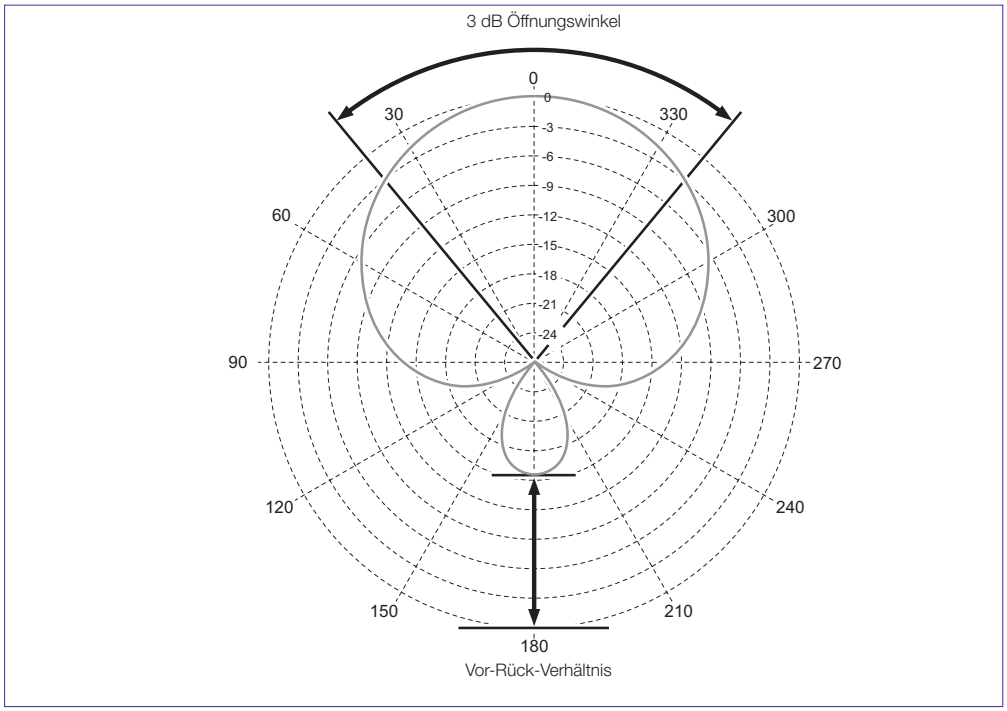


Abbildung 5: Strahlungsdiagramm einer realen Antenne - Horizontalschnitt

Zur vollständigen Beschreibung werden zwei Öffnungswinkel angegeben: der vertikale Öffnungswinkel (Elevation) und der horizontale Öffnungswinkel (Azimut).

4.5 Vor-Rück-Verhältnis

Die elektromagnetischen Wellen werden auch von Richtantennen nicht nur in die Hauptstrahlrichtung, sondern auch in andere Raumrichtungen insbesondere der rückwärtigen Raumrichtung abgestrahlt. Um eine gute Ausrichtung der Funkfelder auf den ausgewählten Datenträger zu erhalten, wird eine möglichst starke Unterdrückung dieser Nebenkeule angestrebt.

Die Dämpfung der rückwärtigen Strahlrichtung bezogen auf die abgestrahlte Leistung in Hauptstrahlrichtung wird als Vor-Rück-Verhältnis bezeichnet (siehe Abbildung 4).
Für die BIS U 300-Antenne wird als typischer Wert > 18 dB angegeben.

4 Referenzantennen und Antennenparameter

4.6 Impedanz

Für eine bestmögliche Leistungsübertragung zwischen der Auswerteeinheit und der Antenne müssen alle Komponenten die gleiche reelle Impedanz besitzen.

Das BIS U-System ist zum Anschluss von Systemkomponenten (Antenne und Kabel) ausgelegt, die einen Wellenwiderstand bzw. eine Impedanz von Z = 50 Ω aufweisen.
Abweichungen in der Impedanz führen zu einer Fehlanpassung, wodurch Reflexionen und stehende Wellen auftreten können. Sie können die Leistungsfähigkeit des Gesamtssystems signifikant verringern.

4.7 Polarisation

Der Feldvektor von elektromagnetischen Wellen im Raum ist gerichtet. Die Ausrichtung des Feldvektors bzw. die Richtung der Schwingung wird als Polarisation der Welle bezeichnet.
Es wird zwischen linearer und zirkularer Polarisation unterschieden, wobei Antennen mit der letzteren Eigenschaft an Bedeutung gewinnen. Der Grund liegt darin, dass die Feldstärke von zirkular polarisierten Wellen in jeder Raumorientierung denselben Wert besitzt.

Aufgrund ihrer Bauform zeigen die meisten UHF-Datenträger Empfangscharakteristiken, die einer Dipolantenne sehr ähnlich sind. Um solche Datenträger lageunempfindlich zu machen, werden Sendeantennen mit zirkularer Polarisation eingesetzt.

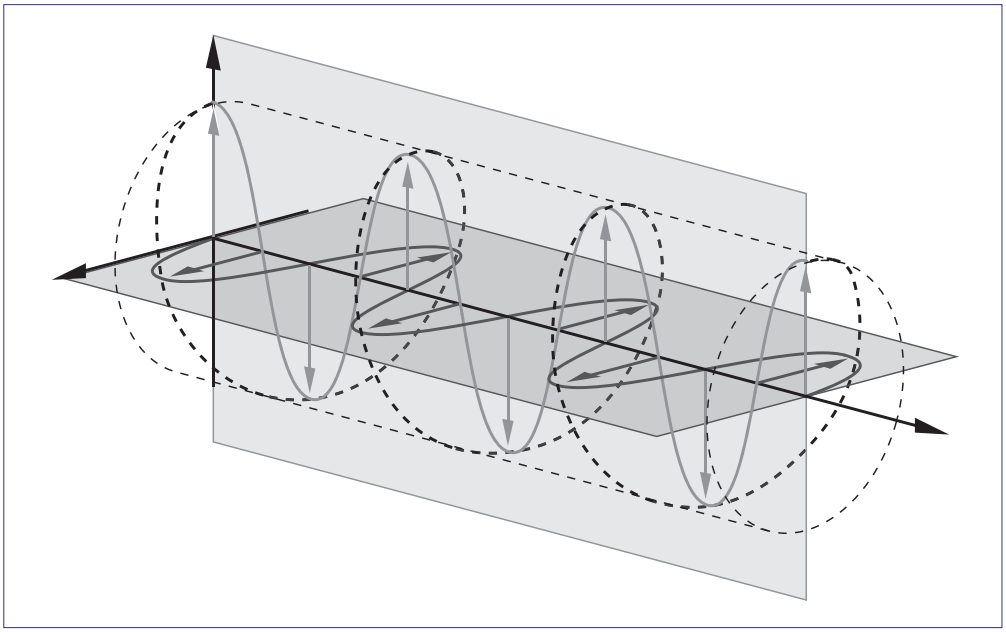


Abbildung 6: Zirkular polarisierte Welle

Bei der zirkularen Polarisation unterscheidet man zusätzlich zwischen links- und rechtsdrehender zirkularer Polarisation. Da die Transponder meistens linear polarisierte Antenneneigenschaften besitzen, ist diese Charakteristik in der überwiegenden Zahl der Anwendungen zu vernachlässigen.

4 Referenzantennen und Antennenparameter

4.8 Achsenverhältnis

Eine exakt gleich große Auslenkung in beide Raumachsen wird bei realen Antennen jedoch nicht erreicht. Die so entstehende Polarisationsellipse wird durch das Achsenverhältnis (Axial-Ratio) der beiden Komponenten beschrieben. Für die BIS U 302-Antenne wird als typischer Wert 1 dB angegeben.

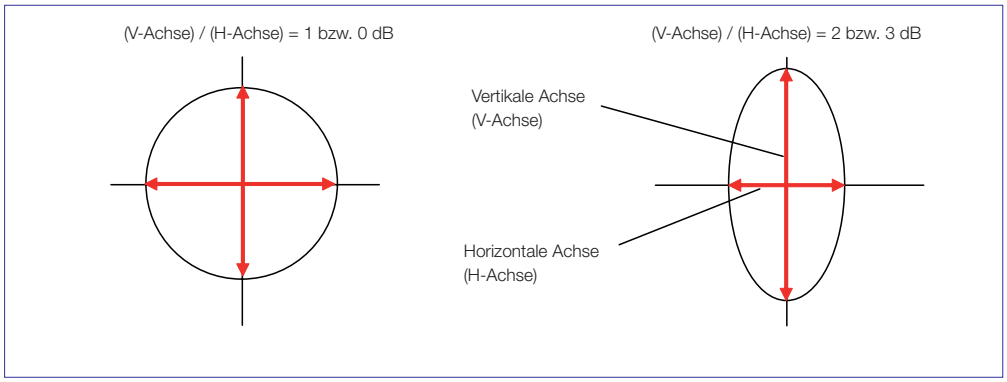


Abbildung 7: Achsenverhältnis einer zirkular polarisierten Antenne

4.9 Belastbarkeit (Power Rating)

Beschreibt die maximale Wirkleistung, mit der die Antenne betrieben werden kann.

5 Antennenkabel

Um Reflexionen und stehende Wellen (Resonanzen) in der Antennenzuleitung zu vermeiden, dürfen nur koaxiale Antennenkabel mit einem Wellenwiderstand bzw. einer Impedanz von Z = 50 Ω verwendet werden.

Die Verluste, die bei der Übertragung der elektrischen Leistung an die Antenne entstehen, werden als Kabeldämpfung bezeichnet.

Die Höhe der Kabeldämpfung ist für einen ausgewählten Kabeltyp, bestimmt durch seinen Kabeldurchmesser, Kabelaufbau und Frequenzgang, nur noch von der Länge des Kabels abhängig. In der Regel wird die Kabeldämpfung vom Kabelhersteller in der Einheit **dB pro Meter** (dB/m) angegeben.

6 Berechnung der abgestrahlten Leistung

Als abgestrahlte Leistung der Antennen wird immer der in Hauptstrahlrichtung messbare Wert angegeben. Grenzwerte bezüglich der von Antennen abgestrahlten Leistung, werden im Geltungsbereich der EU anhand einer sogenannten effektiven Strahlungsleistung (ERP = Effective Radiated Power), bezogen auf den Halbwellendipol angegeben.

Der ERP-Wert beschreibt also, welche effektive Leistung eine mit P_0 gespeiste Dipolantenne in der Vorzugsrichtung abstrahlt. Der ERP-Wert einer Antenne, dessen Gewinn bezogen auf den Isotropstrahler angegeben ist, berechnet sich gemäß folgender Gleichung:

$ERP = P_0 + G_i - 2.15dBi$ mit

P_0[dBm] Antennenspeiseleistung
G_i[dBi] Antennengewinn bez. auf Isotropstrahler
2.15 dBi Gewinn des Dipols bez. auf Isotropstrahler

Eine weitere Darstellungsform der Strahlungsleistung ist die effektive Strahlungsleistung, bezogen auf einen isotropen Kugelstrahler (EIRP = Effektive Isotropically Radiated Power). Strahlungsleistungen in Form von EIRP-Werten sind unter anderem in den USA gebräuchlich.

Da Additionen leichter durchzuführen sind, werden die Gleichungen zur Berechnung der Strahlungsleistung von Antennen logarithmiert und die Leistungsangaben auf 1 mW normiert. Damit können alle notwendigen Antennen- und Leistungsparameter in Dezibel angegeben und einfach additiv miteinander verknüpft werden.

Zur Berechnung der abgestrahlten Antennenleistung werden folgende Parameter benötigt bzw. verwendet:

P_0[dBm] Buchsenausgangsleistung der Auswerteeinheit bezogen auf 1 mW
G[dBic] zirkularer Antennengewinn bezogen auf den isotropen Kugelstrahler
$G[dBi]_{Halbwellendipol} = 2.15$ dB Antennengewinn des Halbwellendipols
Ak[dB] Kabeldämpfung pro Meter
L[m] Kabellänge in Metern

Damit kann folgende Beziehung zur Berechnung der äquivalenten Strahlungsleistung einer Antenne bezogen auf den Halbwellendipol angegeben werden:

(1) $ERP[dBm] = P_0[dBm] - Ak[dB] \bullet L[m] + G[dBic] - 2.15$ dB
$EIRP[dBm] = P_0[dBm] - Ak[dB] \bullet L[m] + G[dBic]$

Oder umgeordnet zur Bestimmung der zulässigen Buchsenleistung der Auswerteeinheit:
(2) $P_0[dBm] = ERP[dBm] + Ak[dB] \bullet L[m] - G[dBic] + 2.15$ dB
$P_0[dBm] = EIRP[dBm] + Ak[dB] \bullet L[m] - G[dBic]$

LEISTUNG	
Watt	dBm
4.000	36
2.000	33
1.000	30
0.500	27
0.250	24
0.125	21
4.000	36

Tabelle 1: Korrelationstabelle

7 Eigenschaften der Komponenten und Systemverhalten

An dieser Stelle sollen einige grundsätzliche Eigenschaften und Eigenheiten der UHF-Komponenten erörtert werden, um die Auswahl der Systemkomponenten zu erleichtern. So können die verwendeten Systemkomponenten ihre Aufgaben in der Anwendung optimal erfüllen.

7.1 Speichertopologie des Datenträgers

Der Speicher eines „typischen“ UHF-Datenträgers ist wie folgt aufgeteilt:

96 bit	EPC-Read/Write Speicher (erweiterbar bis z. B. 448 bit).
512 bit	frei verfügbarer Read/Write-Speicherbereich für kundenspezifische Anwendungen.
32 bit + 64 bit	TID - unveränderbare, eindeutige Produkt- und Seriennummer
32 bit	Zugangspasswort
32 bit	Kill-Passwort zur Zerstörung des Transponder (von BIS U nicht unterstützt)

7.2 Struktur des EPC-Codes

Mit Einführung des EPC-Codes soll ein Migrationspfad für den Übergang vom Barcode zur RFID-Technologie geschaffen werden. Gemäß EPCglobal bzw. GS1-Konvention ist die Datenstruktur des 96 bit EPC-Codes wie folgt standardisiert.

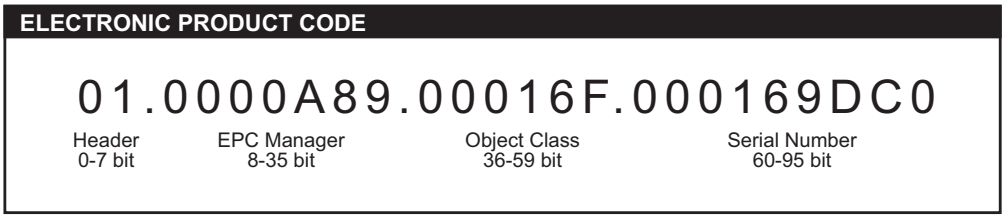


Abbildung 8: EPC-Code

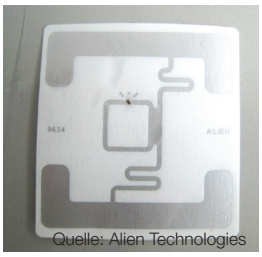
Header Bitpositionen (0…7)	beschreibt die Länge des EPC-Codes mögliche Längen von 64 bis 256 bit, 01 Länge 96 bit
EPC-Manager Bitpositionen (8…35)	beschreibt den Hersteller des Produkts
Object Class Bitpositionen (36…59)	beschreibt das Produkt (Stock Keeping Unit)
Serial Number Bitpositionen (60…95)	mit ihr lassen sich 2^{37} Individuen unterscheiden

7 Eigenschaften der Komponenten und Systemverhalten

7.3 Antennenformen der Datenträger

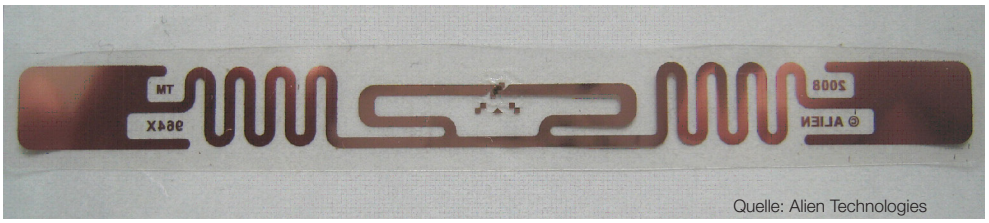
Da im Fernfeld die Leistung ausschließlich aus dem elektrischen Feld entnommen wird, ist das Antennendesign weitgehend auf dipolähnliche Formen beschränkt. Eine Sonderstellung nehmen dabei Datenträger mit Schlitz-, Patch- oder Mikrostreifenresonatorantennen ein, die dann direkt auf Metallflächen montiert werden können. Auf sie soll aber nicht näher eingegangen werden.

Die Datenträger mit dipolähnlichen Antennen gibt es in einer Vielzahl von Formen und Größen, wie zum Beispiel:


Quelle: Alien Technologies



Quelle: UPM Raflatac



Quelle: Alien Technologies

Abbildung 9: Datenträger mit verschiedenen Antennendesigns

Eine Reduzierung der Baugröße wird durch Verwendung von RF-Loop-Antennen mit zusätzlichen Strahlerelementen (Sperrkreisdipole) erreicht, wodurch auch eine Anwendung im Nahfeld ermöglicht wird.

7 Eigenschaften der Komponenten und Systemverhalten

7.4 Richtcharakteristik der Datenträger-Dipolantenne

Das Dipol-Antennenprinzip des Datenträgers führt zu einer orientierungsabhängigen Empfindlichkeit des Bauteils.

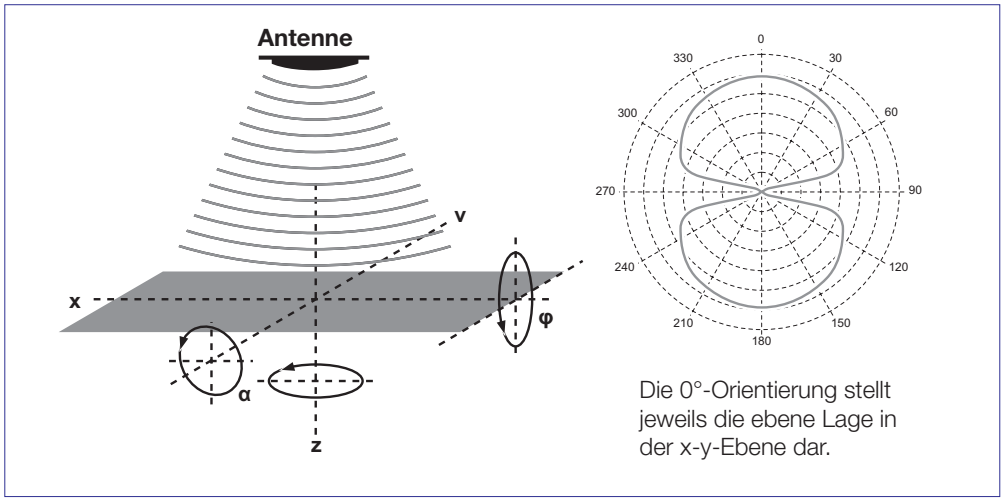


Abbildung 10: Orientierungsabhängige Empfindlichkeit der Datenträger-Dipolantenne

Qualitativ gelten folgende Aussagen:

- Wird eine zirkular polarisierte Sendeantenne verwendet, wird keine orientierungsabhängige Empfindlichkeit bei einer Drehung um die z-Achse beobachtet.
- Bei einer Drehung um die x-Achse wird eine Reduzierung der Empfindlichkeit bei den Drehwinkeln von 90° und 270° beobachtet.
- Bei einer Drehung um die y-Achse wird ein Verschwinden der Lesefähigkeit bei den Drehwinkeln von 90° und 270° beobachtet.

7.5 Ansprechempfindlichkeit der Datenträger - Ansprechfeldstärke

Zur Versorgung des ICs sind passive RFID-Datenträger darauf angewiesen, dass sie die notwendige Energie für den Betrieb der Schaltkreise aus den von der Antenne der Auswerteeinheit ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen entnehmen können.

Die Ansprechfeldstärke ist somit die minimale Feldstärke am Ort des Datenträgers, die zum Betrieb der IC-Schaltung erforderlich ist. Die Nutzung des externen E-Feldes, die eine an den Anschlüssen der Antenne anliegende und ausreichend hohe HF-Spannung erzeugt, wird entscheidend durch die Antennenform und Abstimmung auf die Betriebsfrequenz beeinflusst.

Die Leistungsaufnahme des Datenträger-ICs unterscheidet sich zwischen den einzelnen Halbleiterherstellern und Designgenerationen und hat ebenfalls Einfluss auf die Ansprechempfindlichkeit des Datenträgers.

Die Ansprechempfindlichkeit ist von besonderer Bedeutung, da ein Datenträger, der sich in einem HF-Feld ausreichender Stärke befindet, von der Auswerteeinheit in der Regel auch erkannt werden kann.

7 Eigenschaften der Komponenten und Systemverhalten

7.6 Theoretische Lesereichweite

Unter optimalen Bedingungen nimmt die elektrische Feldstärke im Fernfeld (näherungsweise > 70 cm) reziprok zur Entfernung ab (Freiraumdämpfung). Durch Variation der Antennenleistung kann somit eine Kurvenschar erzeugt werden, die jedem Punkt im Raum eine eindeutige Feldstärke zuweist.

Durch Schnitt der Ansprechfeldstärke mit der jeweiligen Feldstärkekurve lässt sich die theoretische Lesereichweite für die verschiedenen Strahlungsleistungsstufen der Antennen bestimmen. Der so bestimmte Wert für die Lesereichweite wird unter idealen Randbedingungen im freien Feld oder in einer großen Absorberkammer erreicht.

	Antennenleistung in Watt		
	2.0	1.0	0.25
Transponder I	260 cm	190 cm	90 cm
Transponder II	820 cm	560 cm	280 cm

Tabelle 2: Theoretische Lesereichweiten als Funktion der Antennenleistung

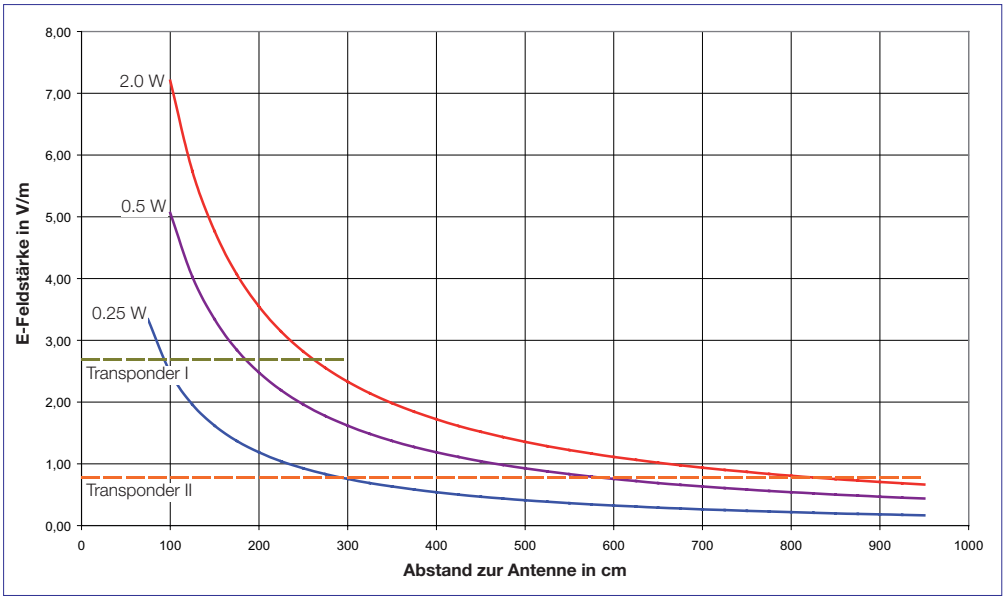


Abbildung 11: Bestimmung der theoretischen Lesereichweite

8 Reflexion, Streuung und Adsorption von elektromagnetischen Wellen

Elektromagnetische Wellen breiten sich nach der Ablösung von der Antenne annähernd mit Lichtgeschwindigkeit aus und treffen auf Objekte unterschiedlichster Beschaffenheit. Die Welle kann sowohl absorbiert als auch in unterschiedlicher Stärke in viele Richtungen reflektiert oder gestreut werden.
Neben der Materialbeschaffenheit, hier sei an Metalle oder polare Flüssigkeiten erinnert, hat die Größe der Hindernisse einen entscheidenden Einfluss auf die Rückstreueigenschaften:

Rayleigh-Bereich	Die Reflexionen sind vernachlässigbar, wenn deren Ausdehnungen deutlich kleiner als die Wellenlänge sind.
Resonanz-Bereich	Die Objektgröße ist vergleichbar mit der Wellenlänge. Es werden resonante Absorptionen und Abstrahlungen von scharfen Objektkanten, Schlitzen und Spitzen beobachtet, die zu Änderung der Polarisationsrichtung, zu Feldüberhöhungen oder zu Feldauslöschungen führen können.
Optischer Bereich	Die Objektabmessungen sind groß gegenüber der Wellenlänge. Geometrie und die Lage des Objekts (Einfallswinkel der Welle) haben einen Einfluss auf das Rückstreuergebnis. Näherungsweise können die Erfahrungen aus der geometrischen Optik genutzt werden.

Die Überlagerungen der Primär-Welle mit vagabundierenden Teilwellen, die durch Reflexionen, Streuung oder Beugung an metallischen Strukturen in einer realen Umgebung entstehen, können zu lokalen Überhöhungen oder Verringerung der elektrischen Feldstärke führen. Ist die Absenkung der Feldstärke so stark, dass sie unter den Wert für die Ansprechfeldstärke des Datenträgers sinkt, so bricht die Kommunikation zwischen Auswerteeinheit und Datenträger ab. Führt jedoch an einem weiter entfernt liegenden Punkt vor der Antenne, die Wechselwirkung mit der Umgebung wieder zu einer Erhöhung der Feldstärke, so kann hier wieder eine stabile Kommunikation zwischen Datenträger und Auswerteeinheit entstehen. Durch Feldüberhöhungen können so auch Überreichweiten erzeugt werden.

Aus diesem Grunde können für ein vorgegebenes UHF-Identifikationssystem – bestehend aus Datenträger und Antenne/Auswerteeinheit – keine für alle Applikationen oder Randbedingungen gültigen Lesereichweiten angegeben werden.

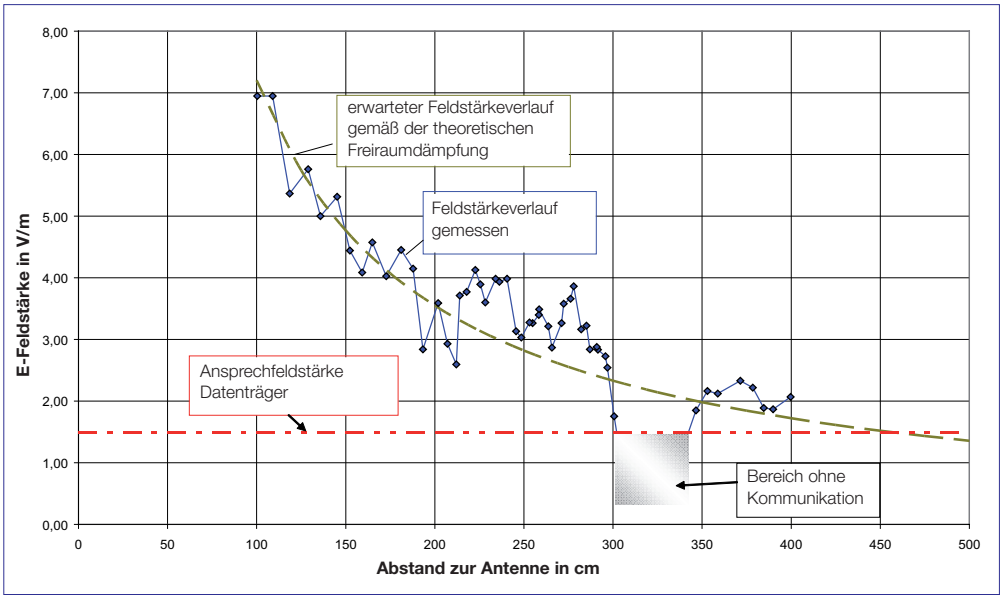


Abbildung 12: Entstehung von Bereichen ohne Kommunikation (Leselöcher)

Es wurde bereits qualitativ begründet, dass die Wechselwirkung der elektromagnetischen Wellen mit den Objekten der realen Umgebung und mit sich selbst zu Veränderungen der erwarteten Feldstärkeverteilung bzw. Freiraumdämpfung führen. Es soll an ausgewählten Beispielen die Auswirkung solcher Wechselwirkung auf das Verhalten der UHF-Technologie dargestellt werden.

8 Reflexion, Streuung und Adsorption von elektromagnetischen Wellen

8.1 Änderung des Polarisationsachsenverhältnisses

Die Wechselwirkung mit den Strukturen der Umgebung, führen zu Änderungen der ursprünglich nahezu gleich großen Achskomponenten einer zirkular polarisierten Welle.
Dies führt dazu, dass je nach Höhe der Ansprechfeldstärke deutliche Unterschiede im Leseverhalten bzw. in der Lesereichweite beobachtet werden, je nach dem ob der Datenträger vertikal oder horizontal montiert wird.

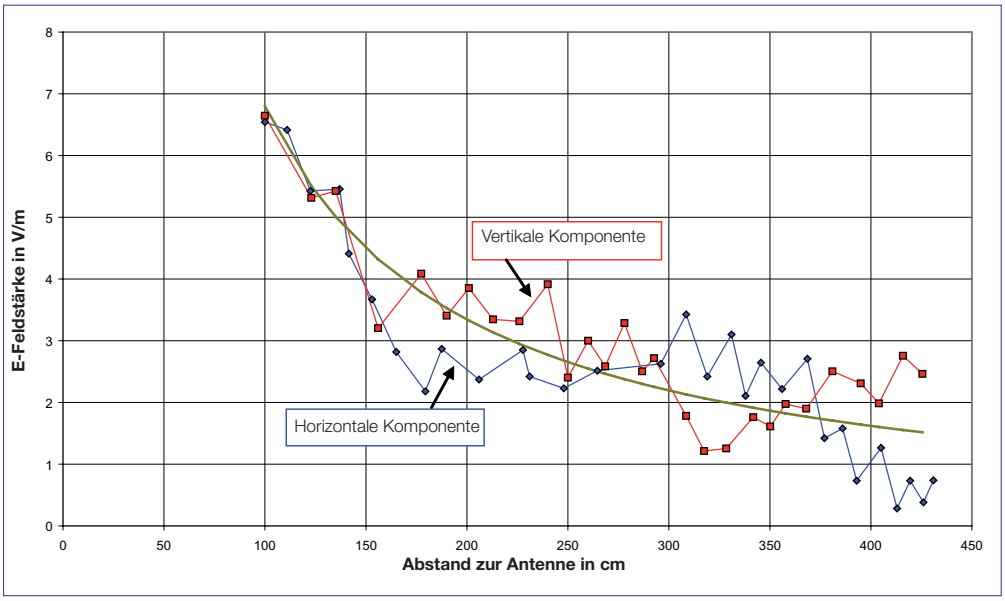


Abbildung 13: Änderung des Achsverhältnisses der Polarisationskomponenten

8.2 Auswirkungen unterschiedlicher Umgebungsverhältnisse

Da sich die Verteilung, die Materialien und die Geometrie der Hindernisse im Raum von Anwendung zu Anwendung unterscheiden können, ist zu erwarten, dass sich dies direkt auf das Aussehen der Feldstärkeverteilung auswirken wird. In Abbildung 14 wurde mit einer zirkular polarisierten Antenne die vertikale Komponente des elektrischen Feldstärkeverlaufs in Hauptausbreitungsrichtung für drei unterschiedliche Räumlichkeiten vergleichend gemessen.

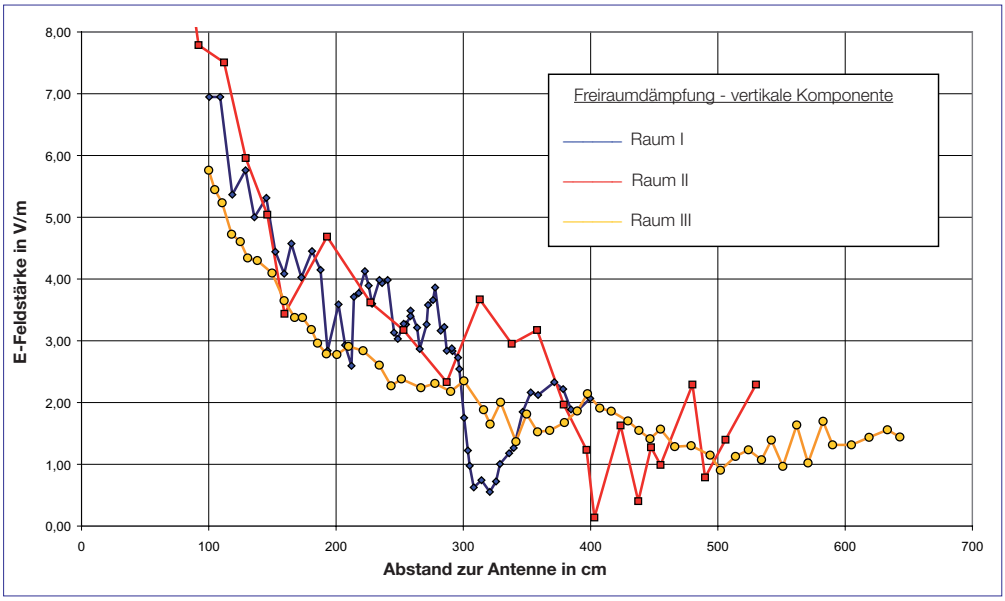


Abbildung 14: Freiraumdämpfungskurve in Hauptstrahlrichtung für drei unterschiedliche Räumlichkeiten

8 Reflexion, Streuung und Adsorption von elektromagnetischen Wellen

8.3 Dämpfung von elektromagnetischer Strahlung

Von den niederfrequenten RFID-Systemen ist bekannt, dass alle elektrisch nichtleitenden Materialien nahezu verlustfrei durchdrungen werden. Bei den UHF-Systemen ist das Verhalten bei der Durchdringung von Materie differenzierter zu behandeln.

- Festkörper oder Flüssigkeiten, die aus polaren Molekülen aufgebaut sind und z. B. Wasser oder kohlenstoffhaltige Substanzen enthalten, besitzen eine große HF-Dämpfung und schwächen die von der Antenne ausgesandte Strahlung signifikant. Dies führt dazu, dass z. B. der menschliche Körper für die Ausbreitung der elektromagnetischen Welle ein unüberwindbares Hindernis darstellt.
- Mineralöle dagegen schwächen die elektromagnetischen Wellen in einem sehr geringen Maße, da sie aus nicht polaren Molekülen bestehen. So können z. B. SmartLabels direkt auf Kunststoffbehälter mit Mineralölen geklebt werden.
  Metallische Oberflächen oder Gitterstrukturen, die aus metallischen Stäben oder Maschen bestehen, sind von UHF-Wellen nicht zu durchdringen. Zu dieser Gruppe sind auch metallarmierte Betonwände zu zählen.
- Elektrisch nichtleitende, trockene Materialien wie z. B. Kunststoffe, Papier und Holz werden nahezu verlustfrei durchdrungen.

9 Montageabstände für Antenne und Transponder

9.1 Antennen an einer Auswerteinheit

Auch wenn die Antennen an einer Auswerteeinheit angeschlossen sind, sollten zur Vermeidung von unzulässigen Wechselwirkungen Mindestabstände für folgende Konfigurationen eingehalten werden:

- Montage von zwei Antennen nebeneinander > 50 cm
- Montage von zwei Antennen mit dem Rücken zueinander > 50 cm

9.2 Abstände zu Strukturen der Umgebung

Um eine Verstimmung der Antenne oder eine Rückstreuung von starken elektromagnetischen Feldern zu vermeiden, ist zu metallischen Bauteilen oder polaren Flüssigkeiten ein Mindestabstand von 50 cm einzuhalten.

9.3 Montage von Transponder

Eine direkte Montage der Datenträger auf Metallflächen kann zu einer drastischen Verringerung der Lesereichweite führen. Je nach Antennendesign können Abstände von mindestens 15 mm zur Metalloberfläche zu einer deutlichen Verbesserung der Leseperformance führen.

Um eine Verstimmung der Datenträger zu vermeiden, sollte der Mindestabstand zwischen zwei Datenträgern 50 mm nicht unterschreiten.

10 Betrieb von mehreren Auswerteeinheiten

Aufgrund der großen Reichweite für die UHF-Felder ist es möglich, dass sich Auswerteeinheiten gegenseitig negativ beeinflussen können, wenn sie gleichzeitig betrieben werden und zufällig die selben Betriebsfrequenzen gewählt haben.

10.1 Frequenzsprung-verfahren

Eine Möglichkeit der Störvermeidung ist, dass die Auswerteeinheiten in einer zufälligen Abfolge ihren Sendekanal (Frequencyhopping) wechseln.

Je nach Anzahl der verfügbaren Kanäle innerhalb des zulässigen Frequenzbandes sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass mehrere Reader zur selben Zeit auf dem selben Kanal senden.

Die Anzahl der Kanäle kann abhängig von den nationalen Bestimmungen verschiedener Länder variieren.

10.2 Listen-Before-Talk

Ein weiteres Verfahren der Störvermeidung ist das sogenannte Listen-Before-Talk-Verfahren. In einigen Ländern, wie z. B. Ländern der Europäischen Gemeinschaft, stehen lediglich 10 Kanäle zur Verfügung. Da dort die Wahrscheinlichkeit, dass mehrere Reader auf demselben Kanal senden recht hoch ist, wird vor dem Senden überprüft, ob der gewählte Kanal frei ist.

Nur wenn der gewählte Kanal wirklich frei ist, wird mit dem Senden begonnen (Listen-before-Talk). So sollen Überschneidungen oder Kollisionen verhindert werden. Um eine dynamische Nutzung der Sendekanäle zu gewährleisten, darf die Sendezeit maximal 4 Sekunden betragen. Anschließend ist eine Pause von 100 ms einzulegen oder direkt zu einem neuen und nicht belegten Kanal zu springen.

Mit der Novellierung der ETSI-Norm EN 302 208 (V1.2.1) ist dieses Verfahren zur Verringerung der gegenseitigen Störungen nicht mehr zwingend vorgeschrieben. Es wird das Verfahren aus dem Kapitel 10.3 bevorzugt.

10.3 Erstellung eines Sendeplans

Durch die Vergrößerung des Kanalabstands (ETSI 302 208 V1.2.1) auf 600 kHz ist bereits gewährleistet, dass bei allen möglichen Funkprofilen – hier wird u. a. die Lage des Seitenbandes relativ zur Sendefrequenz festgelegt – eine gegenseitige Überlagerung der Sende- und Empfangssignale zwischen benachbarten Sendekanälen ausgeschlossen ist.

So können mit der Zuweisung von unterschiedlichen Sendekanälen für die beteiligten Auswerteeinheiten, d. h. mit der Erstellung eines Sendeplans, die gegenseitigen Störungen verhindert werden.

Bei der Anwendung des **Dense Reader Modus**, hier beträgt der Abstand zum Seitenband sogar 320 kHz (gemäß ETSI TS 102 562). Dadurch ist der Betrieb von mehr als einem Reader pro Kanal möglich.

11 Maßnahmen zur Verbesserung der Betriebsicherheit von UHF-Systemen

In einer realen Umgebung wird die von der Antenne ausgessendete Primärwelle an großen Objekten wie Wänden, Fußböden, abgestellten Transportbehältern etc. reflektiert und erhält so als vagabundierende Sekundärwelle ein eigenständiges und unkontrollierbares Ausbreitungsverhalten.

Die Interferenzen zwischen der Primärwelle und den Sekundärwellen führen dann im ungünstigen Fall zu Feldabschwächungen. In einer solchen Multi-Reflexions-Umgebung ist es nahezu unmöglich, die Feldstärke für einen bestimmten Ort vorauszusagen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass eine Veränderung der Umgebung, wie sie z. B. durch bewegte Transporteinrichtungen erzeugt wird, auch eine sich zeitlich ändernde Feldstärke bewirken kann.

11.1 Feldreserve und Arbeitsabstand

Lokale oder temporäre Absenkungen der Feldstärke haben die gleiche Wirkung wie eine vorsätzliche Verringerung der Sendeleistung während des Lesebetriebs. Wurde nun die Sendeleistung der Antenne auf das notwendige Minimum reduziert, sodass der Datenträger gerade noch erkannt wird, ist mit der Feldstärkeverringerung in der Multi-Reflexions-Umgebung eine Unterbrechung der Kommunikation verbunden.

In den Abbildungen 12, 13 und 14 ist deutlich zu sehen, dass die Größe der Schwankungen mit dem Abstand zur Sendeantenne zunimmt. Um in einer Multi-Reflexions-Umgebung trotz Feldstärkefluktuationen dafür zu sorgen, dass das elektrische Feld niemals die Anregungsfeldstärke des Datenträgers unterschreitet, ist eine Feldreserve in der Größenordnung der Fluktuationsamplitude zu berücksichtigen. Dies führt zu einer kalkulatorischen Erhöhung der Ansprechfeldstärke und somit über den Schnittpunkt mit der Leistungskurve zu dem sogenannten Arbeitsabstand.

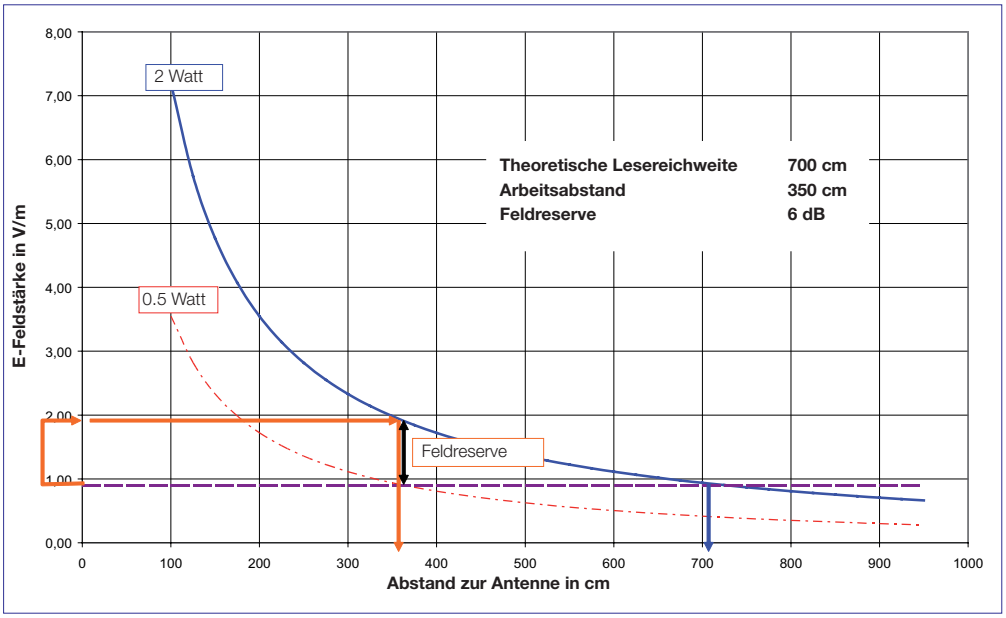


Abbildung 15: Graphische Herleitung des Arbeitsabstands für einen Datenträger

Bei der Auslegung von UHF-Systemen ist empfehlenswert, folgende Regeln zu beachten:

- Die vom Hersteller oder Systemlieferanten angegebenen Werte für den Arbeitsabstand eines Datenträgertyps sollten nicht überschritten werden.
- Für einen im Arbeitspunkt positionierten Datenträger ist durch Verringerung der Sendeleistung die Ansprechfeldstärke zu ermitteln. Für den Betrieb ist dann die Sendeleistung gerade um die Feldreserve zu erhöhen. Für die meisten Anwendungen wird eine Feldreserve von 50 %…100 % als ausreichend angesehen.

11 Maßnahmen zur Verbesserung der Betriebsicherheit von UHF-Systemen

11.2 Verwendung von mehreren Antennen

Jede Antenne erzeugt eine andere räumliche Feldverteilung, da für jede Antenne die Hindernisse einer Multi-Reflexions-Umgebung räumlich angeordnet sind.
So ist zu erwarten, dass die lokale Feldstärke am Ort des Transponders seinen Wert ändern wird, sobald eine räumlich anders positionierte Antenne den Sendebetrieb aufnimmt.

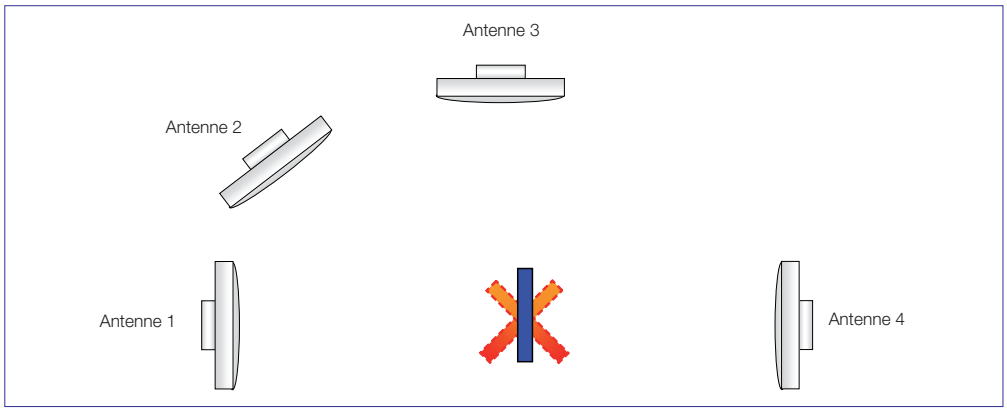


Abbildung 16: Anordnung von mehreren Antennen

Mit einer solchen Antennenkonfiguration können auch zufällig orientierte Datenträger erkannt werden. Die hier angesprochenen Antennenkonfigurationen können bei folgenden Szenarien zur Anwendung kommen:

Wareneinausgang
Durch die Tore eines Lagers-, Handelshauses oder Industriebetriebes werden Paletten mit Waren transportiert. Sind die Paletten oder auch die Güter einzeln mit UHF-Datenträgern versehen, so können sie mit entsprechenden stationären Antennenanordnungen (Portalanordnung, Gate) automatisch erfasst werden. Die gelesenen Daten können Auskunft geben über Herkunft und Inhalt der Güter.

Innerbetriebliche Warenströme
Innerhalb des Industrieunternehmens werden an ausgewählten Punkten Portale mit Antennen angebracht. Die mit Datenträgern ausgestatteten Transportbehälter werden beim Durchfahren solcher Portale erfasst. Anhand der gelesenen Daten kann ein Bild über die Produktströme innerhalb des Fertigungsablaufs gewonnen werden.

Nichtorientierte Datenträger
Die Ausstattung von z. B. rotationssymmetrischen Waren oder Behältern mit mehreren Datenträgern ist wegen der Datenkonsistenz oder der Kostenaufwands nicht möglich. So kann nur durch Antennen, die in unterschiedlichen Winkellagen auf das zu identifizierende Gut gerichtet werden, eine zuverlässige Erfassung des nicht eindeutig orientierten Datenträgers erfolgen.

www.balluff.com

Balluff GmbH
Schurwaldstraße 9
73765 Neuhausen a.d.F.
Deutschland
Tel. +49 7158 173-0
Fax +49 7158 5010
balluff@balluff.de
www.balluff.com

Nr. 883386 D · Ausgabe 1401; Änderungen vorbehalten.