

**R E P O R T**

# Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID) Technologien entstehen

## 1. Zwischenbericht (Arbeitspaket 1)

Gernot Schmid, Stefan Cecil

# Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID) Technologien entstehen

## 1. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben Arbeitspaket 1 : Bestandaufnahme

im Auftrag des

**Bundesamtes für Strahlenschutz  
38201 Salzgitter, Deutschland**

Gernot Schmid, Stefan Cecil

Seibersdorf Labor GmbH  
Geschäftsfeld EMC & Optics  
Fachbereich Elektromagnetische Verträglichkeit

*Verfasser:*

Dipl. Ing. Gernot Schmid  
Fachbereich EMV, Geschäftsfeld EMC & Optics  
Seibersdorf Labor GmbH  
A-2444 Seibersdorf

Dipl. Ing. Stefan Cecil  
Fachbereich EMV, Geschäftsfeld EMC & Optics  
Seibersdorf Labor GmbH  
A-2444 Seibersdorf

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen

# ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden ersten Zwischenbericht zu diesem Vorhaben erfolgten zunächst Recherchen hinsichtlich der gegenwärtig eingesetzten und bereits absehbaren Ausprägungen und Anwendungsgebiete der RFID-Technologie. Neben den bereits seit fast zwei Jahrzehnten weit verbreiteten elektronischen Artikelsicherungssystemen (EAS-Systemen, Ein-Bit-RFID-Systeme), die heute im Ein/Ausgangsbereich beinahe aller Verkaufslokale anzutreffen sind, sind vor allem RFID-Systeme zu Identifizierungszwecken und zur Effizienzsteigerung in den Bereichen Lager- und Prozessmanagement, sowie zur Objekt- Tier- und Personenortung/verfolgung gegenwärtig als boomender Markt zu sehen (Mehr-Bit-RFID-Systeme).

Obwohl im Laufe der Jahre mehrere unterschiedliche technische Konzepte von EAS-Systemen beschrieben wurden, sind heute praktisch nur mehr 3 unterschiedliche Technologien in relevantem Ausmaß am Markt vertreten, nämlich Radiofrequenz (RF-) Systeme (typ. bei 8,2 MHz), Akustomagnetische (AM-) Systeme (typ. bei 58 kHz) und Elektromagnetische (EM-) Systeme (typ. 10 Hz – 20 kHz).

Im Bereich der Mehr-Bit-RFID-Systeme haben sich in Europa die Frequenzbereiche (125-135 kHz, LF), 13,56 MHz (HF), 433 MHz und 868 MHz (UHF), sowie die Mikrowellenfrequenzen um 2,45 GHz und 5,8 GHz etabliert, die je nach Anwendungsgebiet unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen. Die überwiegende Mehrzahl aller gegenwärtigen RFID-Anwendungen arbeitet jedoch nach dem Prinzip der induktiven Kopplung im LF und vor allem im HF Bereich bei 13,56 MHz.

Da auf Basis der europäischen Funkregulierung für RFID-Geräte, vor allem im Nahbereich von induktiv gekoppelten Systemen teilweise sehr große Feldstärken möglich sind, die teilweise oberhalb der ICNIRP-Referenzwerte erwartet werden müssen, ist die Frage nach einer strahlenschutztechnischen Abklärung relevanter Expositionssituationen im Hinblick auf die Basiswerte jedenfalls gerechtfertigt. Dies wird auch durch die wenigen in der Literatur verfügbaren numerischen Berechnungen der im Körper induzierten Stromdichten bzw. der Spezifischen Absorptionsrate unter Verwendung generischer RFID-Feldquellen unterstrichen. Weiters zeigte die Sichtung der gegenwärtigen einschlägigen Normungssituation für den Nachweis der Konformität von RFID-Geräten mit den Personenschutzgrenzwerten, dass die darin geforderten vereinfachten Beurteilungsmethoden zwar möglicherweise repräsentativ für einen Großteil der in der Praxis denkbaren Expositionsszenarien ist, jedoch mit Sicherheit nicht für alle in der Praxis häufig anzutreffenden Situationen.

Neben der strahlenschutztechnischen Beurteilung der Exposition von Personen in der Umgebung von RFID-Geräten muss auch die Frage möglicher Störbeeinflussungen von aktiven elektronischen Implantaten durch die von RFID-Geräten emittierten Felder als besonders relevant eingestuft werden. Die zu diesem Thema vorliegende Literatur zeigt eindringlich, dass RFID-Systeme als potenzielle Störquellen angesehen werden müssen. Wenngleich, aufgrund der Vielzahl der RFID-Anwendungsmöglichkeiten und RFID-Gerätetypen diesbezüglich eine pauschale Aussage nicht möglich sein wird, so ist eine systematische Untersuchung mit Identifikation besonders kritischer Szenarien erstrebenswert.

Auf Basis aller erhobenen Recherchedaten wurden schließlich Vorschläge für die im weiteren Projektverlauf zu untersuchenden Expositionsszenarien erarbeitet. Diese sollen als Grundlage für eine Entscheidung zur konkreten weiteren Vorgangsweise dienen.

# INHALT

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>RFID-TECHNOLOGIE UND MARKTÜBERSICHT</b> .....	<b>4</b>
2.1	Begriffsbestimmungen .....	4
2.2	Einteilungskriterien der RFID-Technologie .....	6
2.3	Nutzbare Frequenzbereiche für die RFID-Technologie .....	6
2.4	<b>(Mehrbit-) RFID-Systeme</b> .....	<b>8</b>
2.4.1	Induktiv gekoppelte RFID-Systeme .....	9
2.4.2	Kapazitiv gekoppelte RFID-Systeme .....	13
2.4.3	Strahlungsgekoppelte RFID-Systeme.....	13
2.5	<b>EAS-Systeme (Einbit-RFID-Systeme)</b> .....	<b>16</b>
2.5.1	Radiofrequenz-Systeme .....	16
2.5.2	Mikrowellen-Systeme.....	17
2.5.3	Frequenzteiler-Systeme.....	18
2.5.4	Elektromagnetische Systeme .....	18
2.5.5	Akustomagnetische Systeme.....	18
2.5.6	Einsatzhäufigkeit in der Praxis.....	19
2.6	<b>NFC (Near Field Communication)</b> .....	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>LITERATURRECHERCHE BEZÜGLICH EXPOSITION VON PERSONEN DURCH RFID-SYSTEME</b> .....	<b>22</b>
3.1	Exposition bezüglich direkter Wirkungen .....	22
3.2	Störbeeinflussung elektronischer Implantate.....	24
<b>4</b>	<b>SYNOPSIS DER REGELWERKE UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE BEGRENZUNG DER EXPOSITION</b> .....	<b>28</b>
4.1	<b>Methoden der Expositionsermittlung nach EN 62369-1</b> .....	<b>28</b>
4.1.1	Bewertung auf Basis der Referenzwerte .....	29
4.1.2	Bewertung auf Basis von SAR-Messungen .....	29
4.1.3	Numerische Modellierung und Bewertung anhand der Basiswerte .....	29
4.1.4	Unsicherheiten .....	30
4.2	<b>Beurteilung aktiver Transponder nach EN 50371 bzw. EN 62497</b> .....	<b>30</b>
4.3	<b>Schutz von Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln</b> .....	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>IDENTIFIKATION STRAHLENSCHUTZTECHNISCH RELEVANTER EXPOSITIONSSZENARIEN</b> .....	<b>33</b>
5.1	Exposition durch Transponder .....	33
5.2	Lokale Exposition durch Reader.....	34
5.3	Ganzkörperexposition durch Reader.....	35
<b>6</b>	<b>WEITERES VORGEHEN IM PROJEKT</b> .....	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>38</b>

# 1 EINLEITUNG

Obwohl mit den elektronischen Artikelsicherungssystemen (EAS) RFID-Anwendungen bereits seit deutlich mehr als einem Jahrzehnt verbreitet sind, erlebt die RFID-Technik gegenwärtig einen neuen Aufschwung. Durch die Vielfalt der denkbaren Anwendungen und Einsatzgebiete dieser Technik in fast allen Produktions- und Dienstleistungssparten und nicht zuletzt durch Stichworte wie das „Internet der Dinge“, ist RFID zu einer Technologie geworden, der in den nächsten Jahren großes technologisches und wirtschaftliches Potenzial prognostiziert wird.

Die sich gleichzeitig mit der Verbreitung der RFID-Technologie stellende Frage nach der Exposition von Personen gegenüber den von RFID-Geräten verursachten elektromagnetischen Feldern soll im Zuge dieses Vorhabens auf Basis repräsentativer messtechnischer und numerischer Untersuchungen behandelt werden.

Der vorliegende Zwischenbericht zum 1. Arbeitspaket beinhaltet eine Bestandsaufnahme der gegenwärtigen RFID-Technik im Hinblick auf deren strahlenschutztechnisch relevante Parameter, sowie eine Zusammenfassung bereits vorliegender wissenschaftlicher Literatur zum Thema der Exposition von Personen in den elektromagnetischen Feldern von RFID-Geräten. Weiters erfolgte eine Synopse der gegenwärtigen Regelwerke zum Schutz von Personen vor gesundheitlich nachteiligen Effekten solcher elektromagnetischen Felder. Auf dieser Basis wurden schließlich Vorschläge für die als relevant einzustufenden und damit in diesem Vorhaben konkret zu betrachtenden Expositionsszenarien in Zusammenhang mit RFID-Geräten erarbeitet.

## 2 RFID-TECHNOLOGIE UND MARKTÜBERSICHT

### 2.1 Begriffsbestimmungen

Gemäß der klassischen Definition besteht ein RFID (Radio Frequency Identification) System aus einem Schreib/Lesegerät (im Folgenden auch kurz „Reader“ genannt), einer Antenne und einem Transponder (im Folgenden auch kurz als „Tag“ bezeichnet) [1]. Wie in Abbildung 2.1 angedeutet besteht damit die Möglichkeit eine im Speicher des Transponders gespeicherte Information drahtlos, bzw. berührungslos mittels dem Schreib/Lesegerät auszulesen, bzw. Information in den Speicher des Transponders zu schreiben. Einer der wesentlichsten Punkte der klassischen Definition von RFID Systemen ist, dass die gesamte für die Kommunikationsrichtung vom Transponder zum Schreib/Lesegerät notwendige Energie vom Schreib/Lesegerät stammt und damit für die Datenübertragung vom Transponder zum Schreib/Lesegerät keine Batterie im Transponder notwendig ist. Ein solcher batterieloser Transponder („**passiver Transponder**“) nimmt über ein im Transponder integriertes Koppellement (z.B. eine Spule) ausreichend Energie aus dem von der Antenne des Schreib/Lesegerätes erzeugten Feld auf, um damit einerseits die elektrischen Schaltkreise auf dem Transponder zu versorgen und andererseits Daten zum Schreib/Lesegerät zurückzusenden (z.B. mittels Lastmodulation oder Backscatter-Technik, Details dazu siehe Kapitel 2.4).

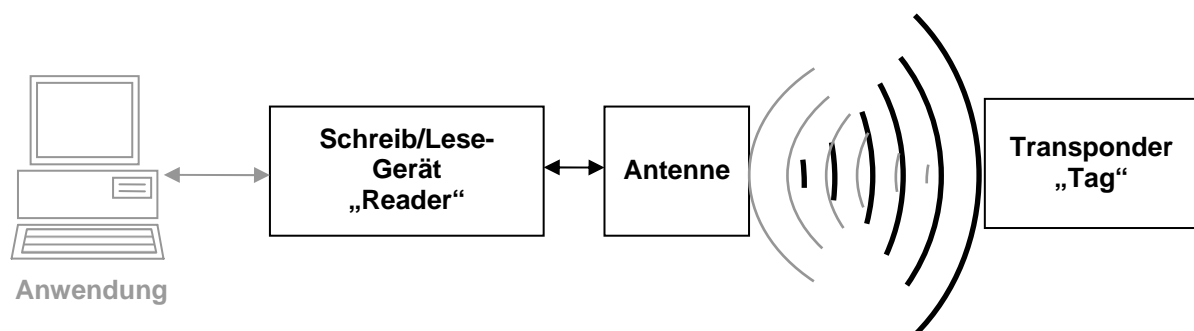


Abbildung 2.1: Systemkomponenten eines RFID Systems nach klassischer Definition

Für viele Anwendungsfälle, speziell wenn auf dem Transponder neben der bloßen Speicherung von Daten auch noch Zusatzfunktionen realisiert sind („intelligenter Transponder“ bzw. „smart tag“), reicht die aus dem Reader-Feld gewinnbare Energie oftmals nicht aus, um die Schaltkreise des Transponders zuverlässig zu versorgen, so dass derartige Transponder teilweise mit einer Batterie ausgestattet werden. In der klassischen Definition der RFID-Technik wurden derartige Transponder als „**aktive Transponder**“ bezeichnet, wobei die Batterie ausschließlich der Versorgung der Schaltkreise dient. Die Datenübertragung vom Transponder zum Reader erfolgt auch bei derartigen Transpondern rein passiv, d.h. ohne Energie aus der Transponderbatterie.

Durch die Einführung vieler neuer drahtloser Kommunikationstechniken in den vergangenen Jahren, ist es dazu gekommen, dass der Begriff „RFID“ heute oftmals deutlich weiter gefasst wird, als in der ursprünglichen, oben als „klassisch“ bezeichneten Definition. Beispielsweise werden heute im Allgemeinen auch Systeme mit aktiv (zumeist im Hochfrequenz und Mikrowellenbereich) sendenden Transpondern zur RFID Technologie gezählt. In diesen Fällen besteht zwischen dem Reader und dem Transponder eine „konventionelle“ Funkverbindung (mit anwendungsspezifischen Übertragungsprotokollen), im Sinne eines aktiven Sendens sowohl des Schreib/Lesegerätes als auch des Transponders. D.h., sowohl Reader als auch Transponder sind zur Aufnahme, bzw. zur Aufrechterhaltung des Funkverkehrs mit eigener Energieversorgung ausgestattet. Derartige Systeme werden sehr häufig zur gleichzeitigen drahtlosen Realisierung von Identifikations- und

Lokalisierungsaufgaben mit relativ großen Reichweiten verwendet, die mit den Methoden der oben angesprochenen klassischen RFID-Technik nicht abdeckbar wären. Diese heute am Markt faktische Ausweitung des Begriffs „RFID“ hat in Zusammenhang mit Transpondern teilweise zu einer inkonsistenten Verwendung der Bezeichnung „aktiver Transponder“ geführt (vgl. obige Definition eines aktiven Transponders auf Basis der klassischen Definition von RFID).

Um Missverständnissen vorzubeugen wird für die Bezeichnung von Transpondern im Rahmen des vorliegenden Dokuments die folgende Nomenklatur verwendet:

**„passiver Transponder“:** Transponder (Tag) ohne Batterie  
(oder **„passives Tag“**)

**„semi-aktiver Transponder“:** Transponder (Tag) mit Batterie, die jedoch ausschließlich zur Versorgung der Schaltkreise auf dem Transponder dient. Die Datenübertragung vom Transponder zum Reader erfolgt passiv. In der klassischen Definition von RFID werden diese Tags auch heute in der RFID-Literatur noch manchmal als „aktiv“ bezeichnet.

**„aktiver Transponder“:** Transponder (Tag) mit Batterie, die sowohl zur Versorgung der Schaltkreise auf dem Transponder, als auch zum Senden der Daten zum Reader dient. Der Transponder kann somit unabhängig vom Reader Daten senden. In der strengen Diktion einiger RFID Pioniere werden solche Systeme nicht zur RFID-Technik gezählt, sondern zu „konventionellen“ Funksystemen.

Die in jüngster Zeit fortschreitende Erweiterung des Begriffs „RFID“ betrifft jedoch nicht nur das oben genannte Hinzukommen von Systemen mit aktiv sendenden Transpondern, sondern es wird von vielen Herstellern und Systemlieferanten versucht, artverwandte, jedoch auf anderen, bzw. etablierten Funktechnologien basierende Identifikations- und Lokalisierungssysteme im „Windschatten“ des Zugpferdes RFID zu platzieren<sup>1</sup>. Beispielsweise werden auch auf WLAN (IEEE 802.11x), Bluetooth, GSM, UMTS, UWB, GPS, usw. basierende Identifikations- und/oder Lokalisationssysteme im Marktsegment RFID angeboten. Ebenso sind Kombinationen von RFID mit den genannten etablierten Technologien am Markt.

Systeme, die ausschließlich auf einer der genannten etablierten Technologien oder auf Basis einer Kombination dieser Technologien beruhen, sind nicht Gegenstand dieses Forschungsvorhabens. Diese Technologien waren bereits Gegenstand ausführlicher strahlenschutztechnischer Bewertungen im Rahmen mehrerer Projekte des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms [2].

Im Rahmen des gegenständlichen Vorhabens werden ausschließlich Systeme betrachtet, die der klassischen Definition des RFID-Begriffs, erweitert um Systeme mit aktiv sendenden Transpondern, genügen. Zusätzlich wird die NFC-Technologie (Near Field Communication), als Erweiterung einer speziellen Ausprägung der RFID-Technik bei 13,56 MHz, in die Betrachtungen miteinbezogen.

---

<sup>1</sup> Dies ist aus rein formaler Sicht durchaus vertretbar, da der Begriff „Radio Frequency Identification“ aus rein semantischer Sicht auch diese Systeme einschließt. Es stellt sich die Situation aus heutiger Sicht daher eher so dar, dass zum Zeitpunkt des Entstehens des RFID-Begriffs, dieser, für die damals damit verbundene Technologie, etwas zu weit gefasst wurde.

## 2.2 Einteilungskriterien der RFID-Technologie

Ähnlich mannigfaltig wie die unterschiedlichen Ausprägungen der RFID-Technik sind auch die Gesichtspunkte nach denen sich diese Technik in unterschiedliche Kategorien einteilen lässt. Beispielsweise sind Einteilungen hinsichtlich des verwendeten Frequenzbereichs, hinsichtlich der Energieversorgung der verwendeten Tags (passiv/semi-aktiv/aktiv), hinsichtlich der auf dem Tag speicherbaren Informationsmenge (z.B. Einbit- oder Mehrbit-Systeme), hinsichtlich des verwendeten physikalischen Übertragungsverfahrens (z.B. Modulations- und Zugriffsverfahren), hinsichtlich Programmierbarkeit der Tags, hinsichtlich des Übertragungsprotokolls (z.B. Duplex oder Sequenziell), hinsichtlich der erzielbaren Reichweite, oder hinsichtlich des Anwendungsgebietes (z.B. Identifikation, Lokalisierung, Verfolgung, usw.) denkbar und üblich.

Aus strahlenschutztechnischer Sicht erscheint eine Kategorisierung vor allem auf Basis der folgenden Kriterien sinnvoll:

- **verwendeter Frequenzbereich** (wegen der Frequenzabhängigkeit der Referenzwerte und der maximal möglichen Aussendung, limitiert durch die Funkregulierungsbehörde)
- **Energieversorgung der Tags** (wegen möglicher lokaler Exposition beim Tragen von aktiven Tags am Körper)
- erzielbare **Reichweite** (wegen Zusammenhang mit erzeugter Feldstärke, bzw. abgestrahlter Sendeleistung)
- **Anwendungsgebiet** (wegen daraus ableitbarer realistischer Expositionsszenarien)

wobei zu berücksichtigen ist, dass diese Einteilungskriterien nicht als voneinander unabhängig gesehen werden können.

Im Sinne einer möglichst strukturierten und klaren Darstellung der RFID-Technik wird im Folgenden zunächst ein kurzer Überblick über die in Deutschland für RFID-Anwendungen seitens der Funkregulierung zur Verfügung stehenden Frequenzbereiche und die damit verbundenen Aussendungslimits gegeben. Im Anschluss daran werden die derzeit genutzten Verfahren der RFID-Technik im Detail beschrieben, wobei die drei großen, hinsichtlich eingesetzter Technik und Anwendungsgebiet unterscheidbaren, Teilbereiche **Mehrbit-RFID-Systeme, elektronische Artikelsicherungssysteme (Einbit-Systeme, EAS)** und **Near Field Communication (NFC)** getrennt behandelt werden.

## 2.3 Nutzbare Frequenzbereiche für die RFID-Technologie

In Europa wird die Frequenzzuteilung für Funkanwendungen generell durch das ERC (European Radiocommunications Committee), ein eigens dafür eingerichteter Ausschuss der CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications), koordiniert. Für RFID-Anwendungen ist die Empfehlung REC 70-03 "Relating to the use of short range devices (SRD)" zutreffend, die in ihrer aktuellsten Version, neben der generellen Frequenzzuteilung für SRD, auch ausführliche Hinweise zu nationalen Einschränkungen in den CEPT-Mitgliedstaaten enthält [3]. Auf Basis dieses Dokuments hat auf nationaler Ebene die Bundesnetzagentur mit den Verfügungen Vfg 1/2005 (zuletzt geändert durch Vfg 39/2005) [4] und Vfg 7/2009 [5] die aktuellen funkreulatorischen Grundlagen für den Betrieb von induktiven Funkanwendungen (Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz) [4], sowie für RFID Systeme im UHF- und Mikrowellenbereich (865-868 MHz und 2446-2454 MHz) [5] geschaffen.

Für die induktiven Funkanwendungen (und damit auch für induktive RFID-Anwendungen) sind in [4] die maximalen Aussendungslimits in Form der magnetischen Feldstärke in 10 m Abstand zu den Geräten festgelegt. In Abbildung 2.2 sind diese Limits grafisch dargestellt.

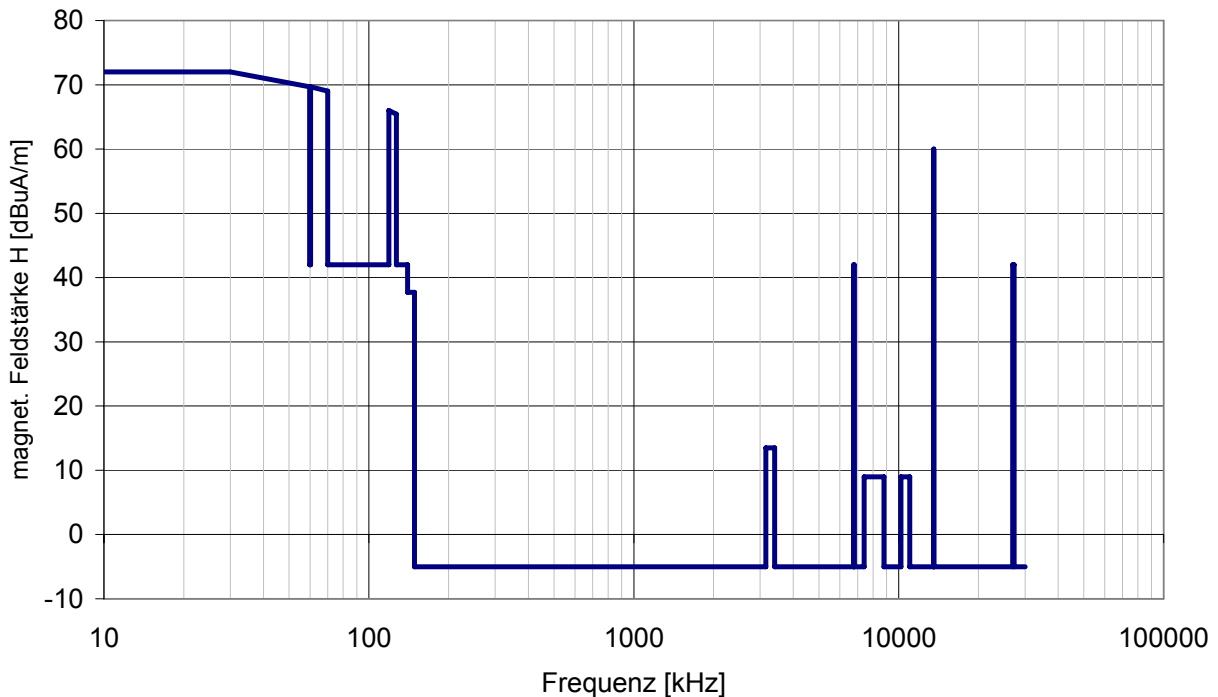


Abbildung 2.2: Maximale Aussendungslimits für induktive RFID-Systeme in 10 m Abstand gemäß [4].

Für RFID-Anwendungen in den Frequenzbereichen 865-868 MHz und 2446-2454 MHz legt [5] die in Tabelle 2.1 zusammengefassten maximal zulässigen Sendeleistungen fest.

Frequenzbereich	max. Strahlungsleistung	Einschränkung
865,0-865,6 MHz	100 mW (ERP)	„Listen Before Talk“ notwendig
865,6-867,6 MHz	2 W (ERP)	„Listen Before Talk“ teilweise notwendig
867,6-868,0 MHz	500 mW (ERP)	„Listen Before Talk“ notwendig
2446 – 2454 MHz	500 mW (EIRP)	-
	4 W (EIRP)	Nur innerhalb geschlossener Gebäude, Duty Cycle <15%

Tabelle 2.1: Maximale Aussendungslimits für RFID-Anwendungen in den Frequenzbereichen 865-868 MHz und 2446-2454 MHz gemäß [5].

Neben den durch [4] und [5] festgelegten nutzbaren Frequenzbereichen für induktive RFID-Anwendungen und RFID-Systeme in Frequenzbereichen 865-868 MHz und 2446-2454 MHz, ist der Betrieb von RFID-Geräten auch als „Non specific short range device“ möglich, deren maximale Aussendungslimits in Vfg 30/2006 (geändert mit Vfg 39/2009) definiert sind [6]. Beispielsweise sind darin für den Frequenzbereich 433,05-434,79 MHz 10 mW (ERP) und für den Frequenzbereich 5,725-5,875 GHz 25 mW (EIRP) als maximale äquivalente Strahlungsleistung festgelegt.

Tabelle 2.1 macht deutlich, dass die seitens der Funkregulierung zugelassenen Sendeleistungen von RFID-Geräten durchaus in einer Größenordnung liegen, die eine Abklärung der von derartigen in der Praxis eingesetzten Geräten und Systemen verursachten Strahlungsbelastungen rechtfertigen.

Dies gilt grundsätzlich auch für die induktiven Systeme. Geht man davon aus, dass im Nahfeld flacher Spulen bzw. Leiterschleifen die magnetische Feldstärke bei Annäherung an die Spule um etwa 60 dB pro Abstandsdekade bzw. im Fernfeld um etwa 20 dB pro Abstandsdekade ansteigt [1], und rechnet damit die in Abbildung 2.2 dargestellten maximalen Aussendungslimit in 10 m Abstand auf Abstände < 1 m um, so zeigt sich deutlich, dass in zugänglichen Bereichen Magnetfeldstärken oberhalb der ICNIRP-Referenzwerte [7] möglich sind. Abbildung 2.3 veranschaulicht dies graphisch.

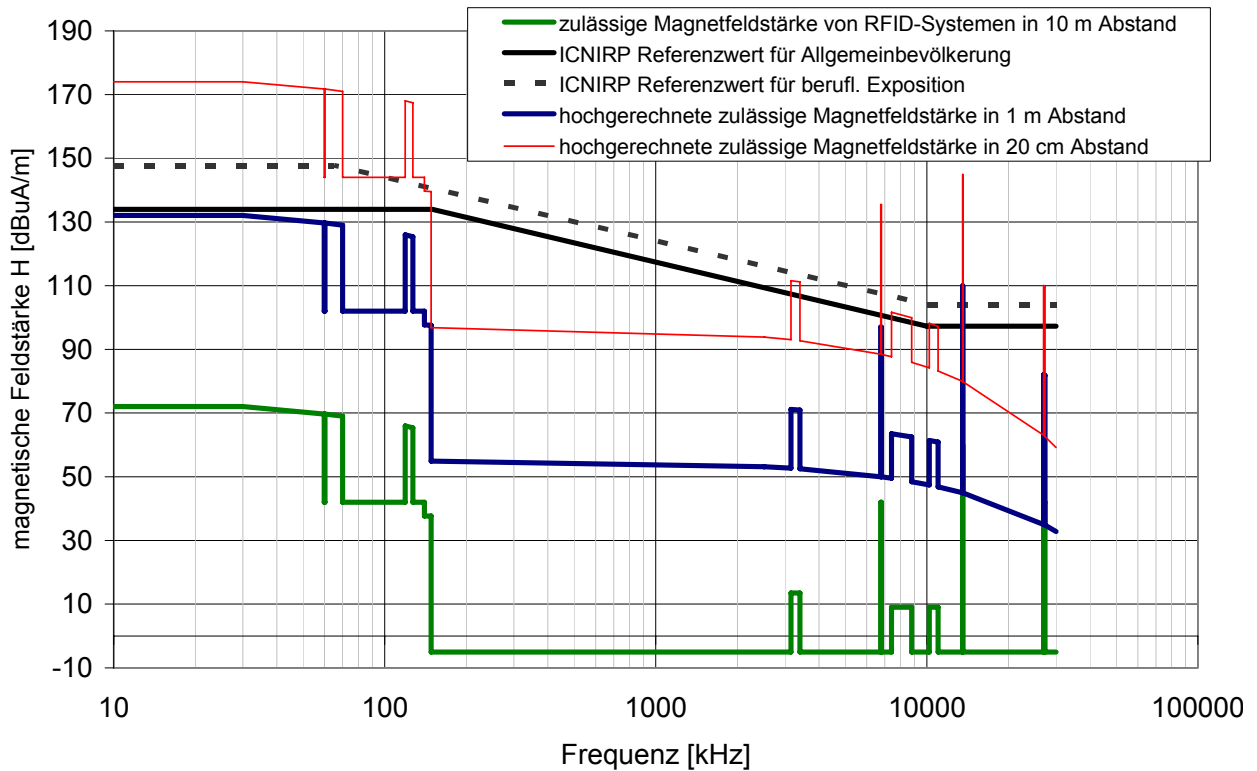


Abbildung 2.3: Vergleich der vereinfacht auf Abstände  $\leq 1$  m hochgerechneten maximal zulässigen Magnetfeldstärken von RFID-Systemen mit den ICNIRP-Referenzwerten.

## 2.4 (Mehrbit-) RFID-Systeme

Unter Mehrbit-RFID-Systeme werden hier alle RFID-Systeme und RFID-Anwendungen verstanden, auf deren Transponder Informationsmengen > 1 Bit gespeichert werden können. Zur Verwaltung des Speichers und zur Implementierung der notwendigen Übertragungsprotokolle enthalten Transponder von Mehrbit-RFID-Systemen einen Mikrochip. Mehrbit-RFID-Systeme beinhalten daher praktisch alle dem gegenwärtigen RFID-Begriff zuordenbaren Systeme und Anwendungen, ausgenommen elektronische Artikelsicherungssysteme (EAS-Systeme), die als Einbit-RFID-Systeme bezeichnet und in Kapitel 2.5 behandelt werden.

Die unterschiedlichen technischen Ausprägungen, die genutzten Frequenzbereiche, die verwendeten Übertragungsverfahren, die erzielbaren Reichweiten und natürlich nicht zuletzt die damit realisierbaren Anwendungen der gegenwärtig verfügbaren Mehrbit-RFID-Systeme sind sehr facettenreich. Im Folgenden wird versucht einen strukturierten Überblick über die grundlegende Funktionsweise und die strahlenschutztechnisch relevanten Systemparameter der unterschiedlichen, gegenwärtig relevanten Ausprägungen der RFID-Technologie zu geben. Es wird dazu eine Unterteilung in Systeme basierend auf induktiver Kopplung, Systeme basierend auf kapazitiver Kopplung, sowie strahlungsgekoppelte Systeme vorgenommen.

## 2.4.1 Induktiv gekoppelte RFID-Systeme

Die Gruppe der induktiv gekoppelten RFID-Systeme stellt die größte und wichtigste Gruppe von RFID-Systemen und Anwendungen dar. Nach [1] gehören derzeit mindestens 90% aller RFID-Systeme dieser Kategorie an.

### Funktion und technische Beschreibung

In der Praxis eingesetzte induktiv gekoppelte RFID-Systeme arbeiten entweder im Frequenzbereich 125 kHz – 135 kHz oder im ISM-Frequenzbereich bei 13,56 MHz (in Spezialfällen auch bei 27,12 MHz bzw. 4,24 MHz), wobei teilweise auch Dual-Frequency Schreib-/Lesegeräte am Markt verfügbar sind, um Transponder für die beiden Frequenzbereiche 125 kHz – 135 kHz und 13,56 MHz bedienen zu können. Die Kommunikation zwischen Schreib/Lesegerät und Transponder erfolgt auf Basis des Prinzips der transformatorischen Kopplung. Das Schreib/Lesegerät erzeugt dazu mittels einer induktiven Antenne (Flachspule) ein relativ starkes magnetisches Feld, das teilweise die Transponderantenne (zumeist ebenfalls als flache Spule realisiert) durchsetzt und daher in ihr eine Spannung induziert (Abbildung 2.4). Im Falle passiver Transponder muss dieses Magnetfeld stark genug sein, um auch die am Transponder befindliche Elektronik ausreichend mit Energie zu versorgen. Die Kommunikation vom Schreib/Lesegerät zum Transponder (Downlink) erfolgt typischer Weise durch ASK-Modulation (Amplitude Shift Keying), die Kommunikation vom Transponder zum Schreib/Lesegerät in den meisten Systemen durch so genannte Lastmodulation.

Vereinfacht ausgedrückt wird beim Verfahren der **Lastmodulation** die Lastimpedanz der Transponderantenne im Takt der zu übertragenden Daten zwischen zwei Werten hin- und hergeschaltet (moduliert). Durch die transformatorische Kopplung zwischen der Spulenantenne des Schreib/Lesegerätes und jener des Transponders, können diese Impedanzsprünge an der Transponderspule (Sekundärseite) auch an den Klemmen der Schreib/Lesegerät-Antenne (Primärseite) detektiert und demoduliert werden. Abbildung 2.4 veranschaulicht dies in stark vereinfachter, schematischer Weise. Diese Art der Kommunikation erlaubt eine Halbduplex-Datenübertragung zwischen Reader und Transponder (unterer Teil von Abbildung 2.4). D.h., nach Abschluss der Datenübertragung vom Schreib/Lesegerät zum Transponder sendet das Schreib/Lesegerät kontinuierlich (unmoduliert) weiter (grüner Signalgraph in Abbildung 2.4) um dem Transponder die Möglichkeit zu geben, dieses Signal mittels Lastmodulation zu modulieren (blauer Signalgraph in Abbildung 2.4). In der Praxis erfolgt die Transponder-seitige Modulation nicht direkt im Takt des zu übertragenden binären Signal des Datenstroms, sondern es wird diesem binären Signal zusätzlich ein höherfrequentes Hilfs-Trägersignal (z.B. 212 kHz bei 13,56 MHz Systemen) überlagert. Technisch entspricht dies einer Amplitudenmodulation des 212 kHz Hilfsträgers durch den vom Transponder zum Reader zu übertragenden Datenstrom. Die Lastmodulation erfolgt nun mit diesem Signal (daher erscheint die „Bitdauer“ im blauen Signalgraphen in Abbildung 2.4 viel kürzer als im grünen Signalgraphen). Dieses in der Praxis bei induktiv gekoppelten Systemen fast immer verwendete Verfahren wird daher sinngemäß **Lastmodulation mit Hilfsträger** genannt. Der Grund für die Verwendung des Hilfsträgers liegt in einer besseren Detektierbarkeit des Uplink-Signals im Reader. Ohne Hilfsträger bestünde das Problem, dass das Reader-seitig (durch die relativ schwache Kopplung, i.A. sehr kleine) zu detektierende Uplink-Signal exakt die gleiche Frequenz hätte, wie das vom Reader selbst erzeugte (relativ starke) Sendesignal, das nur durch großen schaltungstechnischen Aufwand im Reader gelöst werden könnte. Durch die Verwendung des Hilfsträgers liegt die Uplink-Information in Modulationsseitenbändern bei Frequenzen, die sich um die Hilfsträgerfrequenz von der Systemfrequenz unterscheiden (z.B. 13,56 MHz  $\pm$  220 kHz). Diese Seitenbänder können Reader-seitig ausgefiltert und der in diesem Fall vergleichsweise einfach gestalteten Detektionselektronik zugeführt werden. Weiters erlaubt die Lastmodulation mit Hilfsträger,

aufgrund der spektralen Trennbarkeit von Uplink und Downlink, neben Halbduplex- auch eine Vollduplex-Kommunikation.

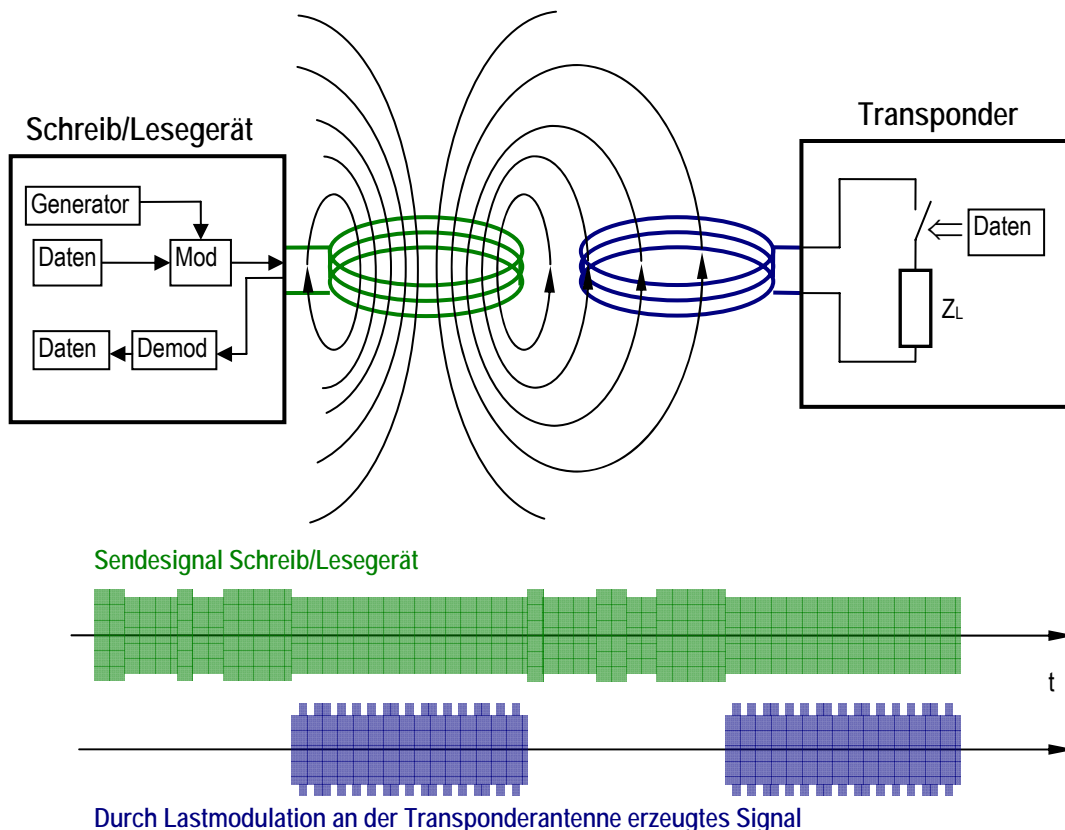


Abbildung 2.4: Stark vereinfachtes Schema zur Illustration der Datenübertragung durch Lastmodulation mit Hilfsträger bei induktiv gekoppelten RFID-Systemen

Neben der Lastmodulation wird in der Literatur auch noch das so genannte **Subharmonische** Verfahren für induktiv gekoppelte RFID-Systeme beschrieben [1]. Bei diesem Verfahren ist die Downlink-Übertragungsfrequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Uplink-Übertragungsfrequenz. Realisiert wird dies durch einen Transponder-seitigen Frequenzteiler. Das vom Reader empfangene Signal (z.B. 128 kHz) wird im Transponder einer Frequenzteilung unterzogen (z.B. um Faktor 2 d.h., 64 kHz), mit dem Uplink-Datenstrom moduliert und über die Transponderantenne zum Reader zurück übertragen. Auch damit sind Vollduplex-Übertragungsprotokolle realisierbar.

### Reichweiten

Bei induktiv gekoppelten RFID-Systemen unterscheidet man „**Close Coupling**“ Systeme mit Reichweiten bis zu 1 cm und „**Remote Coupling**“ Systeme mit Reichweiten bis zu ca. 1 m. Im Zusammenhang mit speziellen standardisierten RFID-Anwendungen, wie z.B. den kontaktlosen Chipkarten werden auch die folgenden Reichweite-Kategorien definiert:

- **Close Coupling** Karten nach ISO/IEC 10536: Reichweite **0 ... 1 cm**
- **Proximity Coupling** Karten nach ISO/IEC 14443: Reichweite **0 ... 10 cm**
- **Vicinity Coupling** Karten nach ISO/IEC 15693: Reichweite **0 ... 1 m**

Close Coupling Systeme erfordern zumeist das Einstecken, bzw. das direkte Auflegen der Chipkarte, bzw. des Transponders in, bzw. auf eine entsprechende Vorrichtung und haben gegenwärtig nur mehr untergeordnete praktische Bedeutung. Auch sind Close Coupling Systeme aufgrund der extrem lokalen Feldausbildung strahlenschutztechnisch wenig

bedeutsam. Proximity- und Vicinity Coupling Systeme sind hingegen in den unterschiedlichsten Anwendungen stark verbreitet.

### **Ausführungsformen von Schreib/Lesegeräte bzw. Antennen**

Je nach Anwendung sind unterschiedliche Ausführungsformen von Schreib/Lesegeräten und zugehöriger Antennen für induktiv gekoppelte RFID-Systeme im Einsatz. Für Schreib/Lesegeräte von Vicinity Coupling Systemen sind großflächige (Rahmen-) Antennen mit Abmessungen in der Größenordnung bis über 1 m üblich. Solche Reader sind daher üblicherweise fest montiert und bei entsprechender Annäherung an die Antennen ist eine gleichzeitige Exposition großer Körperabschnitte möglich („Ganzkörperexposition“).

Bei Proximity Coupling liegen die maximalen Antennenabmessungen üblicherweise im Bereich bis zu ca. 10-15 cm. Derartige Antennen sind typischer Weise im Eingangsbereich von mit entsprechenden RFID-Zutrittskontrollsystemen ausgestatteten Gebäuden bzw. Arealen montiert oder in handgehaltene Schreib/Lesegeräte integriert. In der Praxis wird es dadurch vor allem zu Teilkörperexpositionen (vor allem der Hände) kommen.

### **Ausführungsformen von Transpondern**

Aufgrund der vielfältigen Einsatzgebiete von induktiv gekoppelten RFID-Systemen besteht eine große Vielfalt an unterschiedlichen Transpondertypen. Die wichtigsten Kategorien sind

- kontaktlose Chipkarten im Scheckkartenformat
- in Papiertickets integrierte Transponder
- in Drucksorten integrierte Transponder (z.B. Etiketten, Smart Poster, usw.)
- in Dokumente integrierte Transponder (z.B. e-Reisepass)
- Transponder in Form von Folienaufklebern
- Transponder in Kunststoffgehäusen in vielen Größen und Formen für unterschiedlichste Anwendungen zur Anbringung auf Objekten, Tieren und Personen
- Transponder in Glasröhrchen (z.B. zur subkutanen Tieridentifikation)
- Transponder in (nicht-ferromagnetischen) Metallgehäusen (z.B. Nägel)
- in Geräte integrierte Transponder (z.B. Armbanduhr, Autoschlüssel, usw.)
- implantierbare Transponder für die Humanmedizin (im Versuchsstadium)

In den meisten Fällen, bei denen der Transponder nur zur Speicherung von Informationen dient handelt es sich um passive Transponder. Für viele Anwendungen werden jedoch am Transponder zunehmend zusätzliche Funktionen integriert, z.B. Sensoren für Temperatur Druck, Helligkeit usw., die eine zusätzliche Energieversorgung notwendig machen, sodass für induktiv gekoppelte RFID-Systeme auch zunehmend semi-aktive Transponder eingesetzt werden.

### **Anwendungen bzw. Einsatzgebiete**

Die Anzahl der gegenwärtig existierenden unterschiedlichen Anwendungsgebiete von induktiv gekoppelten RFID-Systemen ist nahezu unüberschaubar und nach wie vor steigend. Eine vollständige Wiedergabe aller existierenden bzw. denkbaren Anwendungen ist auf Basis der vielseitigen Einsatzmöglichkeiten daher unmöglich. Mit Tabelle 2.2 wird versucht einen, nach den wichtigsten Anwendungskategorien geordneten, Überblick zu geben, wobei auch Angaben bezüglich der eingesetzten Frequenzen, der Reichweiten und der Ausführungsformen der Schreib/Lesegeräte (Handgerät oder stationäres Gerät) gemacht werden. Basis dieser Daten sind umfangreiche Recherchen im Internet auf Seiten von RFID-Herstellern, sowie in einschlägigen RFID-Fachjournalen (z.B. SmartMag, RFID-Journal)

	Frequenzen	Handgehaltener Reader	Stationärer Reader	Proximity	Vicinity
<b>Zutrittskontrollsysteme</b>			im Auto	X	
Elektronische Wegfahrsperr	125-135 kHz		X	X	
Elektronisches Türschloss	125-135 kHz 13,56 MHz		X	X	
Zutritt zu Gebäuden, Veranstaltungen, Sportstätten, Arbeitszeiterfassung, usw.	125-135 kHz 13,56 MHz		X	X	X
<b>Objektidentifikation</b>					
Lager- bzw. Prozessmanagement (Identifizierung, Überwachung, Verfolgung und Instandhaltung von Behältern, Paletten, Werkzeugen, Werkstückträger, Wäsche, Bücher, Blutkonserven, u.v.a.)	125-135 kHz 13,56 MHz	X	X	X	X
Objektverwaltung (Bäume, Müllcontainer, Leihgeräte, Fahrzeuge, u.v.a.)	125-135 kHz 13,56 MHz	X		X	
Plagiatschutz	125-135 kHz 13,56 MHz	X		X	
<b>Tieridentifikation</b>					
Elektronische Tier-ID	125-135 kHz	X		X	
Landwirtschaft (Melk- und Futterautomaten)	125-135 kHz		X		X
<b>Personenidentifikation</b>					
Elektronischer Reisepass	13,56 MHz		X	X	
Sportveranstaltungen (Zeitnehmung)	125-135 kHz 13,56 MHz	X	X	X	X
<b>Bargeldloser Zahlungsverkehr</b>					
div. Prepaid Karten	13,56 MHz		X	X	
<b>(Roboter-)Navigation</b>					
Smart Floor (Transponder mit Ortskoordinaten in Boden integriert)	125-135 kHz 13,56 MHz		Reader in Fahrzeug- bzw. Roboterboden	X	
<b>Bahnanwendungen</b>					
Eurobalise <sup>2</sup>	27,1 MHz 4,4 MHz		Reader in Fahrzeugboden	X	

Tabelle 2.2: Zusammenfassender Überblick über existierende Anwendungen von induktiv gekoppelten RFID-Systemen

<sup>2</sup> Eurobalise (auch EURO-Balise) ist eine Komponente des *European Train Control Systems* (ETCS), mit dem punktförmig Daten (z.B. Ortsmarken, Neigungsprofile, Geschwindigkeitsbegrenzungen, usw.) zwischen dem Triebfahrzeug von Eisenbahnzügen und Datenspeichern (Transpondern) am Gleiskörper während der Überfahrt ausgetauscht werden können. Es handelt sich dabei um ein induktiv gekoppeltes RFID-System, wobei der passive Transponder mittig zwischen den Schienen am Gleiskörper und das Schreib/Lesegerät am Boden des Treibfahrzeugs montiert ist. Die Downlink-Übertragung erfolgt mit 27,12 MHz, die Uplink-Übertragung mit 4,4 MHz.

## 2.4.2 Kapazitiv gekoppelte RFID-Systeme

Kapazitiv gekoppelte RFID-Systeme werden in der Literatur zwar ebenfalls beschrieben [1], haben aber kaum praktische Bedeutung erlangt. Aufgrund der schwachen Kopplung waren praktisch realisierte Ausführungen auf Close Coupling Systeme beschränkt und können daher auch aus strahlenschutztechnischer Sicht als nicht relevant eingestuft werden. Aus diesem Grund und mangels am Markt verfügbarer kapazitiv gekoppelter RFID-Systeme wird daher auf eine nähere Beschreibung an dieser Stelle verzichtet.

## 2.4.3 Strahlungsgekoppelte RFID-Systeme

Unter strahlungsgekoppelten RFID-Systemen, die im UHF bzw. im Mikrowellenbereich arbeiten, werden im Folgenden Systeme verstanden, bei denen die Kommunikation zwischen Schreib/Lesegerät und Transponder mittels elektromagnetischer Wellen erfolgt. Dabei können einerseits Systeme mit passiven oder semi-aktiven Transpondern und andererseits Systeme mit aktiven Transpondern unterschieden werden.

### 2.4.3.1 Systeme mit passiven oder semi-aktiven Transpondern

#### Funktionsweise und technische Beschreibung

Bei strahlungsgekoppelten Systemen mit passiven oder semi-aktiven Transpondern erfolgt die Kommunikation im Uplink (vom Transponder zum Schreib/Lesegerät) ausschließlich mit der vom Schreib/Lesegerät ausgesendeten Energie. Beim so genannten „Backscatter“ Verfahren wird im Transponder die Antennen-Lastimpedanz und damit der resultierende Rückstrahlquerschnitt der Transponderantenne im Takt der zu übertragenden Uplink-Daten variiert. Dies bewirkt, dass die vom Transponder zum Schreib/Lesegerät zurück reflektierten elektromagnetischen Wellen ebenfalls mit dem Uplink-Datenstrom moduliert sind (Abbildung 2.5). Die Trennung von Uplink und Downlink im Schreib/Lesegerät kann mittels eines Richtkopplers erfolgen, so dass mit diesem Übertragungsverfahren sowohl Halbduplex als auch Vollduplex-Protokolle realisiert werden können.

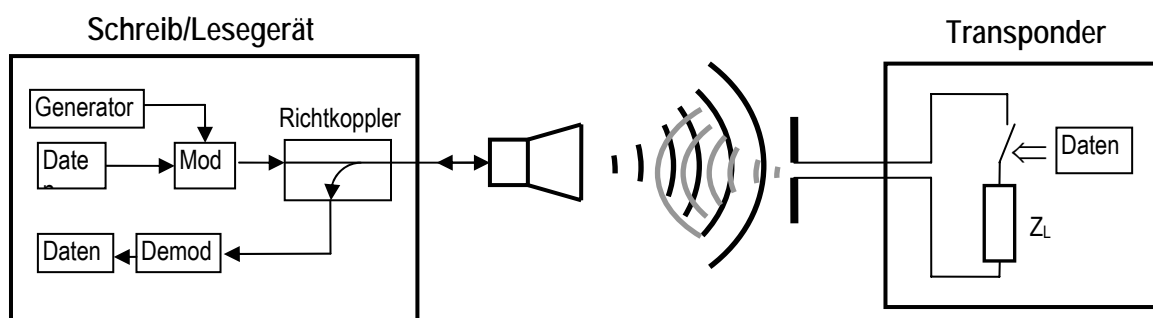


Abbildung 2.5: Stark vereinfachtes Schema zur Illustration der Datenübertragung bei strahlungsgekoppelten RFID-Systemen auf Basis des Backscatter Verfahrens

In Fällen, in denen die am Transponder gespeicherten Daten unveränderlich bleiben („Read Only Transponder“), kann die passive Erzeugung des Uplink-Signals auch auf elegante Weise mittels Oberflächenwellen-Transpondern erfolgen. Das von der Transponderantenne empfangene, vom Schreib/Lesegerät ausgesendete Signal wird über einen Interdigitalwandler in eine Oberflächenwelle umgewandelt, die sich entlang des Transpondersubstrats ausbreitet. Am Transpondersubstrat sind in definierten Abständen Reflektoren vorhanden, an denen jeweils eine partielle Reflexion des einlaufenden Signals

stattfindet. Reflektierte Signalanteile laufen wieder zurück in Richtung Transponderantenne und werden von dieser als Uplink-Signal abgestrahlt. Die Abfolge der Abstände zwischen den Reflektoren am Transpondersubstrat stellt somit eine das Uplink-Signal modulierende Bitfolge dar.

Dieses Verfahren wird für sequentielle Übertragungsprotokolle verwendet, d.h., das Schreib/Lesegerät sendet einen kurzen HF-Burst aus und wartet anschließend auf die Antwort des Transponders.

### **Frequenzen und Reichweiten mit passiven oder semi-aktiven Transpondern**

Strahlungsgekoppelte RFID-Systeme arbeiten in den allermeisten Fällen bei 868 MHz oder 2,45 GHz. Weitere grundsätzlich verwendbare, jedoch nicht verbreitete Frequenzen sind 433 MHz und 5,8 GHz. Mit passiven Transpondern sind in diesen Frequenzbereichen damit Reichweiten von bis zu ca. 3 m möglich. Bei größeren Entfernungen wird die Kopplung i.A. zu schwach um die Elektronik am Transponder noch ausreichend mit Energie zu versorgen. Daher bedient man sich semi-aktiver Transponder, wenn Reichweiten bis zu ca. 15 m erzielt werden müssen, bzw. auch (wie im Falle induktiv gekoppelter Systeme) wenn zusätzlich Funktionalitäten auf dem Transponder implementiert werden, die erhöhten Energiebedarf haben.

### **Ausführungsformen von Schreib/Lesegeräten, Antennen und Transpondern**

Als Antennen am Schreib/Lesegerät werden übliche, aus der Funktechnik für die genannten Frequenzbereiche bekannte Antennen eingesetzt. Als Transponderantennen sind zumeist (gefaltete) Dipolstrukturen und ähnliche Geometrien, in gedruckter oder geätzter Form auf einem Substrat bzw. einer Trägerfolie im Einsatz.

Als Schreib/Lesegeräte sind sowohl stationäre Einheiten mit größeren Antennen (z.B. Hornantennen an Ein-/Ausfahrten von Lagerhallen zur automatischen Erfassung von Materialflüssen (Transponder z.B. in bzw. auf Werkstücken oder Paletten), als auch handgehaltene Geräte mit integrierten Antennen im Einsatz (z.B. zur Behälteridentifikation).

Die in der Praxis anzutreffenden Ausführungsformen von Transpondern sind jenen bei induktiv gekoppelten Systemen sehr ähnlich, am häufigsten findet man

- in Drucksorten integrierte Transponder (z.B. Etiketten)
- Transponder in Form von Aufklebern
- in ID-Karten integrierte Transponder
- Transponder in Kunststoffgehäusen in vielen Größen und Formen für unterschiedlichste Anwendungen zur Anbringung auf Objekten

### **Anwendungen und Einsatzgebiete**

Strahlungsgekoppelte RFID Systeme mit passiven und semi-aktiven Transpondern werden vorzugsweise zur Personen- und Objektidentifikation eingesetzt, wo größere Reichweiten gefordert sind, als mit induktiv gekoppelten Systemen erzielbar, d.h. deutlich größer als ca. 1 m. Etabliert haben sich derartige Systeme vor allem für die unterschiedlichsten Anwendungen im Bereich der Objektidentifikation im Rahmen von Lager- und/oder Prozessmanagementaufgaben (siehe Tabelle 2.3).

	Frequenzen	Handgehaltener Reader	Stationärer Reader
Zutrittskontrollsysteme			
Gebäude- bzw. Raumzutritt	868 MHz 2,45 GHz		X
Objektidentifikation			
Lager- bzw. Prozessmanagement (Identifizierung, Überwachung, Verfolgung und Instandhaltung von Behältern, Paletten, Werkzeugen, Containern, Werkstückträgern, u.v.a.)	433 MHz 868 MHz 2,45 GHz	X	X

Tabelle 2.3: Zusammenfassender Überblick über existierende Anwendungen von strahlungsgekoppelten RFID-Systemen mit passiven und semi-aktiven Transpondern

### 2.4.3.2 Systeme mit aktiven Transpondern

#### Funktionsweise und technische Beschreibung

Bei strahlungsgekoppelten Systemen mit aktiven Transpondern handelt es sich in der Diktion vieler RFID-Pioniere eigentlich nicht um RFID, sondern um konventionelle Funksendetechnik. Die beiden kommunizierenden Geräte (Schreib/Lesegerät und Transponder) sind in diesem Fall technisch gesehen vollständige Sendeempfänger mit eigener Energieversorgung. Dennoch werden hier die Begriffe Schreib/Lesegerät (bzw. Reader) und Transponder (bzw. Tag) beibehalten. Die Ähnlichkeit mit RFID-Systemen besteht darin, dass der Transponder in seiner Funktionalität sehr einfach aufgebaut und sehr energieeffizient realisiert ist, so dass die Batteriebensdauer zumeist, je nach Konfiguration, mehrere Jahre beträgt und der Transponder daher als weitgehend wartungsfrei (wie auch ein passives RFID-Tag) angesehen werden kann.

Bezüglich der Übertragungsstrategie können Systeme mit dauersendenden Transpondern und Systeme, bei denen der Transponder nur auf Anforderung des Schreib/Lesegerätes sendet, unterschieden werden.

Der erstgenannte Fall wird vor allem für die Echtzeitlokalisierung von Objekten und Personen verwendet. Der Transponder sendet dabei in einstellbaren Zeitintervallen einen kurzen HF-Burst mit seiner Kennung aus. Dieser wird von mehreren im zu überwachenden Bereich verteilt angebrachten und untereinander vernetzten Empfängern („Schreib/Lesegeräten“) registriert. Aus Empfangsstärke und Einfallsrichtung des empfangenen Signals kann damit die Position des Transponders berechnet werden.

Der zweitgenannte Fall entspricht dagegen wieder eher dem klassischen RFID, bei dem das Schreib/Lesegerät den Transponder auffordert, die auf ihm gespeicherten Daten zu senden.

#### Frequenzen und Reichweiten mit aktiven Transpondern

Als Sendefrequenzen nutzen diese Systeme zumeist die Bereiche um 433 MHz, 868 MHz, 2,45 GHz und 5,8 GHz. Mit den seitens der Funkregulierung in diesen Frequenzbändern zugelassenen Sendeleistungen (vgl. Kapitel 2.3) bzw. Sendeleistungsüberlegungen hinsichtlich der Batteriebensdauer im Transponder lassen sich damit teilweise Reichweiten von über 100 m realisieren.

#### Ausführungsformen von Schreib/Lesegeräten, Antennen und Transpondern

Als Antennen an den Schreib/Lesegeräten werden auch hier übliche, aus der Funktechnik für die genannten Frequenzbereiche bekannte (Richt-) Antennen eingesetzt. Die Transponder sind hier, aufgrund der komplexeren Schaltungstechnik, praktisch immer in (kompakten)

Kunststoffgehäusen untergebracht, die entweder von Personen getragen (z.B. in der Tasche) oder an Objekten angebracht werden können. Als Transponderantennen sind zumeist einfache Antennenformen direkt als gedruckte Schaltung am PCB der Transponder aufgebaut.

### **Anwendungen und Einsatzgebiete**

Strahlungsgekoppelte RFID-Systeme mit aktiven Transpondern werden zur Echtzeitortung und Identifikation von Personen oder Objekten eingesetzt. Die größten Expositionen können beim Tragen der Transponder unmittelbar am Körper erwartet werden, wenngleich das absolute Ausmaß der Exposition (Teilkörper-SAR), aufgrund der geringen mittleren Sendeleistungen, als sehr gering, jedenfalls deutlich unterhalb der ICNIRP-Basiswerte zu erwarten ist. Auf Basis einer im Internet durchgeführten Produktrecherche liegen die mittleren Sendeleistungen aktiver RFID-Transponder, schon allein um die gewünschte Batterie-Lebensdauer von mehreren Jahren zu erzielen, typischer Weise im Bereich unterhalb von 1 mW, durch den geringen Duty Cycle oftmals sogar deutlich darunter. D.h., für typische aktive RFID-Transponder kann bereits auf Basis grundlegender Überlegungen eine Überschreitung der ICNIRP-Basiswerte ausgeschlossen werden. Dennoch erscheint eine quantitative Erfassung der Exposition in typischen Situationen sinnvoll, um Vergleiche mit Expositionswerten anderer Technologien anstellen zu können.

## **2.5 EAS-Systeme (Einbit-RFID-Systeme)**

Elektronische Artikelsicherungssysteme (EAS-Systeme) sind jene RFID-Systeme, die bereits am längsten erfolgreich eingesetzt und vermarktet werden. Sie gehören mittlerweile seit deutlich mehr als einem Jahrzehnt zur Ausstattung fast aller Ein-/Ausgangsbereiche von Warenhäusern und Geschäftslokalen. Das Grundprinzip von EAS-Systemen besteht darin, dass auf der bzw. in der gegen Diebstahl zu sichernden Ware ein aktivierter<sup>3</sup> Transponder („Tag“ oder manchmal auch „Label“ genannt) angebracht bzw. untergebracht ist. Bei rechtmäßiger Bezahlung der Ware wird dieser Transponder an der Kasse deaktiviert. Im Ausgangsbereich (nach den Kassen) sind Send-/Empfangsantennen montiert, deren Feldbereich vom Kunden beim Verlassen des Kaufhauses durchschritten werden muss. Wird ein aktivierter Transponder (z.B. auf nicht bezahlter Ware) in diesen Feldbereich gebracht, so tritt er in Wechselwirkung mit dem Feld, was vom Empfänger des Systems detektiert werden kann und im Allgemeinen mit einer akustischen und/oder visuellen Alarmauslösung gekoppelt ist. Aufgrund der Tatsache, dass der durch den Transponder von EAS-Systemen vermittelbare Informationsgehalt entweder auf „aktivierter Transponder im Feld anwesend“ oder „Kein aktivierter Transponder im Feld“ eingeschränkt ist, werden EAS-Systeme auch als „Ein-Bit-RFID-Systeme“ bezeichnet.

Je nach genutztem physikalischem Prinzip der Wechselwirkung zwischen Transponder und dem ausgesendeten Feld können die im Folgenden kurz beschriebenen, gegenwärtig eingesetzten EAS-Systemtechnologien unterschieden werden.

### **2.5.1 Radiofrequenz-Systeme**

Radiofrequenz-EAS-Systeme (RF-Systeme) arbeiten typischerweise im Frequenzbereich zwischen ca. 1,8 MHz und 8,7 MHz, wobei gegenwärtige kommerziell vertriebene Anlagen fast ausschließlich den Frequenzbereich um ca. 8,2 MHz nutzen.

Das Funktionsprinzip beruht auf einem im Transponder untergebrachten, auf die System-Mittenfrequenz abgestimmten, LC-Schwingkreis. Die im Ausgangsbereich des Kaufhauses

---

<sup>3</sup> Der Begriff „aktivierter Transponder“ ist nicht mit dem Begriff „aktiver Transponder“ zu verwechseln (vgl. Kapitel 2.1). Transponder von EAS-Systemen sind allein aus Kostengründen praktisch immer passive Transponder im Sinne der Definitionen in Kapitel 2.1.

befindliche Sendeantenne erzeugt ein elektromagnetisches Feld, dessen Frequenz in einem engen Frequenzbereich um die Resonanzfrequenz des Tags (z.B. 8,2 MHz  $\pm$  10%) durchgewobbelt wird. Wird der Transponder in dieses Feld gebracht, so gerät er periodisch mit der Wobbelfrequenz in Resonanz und wirkt im Sinne einer geringen (periodischen) Feldschwächung auf das Gesamtfeld zurück. Diese Änderung des Gesamtfeldes kann entweder in der Sendespule selbst oder auch in einer eigenen Empfängerspule detektiert werden. Mit derartigen Systemen können Schleusenbreiten bis ca. 2 m realisiert werden. Zuverlässigkeitsprobleme ergeben sich vor allem bei Anbringung der Transponder auf metallischen Warenteilen, da diese die resultierende Kapazität und damit die Resonanzfrequenz beeinflussen können. Weiters können auch sämtliche andere, zufällig bei der Systemfrequenz resonanten Teile bzw. Strukturen zu Fehlalarmen führen (z.B. Kabeltrommeln [1]).

Im Zuge der Bezahlung wird der Transponder entweder von der Ware entfernt (bei qualitativ hochwertigen und teuren Transpondern) oder seine Resonanzfrequenz dauerhaft aus dem Systemfrequenzbereich „verschoben“ (billigere, auf der Ware verbleibende Transponder). Letzteres wird in der Praxis dadurch erreicht, dass der Kondensator des LC-Schwingkreises zerstört wird. Dazu wird die Ware mitsamt dem Transponder in ein ausreichend starkes Magnetfeld (typ.  $>1,5$  A/m) eines eigenen Deaktivierungsgerätes (im Bereich der Kassa untergebracht) gebracht, wodurch es im Kondensator zum Durchschlag entlang eigens eingebauter Sollkurzschlussstellen und damit zu seiner Zerstörung kommt.

Die letztgenannte Art der billigen Transponder wird auf sehr einfache Weise, z.B. mittels Ätztechnik auf flexiblen mit metallbeschichteten Basismaterialien realisiert, so dass sich solche Transponder für den Laien oftmals nicht von üblichen Preis- oder Strichcode-Etiketten unterscheiden lassen.

Auf Basis der technischen Spezifikationen von Radiofrequenz-EAS-Systemen sind im Detektionsbereich maximale Feldstärken in der Größenordnung vom ca. 1 A/m zu erwarten (Zerstörung von Soft-Tags  $>1,5$  A/m). Im Nahbereich von Deaktivierungsgeräten ist lokal mit Feldstärken deutlich oberhalb von 1,5 A/m zu rechnen. Im Vergleich dazu liegen der ICNIRP-Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung bei 8,2 MHz bei 0,09 A/m und jener für berufliche Exposition bei ca. 0,2 A/m. Eine detaillierte Analyse der Expositionsverhältnisse in der Praxis erscheint daher hier als geboten.

## 2.5.2 Mikrowellen-Systeme

Mikrowellen-EAS-Systeme arbeiten in Europa zumeist im 2,45 GHz ISM-Frequenzband oder seltener auch im Frequenzbereich um 5,8 GHz und nutzen das Prinzip der Erzeugung von Oberwellen durch den Transponder. Der Transponder ist extrem einfach aufgebaut und besteht im Wesentlichen nur aus einer resonanten Dipolantenne in deren Fußpunkt eine Kapazitätsdiode sitzt. Das vom Sender im Detektionsbereich erzeugte elektromagnetische Feld wird vom resonanten Dipol des im Detektionsbereich befindlichen Transponders aufgenommen und das daraus resultierende Signal an der nichtlinearen Kennlinie der Kapazitätsdiode verzerrt. Die solchermaßen erzeugten Oberwellen des Sendesignals werden vom Dipol wieder abgestrahlt und können von einer Empfangsantenne im Detektionsbereich leicht erfasst werden. Zur Unterscheidung bzw. zur Vermeidung von gegenseitigen Störungen räumlich eng benachbarter Systeme, kann das primäre Sendesignal moduliert werden (z.B. ASK), da sich die Modulation unverändert in den Oberwellen des Signals abbildet.

Die Transponder von Mikrowellen-EAS-Systemen sind üblicher Weise in einem kleinen Kunststoffgehäuse untergebracht (Hard-Tags) und werden beim Bezahlen an der Kasse von der Ware entfernt.

Der wesentliche Nachteil dieser Mikrowellen-EAS-Technologie besteht in der elektromagnetischen Abschirmbarkeit der Tags (z.B. durch Metallfolie), weshalb diese Systeme nur noch relativ selten eingesetzt werden.

### 2.5.3 Frequenzteiler-Systeme

Frequenzteiler-EAS-Systeme arbeiten typischer Weise im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 135 kHz und bedienen sich vergleichsweise aufwendiger Transponder, die das von der Sendeantenne erzeugte Feld via induktiver Kopplung empfangen und dessen Trägerfrequenz teilen (typischer Weise halbieren). Das Signal mit halbiertes Trägerfrequenz (jedoch identischer Modulation wie das ursprüngliche Signal) wird vom Transponder wieder ausgesendet und kann von Empfangsantennen detektiert werden. Die vergleichsweise teuren Transponder werden beim Bezahlen von der Ware entfernt.

### 2.5.4 Elektromagnetische Systeme

Elektromagnetische EAS Systeme (EM-Systeme) arbeiten mit Magnetfeldern bei sehr niedrigen Frequenzen im Bereich von einigen zehn Hertz bis zu ca. 20 kHz. Der Transponder besteht im Wesentlichen aus einem Streifen weichmagnetischen Materials, der ganz oder teilweise von einem Streifen oder Plättchen hartmagnetischen Materials umgeben ist. Im aktivierten Zustand ist das hartmagnetische Material im Transponder entmagnetisiert (geringe Remanenzfeldstärke). Wird ein aktivierter Transponder in das von den Sendeantennen erzeugte Magnetfeld gebracht, so wird der weichmagnetische Metallstreifen im Transponder im Takt der Sendefrequenz ummagnetisiert und dadurch in die Sättigung getrieben. Zwischen der von der Sendeantenne erzeugten Feldstärke und der resultierenden, auf das Feld zurückwirkenden und damit in den Empfangsantennen detektierbaren Magnetisierung des Materials besteht daher ein stark nicht-linearer Zusammenhang. Diese Nichtlinearität führt einerseits zum Entstehen von Oberwellen des Sendesignals und andererseits zum Entstehen von Summen und Differenzfrequenzen, wenn das ursprüngliche Sendesignal nicht nur eine Frequenz enthält, sondern mehrere Frequenzanteile. Letztgenannter Effekt wird zumeist von praktisch eingesetzten EM-Systemen ausgenutzt.

Beim Bezahlen wird das Tag durch einen starken Permanentmagneten deaktiviert. Das starke Gleichfeld des Magneten führt zu einer bleibenden Magnetisierung des hartmagnetischen Materials im Transponder, dessen Remanenzfeldstärke ausreicht, um den weichmagnetischen Metallstreifen in der Sättigung zu halten. Diese ist damit nicht mehr durch das Feld der Sendeantenne ummagnetisierbar und das Tag dadurch deaktiviert. Durch Entmagnetisierung der Transponder ist auch deren Wiederverwendung möglich.

Zur Erreichung der notwendigen Sättigungsmagnetisierung der Tags sind relativ hohe Magnetfeldstärken im Detektionsbereich erforderlich. Als typische Werte werden in [1] beispielsweise 25-120 A/m bei 70 Hz angegeben, was durchaus zu lokalen Feldstärken oberhalb der ICNIRP-Referenzwerte möglich macht (ICNIRP-Referenzwert für Allgemeinbevölkerung bei 70 Hz: ca. 57 A/m).

### 2.5.5 Akustomagnetische Systeme

Akustomagnetische EAS-Systeme (AM-Systeme) nutzen das Prinzip der Magnetostriktion. Im Transponder ist ein hinsichtlich seiner geometrischen Länge auf die Systemfrequenz (typ. 58 kHz) abgestimmter amorpher (weichmagnetischer) Metallstreifen derart untergebracht, dass er frei schwingen kann. Zusätzlich befindet sich auch ein fest mit dem (Kunststoff-) Gehäuse verbundener hartmagnetischer Metallstreifen im Transponder. Erst durch eine ausreichend starke Magnetisierung des Hartmetallstreifens (Aktivierung) liegt die mechanische Eigenfrequenz des amorphen Metallstreifens bei der Systemfrequenz. Die Sendeantennen des Systems erzeugen im Detektionsbereich ein periodisch gepulstes Magnetfeld mit einer Trägerfrequenz entsprechend der mechanischen Resonanzfrequenz der Transponder. Befindet sich ein aktivierter Transponder in diesem Feld, so wird er durch jeden Impuls des Feldes aufgrund der Magnetostriktion zu mechanischen Schwingungen angeregt, die über die Impulsdauer hinaus anhalten, genauer gesagt, nach der fallenden Flanke des Anregungsimpulses exponentiell abklingen. Diese abklingende Schwingung des amorphen Metallstreifens kann durch die Empfängerspule des Systems detektiert werden

(Umkehrung des magnetostruktiven Effekts). Ein wesentlicher Vorteil von AM-Systemen ist, dass Anregung und Detektion der Tags zeitlich getrennt stattfinden können, was sich hinsichtlich der erreichbaren Detektionsempfindlichkeit positiv auswirkt.

Zur Deaktivierung wird das Tag (d.h. der hartmagnetische Metallstreifen im Tag) entmagnetisiert, was zur Verstimmung der mechanischen Resonanzfrequenz des amorphen Metallstreifens führt.

Hinsichtlich der zu erwartenden Immissionen ist zu erwähnen, dass die für AM-Systeme fast ausschließlich genutzte Frequenz von 58 kHz wahrscheinlich nicht zufällig an der oberen Grenze des jenes Frequenzbereiches gewählt wurde, in dem gemäß Funkregulierung die höchsten Magnetfeldstärken zulässig sind (ca. 70 dBµA/m in 10 m Abstand, vgl. Abbildung 2.2). Insofern erscheinen AM-Systeme als strahlungsschutztechnisch besonders interessant (vgl. Abbildung 2.3).

## 2.5.6 Einsatzhäufigkeit in der Praxis

Obwohl grundsätzlich alle oben genannten unterschiedlichen EAS-Technologien seit Jahren zum Stand der Technik gehören und im Laufe der Jahre auch alle in der Praxis zum Einsatz kamen, haben sich am Markt vor allem RF- und AM-Systeme durchgesetzt. Frequenzteiler-Systeme und Mikrowellen-Systeme sind in Mitteleuropa mittlerweile praktisch vollständig aus den Portfolios der Hersteller verschwunden. EM-Systeme werden von einigen Herstellern zwar noch angeboten, sind in der Praxis aber auch nur selten anzutreffen.

Ein Lokalaugenschein in mehr als hundert zufällig ausgewählten unterschiedlichen Verkaufslokalen in Wien hat die in Tabelle 2.4 dargestellten Einsatz-Häufigkeiten ergeben.

Radiofrequenz-Systeme (RF)	50%
Akustomagnetische Systeme (AM)	48%
Elektromagnetische Systeme (EM)	2%

Tabelle 2.4: Einsatzhäufigkeiten der unterschiedlichen EAS-Technologien, erfasst im Zuge eines Lokalaugenscheins in über hundert zufällig ausgewählten Geschäftslokalen in Wien

Demnach teilen sich die RF- und die AM-Technologie praktisch zu annähernd gleichen Teilen den gegenwärtigen EAS-Markt. Die EM-Technologie ist offensichtlich nur mehr sehr vereinzelt anzutreffen.

## 2.6 NFC (Near Field Communication)

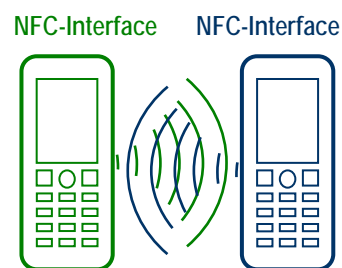
NFC kann als Erweiterung der bei 13,56 MHz mit induktiver Kopplung arbeitenden Technologie der kontaktlosen Chipkarten nach ISO 14443 gesehen werden (vgl. Kapitel 2.4.1) und ist durch Dokumente mehrerer Normungsgremien international standardisiert (z.B. ISO 18092, 21481, ECMA 340, 352, 356, 362, ETSI TS 102 190). Während kontaktlose Chipkarten grundsätzlich als passive Transponder ausgelegt sind, die von zugehörigen Schreib/Lesegeräten via induktiver Kopplung gelesen bzw. beschrieben werden können, geht die NFC-Technik von zwei funktionell gleichgestellten Kommunikationsendgeräten aus. D.h., jedes NFC-Gerät verfügt über einen Sendeempfänger mit eigener Energieversorgung. Als maximale Kommunikationsreichweite wird dabei von ca. 10 cm ausgegangen („proximity coupling“, vgl. Kapitel 2.4.1). Das bei NFC implementierte Übertragungsprotokoll sieht unterschiedliche Betriebsmodi vor. Im so genannten „**Active Mode**“ ist selbstverständlich die Kommunikation zwischen zwei mit NFC-Interface ausgestatteten Geräten (z.B. Mobiltelefonen) möglich. Dies kann, ähnlich wie mit Bluetooth, zum Austausch von Daten zwischen den Geräten genutzt werden, speziell wenn keine Anforderungen an hohe

Datenraten bestehen. Eines der Geräte übernimmt dabei die Rolle des „NFC-Initiators“, der für die Organisation des Datenverkehrs zuständig ist (Master-Funktion), das andere Gerät wird „NFC-Target“ genannt (Slave-Funktion). Die seitens der NFC-Hersteller langfristige vielversprechendste NFC-Anwendung dieser Art ist das „Mobile Payment“. Die Vision dabei ist, dass jedermann mit einem NFC-tauglichen Mobiltelefon ausgestattet und in jedem Geschäft ein entsprechendes NFC-Terminal vorhanden ist. Durch bloßes in die Nähe bringen des Mobiltelefons, Identifikation (z.B. PIN Code Eingabe) und Bestätigung des Betrages, kann bezahlt werden. Einer Verbreitung dieser Anwendung steht die gegenwärtig noch ausstehende Einigkeit aller beteiligten Parteien (Mobilfunk-Netzbetreiber, Banken, Handel, NFC- und Mobilfunkhersteller) über das dafür notwendige „Ecosystem“, der damit verbundenen Sicherheits- und Datenschutzaspekte, sowie das entsprechende Geschäftsmodell im Weg. Gemäß aktueller Informationen von einer kürzlich stattgefundenen einschlägigen Fachveranstaltung [8] kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bis 2012 diese Einigung erzielt werden kann. Derzeit laufende NFC-Pilotprojekte mit mobilen Zahlungsfunktionalitäten beschränken sich zumeist auf abgeschlossene Systeme, wie z.B. den elektronischen Ticketverkauf innerhalb eines Verkehrsverbundes, Parkticketverkauf in Städten, usw.

Neben dem „Active Mode“ bietet der bei NFC zusätzlich verfügbare „**Passive Mode**“ vorteilhafte Funktionalitäten, die NFC das Potenzial einer äußerst vielfältig einsetzbaren Technologie verleiht. In diesem Modus kann ein NFC-Gerät entweder die Funktionalität eines zu ISO14443 konformen RFID-Schreib/Lesegerätes (Reader Emulation Mode) oder eines ISO 14443 konformen RFID-Transponders („Card Emulation Mode“) übernehmen (Abbildung 2.6).

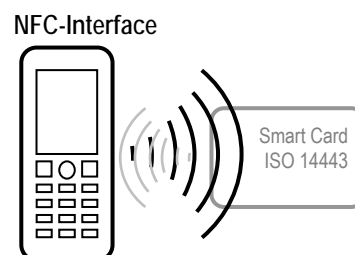
### ACTIVE MODE

Beide mit NFC-Interface ausgestatteten Geräte kommunizieren (aktiv) miteinander. Eines der beiden Geräte („NFC-Initiator“) übernimmt dabei die Organisation der Kommunikation (Master), das andere Gerät übernimmt die Rolle des „NFC-Targets“ (Slave).



### PASSIVE MODE Reader Emulation Mode

Ein mit NFC-Interface ausgestattetes Gerät kann zu ISO 14443 kompatible RFID-Transponder lesen oder beschreiben und bietet die Funktionalität eines RFID-Schreib/Lesegerätes nach ISO 14443.



### PASSIVE MODE Card Emulation Mode

Ein mit NFC-Interface ausgestattetes Gerät kann mit einem RFID-Schreib/Lesegerätes nach ISO 14443 Daten austauschen und bietet die Funktionalität eines passiven RFID-Transponders nach ISO 14443.

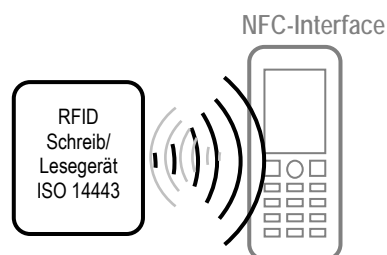


Abbildung 2.6: Schematische Darstellung der bei NFC möglichen Betriebsmodi

Ein NFC-taugliches Endgerät, wie z.B. ein Mobiltelefon, kann damit zu einem „universellen“ (ISO14443-) RFID-Gerät für jedermann werden, womit der Phantasie hinsichtlich damit realisierbarer Anwendungen nur sehr weite Grenzen gesetzt werden können. Bereits die gegenwärtig laufenden NFC-Pilotprojekte in den Bereichen der Medizin, Ambient Assisted Living, Social Networking, Kundenbindung, Unterhaltung, Sport, Ticketing, Marketing, usw. [8] sind derart mannigfaltig, dass von einer zeitnahen Verbreitung von NFC ausgegangen werden kann.

Hinsichtlich der Exposition durch NFC-Geräte, wird aufgrund der absehbaren Anwendungen in der Praxis zumeist eine lokale Exposition der Hand bzw. der Finger vorherrschen. Im Zuge eines ebenfalls gegenwärtig laufenden Projekts in unserem Haus wurden an der Oberfläche (ca. 5 mm Distanz) zu NFC-Modulen lokale magnetische Feldstärken bis zu 50 A/m gemessen (ICNIRP-Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung bei 13,56 MHz: 0,073 A/m). Trotz der hohen lokalen magnetischen Feldstärken ist aufgrund der lokalen Begrenztheit der Felder, der üblicherweise relativ kurzen Expositionsdauern und aufgrund der relativ schwachen Kopplung und der relativ geringen Gewebeleitfähigkeiten bei 13,56 MHz eine Annäherung an den lokalen, über 10g gemittelten ICNIRP SAR-Basiswert (4 W/kg in den Gliedmaßen für die Allgemeinbevölkerung) äußerst unwahrscheinlich. Dennoch werden eine detaillierte numerische Untersuchung der Strahlungsabsorption und ein quantitativer Vergleich mit dem Basiswert als sinnvoll angesehen.

Zusätzlich ist anzumerken, dass Untersuchungen mit gegenwärtig bereits verfügbaren NFC-tauglichen Mobiltelefonen (z.B. Nokia 6212) zeigten, dass bei aktivierter NFC-Funktionalität das Mobiltelefon periodisch HF-Bursts (mit 13,56 MHz) aussendet (auch ohne vorhandene Kommunikationsgegenstelle). Diese zum „Suchen“ von anderen NFC-Geräten in der Nähe notwendige Burst-Aussendung zeigte beim untersuchten Gerät Burst-Wiederholraten von ca. 3 Hz. Diese Tatsache könnte insbesondere für die anzustellenden Untersuchungen im Hinblick auf Herzschrittmacherträger interessant sein.

### **3 LITERATURRECHERCHE BEZÜGLICH EXPOSITION VON PERSONEN DURCH RFID-SYSTEME**

Hinsichtlich der Exposition von Personen durch elektromagnetische Felder von RFID-Geräten liegen in der wissenschaftlichen Literatur überraschend wenig Publikationen vor. In öffentlich zugänglicher Form existieren nur einige wenige numerische Arbeiten zur Frage der induzierten Körperstromdichten durch EAS- bzw. RFID-Geräte. Im Gegensatz dazu existieren eine Vielzahl von Untersuchungen zum Thema der Störbeeinflussung von aktiven Implantaten und anderen medizintechnischen Geräten, offensichtlich begründet durch die Tatsache, dass für die RFID-Technik auch im Bereich der Medizintechnik bzw. im Gesundheitswesen viele vermarktbare Anwendungsszenarien existieren.

In den folgenden beiden Abschnitten wird eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten publizierten Arbeiten zu den Fragen der Exposition von Personen durch RFID-Geräte und der möglichen Störbeeinflussung von aktiven Implantaten gegeben.

#### **3.1 Exposition bezüglich direkter Wirkungen**

Ergebnisse einer relativ frühen Arbeit zu Immissionsmessungen im Bereich von EAS-Anlagen werden in [9] zusammengefasst. Es wurden dabei Immissionsmessungen mit Breitbandfeldsonden im Nahbereich von RF-, AM-, EM- und Mikrowellen-EAS-Systemen durchgeführt. Angegeben werden jeweils die von den Messgeräten angezeigten Effektivwerte, ohne jedoch näher auf die Signaleigenschaften im Zeitbereich und das zeitliche Mittelungsverhalten der verwendeten Messgeräte bei gepulsten Feldern einzugehen. Aus diesem Grund müssen die Ergebnisse in [9] mit einer gewissen Vorsicht betrachtet werden. Einerseits bieten die angeführten Feldstärkewerte aus den genannten Gründen keine Rückschlussmöglichkeiten auf Puls-Spitzenbelastungen, und andererseits kann nicht ausgeschlossen werden, dass sie die tatsächlich aufgetretenen Feldstärken teilweise unterschätzen. Nahe zu den Antennen der untersuchten RF-Systeme (1,8 – 8,2 MHz) werden magnetische Feldstärken zwischen 0,08 A/m und 1,0 A/m berichtet, in der Mitte zwischen den Antennen, weniger als 0,03 A/m. Bei den untersuchten EM-Systemen (75 Hz bzw. 218 Hz) traten laut [9] nahe der Antenne bis zu 1040 A/m und in der Mitte zwischen den Antennen noch bis zu 144 A/m auf. Die Maximalimmissionen der AM-Systeme werden nahe den Antennen bzw. in der Mitte zwischen den Antennen mit 0,4 A/m bzw. 16,4 A/m angegeben. Die vom einzigen in [9] untersuchten Mikrowellensystem erzeugte elektrische Feldstärke betrug nahe der Sendeantenne ca. 16,6 V/m und in ca. 1 m Entfernung zur Antenne ca. 4,5 V/m.

Eine ganze Reihe unterschiedlicher Feldquellen an Arbeitsplätzen wurden in [10] messtechnisch, hinsichtlich der von ihnen verursachten Immissionen untersucht, darunter auch 3 RFID- bzw. EAS-Systeme mit Arbeitsfrequenzen 650 MHz, 5-7,5 kHz und 8,2 MHz. Die gemessenen lokalen maximalen magnetischen Feldstärken lagen in 10 cm Abstand zu den Geräten bei 40 A/m, 71,6 A/m und 0,1 A/m (Nennung in Reihenfolge wie oben bei Frequenzangabe), wobei beim 650 MHz System zusätzlich ein Wert von 477 A/m für die 50 Hz Komponente des Magnetfeldes angegeben wird. D.h., die lokalen Immissionen, lagen mit Ausnahme des 8,2 MHz Systems in 10 cm Distanz zu den Geräten oberhalb der ICNIRP-Referenzwerte für berufliche Exposition. In 1 m Entfernung zu den Geräten lagen die Immissionen schon deutlich unterhalb der ICNIRP-Referenzwerte für berufliche Exposition, für das 650 MHz System und das 8,2 MHz System auch schon unterhalb der Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung. Neben den oben erwähnten Spot-Messungen zur Erfassung der, wurde auch die individuelle Exposition von Arbeitnehmern in der Umgebung der untersuchten EAS-Geräte während 20 Minuten Intervallen (1 Messwert pro Sekunde) erfasst (Messgeräte am Arbeitnehmer montiert). Die dabei gemessenen Maximalwerte der Magnetfeldstärke werden mit 1,59 A/m (136 A/m), 27,2 A/m und 1,3 A/m für das 650 Hz

(50 Hz Komponente)-, das 5-7,5 kHz- und das 8,2 MHz System angegeben, also ebenfalls teilweise zumindest oberhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung.

In einem Bericht des britischen National Radiological Protection Board (NRPB) [11] werden Immissionswerte von unterschiedlichsten für Arbeitsplätze relevanten Geräten zusammengefasst, darunter auch RFID- und EAS-Geräte. Als Vertreter von RFID-Geräten werden unterschiedliche Proximity-Reader und Antennen im Frequenzbereich 120-150 kHz, sowie bei 4,9 MHz angeführt. Bei allen angeführten Geräten traten die Feldmaxima stark lokal nahe der Antennen auf und lagen im Abstand  $> 20$  cm bereits unterhalb der Referenzwerte für berufliche Exposition. Als EAS-Systeme wurden zumeist RF-Geräte (Detektoren und Deaktivierungsgeräte) im Frequenzbereich 7,4-9,1 MHz, sowie ein nicht näher spezifiziertes System bei 1,9 kHz betrachtet. Die höchsten Expositionswerte relativ zum Referenzwert werden für das 1,9 kHz System berichtet, bei dem auch in 1 m Distanz der Referenzwert für berufliche Exposition noch überschritten war. Bei den RF-Geräten werden Überschreitungen der Referenzwerte bei den stärksten der untersuchten Geräte nur innerhalb von ca. 30 cm Abstand zu den Antennen erreicht.

RFID-Systeme werden auch in [12] im Rahmen eines allgemeinen Artikels zum Thema der Exposition von Personen durch neue Funktechnologien erwähnt. Neben einer kurz gefassten Beschreibung der RFID-Technik werden auch in der Nähe eines 13,56 MHz Proximity-Kartenlesers gemessene Werte der magnetischen Feldstärke angegeben. In Abständen größer ca. 20 cm zum Kartenleser lagen die Feldstärkewerte bereits unterhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. Erwähnt wird in [12] auch, dass SAR Messungen unter der Annahme eines direkten Anlehns an den Kartenleser zu maximalen, über 10g Gewebe gemittelten SAR-Werten von ca. 0,1 W/kg führten, was deutlich unterhalb des entsprechenden ICNIRP-Basiswertes von 2 W/kg liegt.

Die Ergebnisse umfangreicher Messkampagnen in der Nähe unterschiedlichster RFID-Geräte bzw. Systeme sind in [13] zusammengefasst. Unter Laborbedingungen wurden Messungen an einem 121,5 kHz- und einem 13,56 MHz-Proximity-Readermodul durchgeführt. Als Maximalwerte der magnetischen Feldstärke unmittelbar über der Antenne der Module werden 2,1 A/m (Spitzenwert) beim 121,5 kHz Reader und ca. 43 A/m (Spitzenwert) bzw. ca. 13 A/m (Mittelwert) beim 13,56 MHz Reader angegeben. Zum Vergleich, die ICNIRP Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung liegen bei 5 A/m (3-150 kHz) bzw. bei 0,073 A/m (10-400 MHz). In Hauptsenderichtung der Antenne eines gängigen UHF-Schreib/Lesegerätes (868 MHz) wurde ein Spitzenwert 31,2 V/m bei einem Abstand von 20 cm zur Antenne gemessen, also bereits weniger als der entsprechende ICNIRP-Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung. Weitere Messungen wurden in situ in der Nähe von drei unterschiedlichen 125 kHz Readern, und eines 13,56 MHz Readers von kontaktlosen Zutrittssystemen bzw. von RFID-Systemen zur Wäscheerkennung in einer Wäscherei durchgeführt. Schließlich wird von Messungen im Bereich eines 13,56 MHz RFID-Proximity Systems für Leihfahrräder, sowie im Bereich einer Mautstation mit installiertem 5,8 GHz RFID-Mauterfassungssystem berichtet. Die maximalen magnetischen Feldstärken in unmittelbarer Nähe der Oberfläche der untersuchten 125 kHz Reader werden (geräteabhängig) im Bereich zwischen ca. 2,2 A/m und 14,5 A/m (Spitzenwerte) angegeben, jene des 13,56 MHz Readers zur Wäscheerkennung mit ca. 1,9 A/m (Effektivwert). Die maximale magnetische Feldstärke (Effektivwert) an der Oberfläche des 13,56 MHz Schreib/Lesegerätes der Leihfahrradstation betrug ca. 0,25 A/m. Die Messungen in für Personen zugänglichen Bereichen der Mautstation mit 5,8 GHz RFID-Mauterfassungssystem ergaben maximale Immissionswerte von 2,1 V/m, entsprechend ca. 2,2 % des ICNIRP-Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung.

Mit der numerischen Berechnung der Stromdichte in anatomischen Körpermodellen befassen sich [14] - [18].

In [14] wird von numerischen Berechnungen der induzierten Körperstromdichten bei Exposition im Bereich eines Tag-Deaktivierungsgerätes und einer aus zwei Spulenantennen bestehenden EAS-Schleuse im Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 30 kHz berichtet. Die Berechnungen wurden jeweils mit einem anatomischen Körpermodell eines Erwachsenen

und mit zwei daraus (durch maßstäbliches Verkleinern) abgeleiteten Kindermodellen, entsprechend einem 10-jährigen und einem 5-jährigen Kind durchgeführt. Aufgrund der Tatsache, dass die Feldmaxima der modellierten EAS-Komponenten im Bereich von ca. 0,8 bis 1,2 m über dem Boden auftraten ergaben sich für die Kindermodelle größere lokale Stromdichten in Gehirn und Rückenmark, als im Modell des Erwachsenen. Die Autoren kommen zum Schluss, dass die maximale, über einen Querschnitt von  $1 \text{ cm}^2$  gemittelte Stromdichte im Gehirn von Erwachsenen unterhalb der entsprechenden ICNIRP-Basiswerte liegt. Für Kinder sehen sie aber potenziell die Möglichkeit einer Annäherung an die Basiswerte bzw. sogar einer Überschreitung.

Die Autoren von [15] ziehen einen Vergleich unterschiedlicher Expositionsbewertungsmethoden im Bereich von EAS-, RFID- und ähnlichen Geräten, bei Aussendung gepulster Felder. Verglichen wird einerseits eine Beurteilung mit Berechnung des induzierten Stromdichtemaximums, unter der vereinfachten Annahme, dass der tatsächlich emittierte Impuls (Impulsdauer  $t_p$ ) durch eine Sinushalbwelle der Frequenz  $1/2t_p$  nachgebildet werden kann. Demgegenüber wird andererseits die Exposition im gepulsten Feld als Multifrequenzexposition entsprechend der Fourier-Zerlegung des Originalimpulses betrachtet. In ihren Berechnungen mit unterschiedlichen Impulsformen zeigen die Autoren, dass die Bewertung auf Basis einer Multifrequenzexposition zu wesentlich konservativeren Ergebnissen führt als jene mit vereinfachter Impulsform.

Die induzierten Körperstromdichten in einem anatomischen Modell eines Erwachsenen zufolge der Exposition gegenüber Magnetfeldern von EAS-Deaktivierungsgeräten (200 Hz) wurden in [16] berechnet. Die Berechnungen zeigten für die getroffenen Annahmen keine Überschreitung der ICNIRP-Basiswerte (über  $1 \text{ cm}^2$  gemittelte Stromdichte) im Zentralnervensystem.

In [17] und [18] werden Ergebnisse numerischer Berechnungen bei Exposition eines anatomischen Körpermodells eines Erwachsenen im Nahbereich von Antennen von Vicinity-RFID-Geräten bei 125 kHz und 13,56 MHz gezeigt. Zusätzlich zur Exposition des originalen Körpermodells wird die Beeinflussung der induzierten Stromdichte durch metallische Implantate (künstliches Hüftgelenk, Plattenverschraubung am distalen Ende des Oberarmknochens, sowie metallische Zwischenwirbelfixierung) untersucht. Beide Arbeiten zeigen einerseits, dass bei starker Annäherung an die Antennen der betrachteten RFID-Systeme die Basiswerte (sowohl bezüglich Stromdichte, als auch bezüglich SAR) erreicht, bzw. in Extremfällen überschritten werden können, und andererseits, dass metallische Implantate zu einer Erhöhung der lokalen Stromdichten bzw. der SAR in unmittelbarer Umgebung der Implantate führen können.

Ein Ergebnisbericht zu detaillierten numerischen Berechnungen der induzierten Stromdichte in einem anatomischen Ganzkörpermodell eines Erwachsenen bei Exposition nahe der Antennen zweier unterschiedlicher EAS-Systeme liegt mit [19] vor. Es wurde ein 217 Hz EM- und ein 58 kHz AM-EAS System, jeweils bei seitlicher Exposition des Körpermodells mit 20 cm Abstand zu den Antennen, sowie bei Berührung des Antennengehäuses, mit dem Rücken, betrachtet. Die Berechnungsergebnisse zeigten, dass in der Expositionssituation mit Berührung des Antennengehäuses der ICNIRP Basiswert für die Stromdichte im Gewebe für beide untersuchten EAS Systeme überschritten wurde. Bei seitlicher Exposition mit 20 cm Abstand zum Antennengehäuse kam es nur beim EM-EAS-System zu Überschreitungen des ICNIRP Basiswertes. Die höchsten Stromdichtewerte traten jeweils im Bereich des Rückenmarks auf.

### **3.2 Störbeeinflussung elektronischer Implantate**

Systematische Untersuchungen und Fallberichte von Störbeeinflussungen von implantierbaren Herzschrittmachern und Cardioverter Defibrillatoren (ICD) durch EAS- oder RFID-Systeme finden sich in relativ großer Zahl in der wissenschaftlichen Literatur. Vor allem EAS-Systemen wurde in diesem Zusammenhang am Beginn deren Verbreitung in den 1990er Jahren viel Aufmerksamkeit geschenkt.

In einer frühen Arbeit aus 1992 [20] wurden die Auswirkungen von vier verschiedenen elektronischen Artikelsicherungsanlagen auf 35 Herzschrittmacher in unterschiedlichen Positionen im Bereich der EAS-Systeme untersucht. Angaben über die Positionen an denen Störungen auftraten, über die Feldstärken an diesen Positionen und über die genauen Typenbezeichnungen der untersuchten EAS-Systeme werden nicht gemacht. 28 (80%) Herzschrittmacher zeigten eine Beeinflussung durch das Feld der EAS-Anlagen. Von den 28 beeinflussten Herzschrittmacher inhibierten 14 (50%) länger als drei Sekunden, 3 (11%) Geräten kam es zur Umprogrammierung zufolge der Exposition und bei den restlichen 11 (39%) Herzschrittmacher traten falsche Stimulationsimpulse auf.

Von in vitro Untersuchungen mit 28 Herzschrittmachern und in vivo Untersuchungen mit 32 freiwilligen Herzschrittmacherpatienten in den Feldern unterschiedlicher EAS-Anlagen wird in [21] berichtet. Keine Auswirkungen auf die Herzschrittmacher wurde bei Anlagen mit Arbeitsfrequenzen 7,4 MHz - 9 MHz, 300 Hz und 10 kHz festgestellt. Bei EAS-Anlagen mit Arbeitsfrequenz 132 kHz (gepulst mit 15 Hz), kam es bei den meisten in vitro Untersuchungen zu Stimulus-Inhibitionen bzw. zu Umprogrammierungen. Die in vivo Untersuchungen zeigten Inhibitionen bei 10 der untersuchten Schrittmacher.

Im Jahr 1995 erschien mit zum ersten Mal ein Fallbericht einer Störbeeinflussung eines implantierbaren Defibrillators (ICD) durch ein EAS-System [22]. Es wird von einem 61-jährigen Patienten berichtet, bei dem acht Monate nach der Implantation Fehlfunktionen (nicht adäquate Defibrillationsschocks) auftraten, die der Autor auf ein ca. 10 minütiges Verweilen des Patienten in unmittelbarer Nähe (mit teilweiser Berührung) einer EAS-Antenne zurückführt.

In [23] wird von einem weiteren Zwischenfall bei einem 60-jährigen ICD-Patienten berichtet, bei dem es infolge des Berührens einer EAS-Antenne zur Auslösung von Defibrillationsschocks kam.

In einer 1998 in [24] publizierten, umfangreichen Untersuchung in den USA wurden insgesamt 25 ICD-Patienten und 50 Herzschrittmacherpatienten den elektromagnetischen Feldern von 6 unterschiedlichen EAS-Systemen ausgesetzt und die Reaktion der Implantate analysiert. Keiner der ICDs zeigte Störbeeinflussungen durch die Felder der EAS-Systeme. Bei den Herzschrittmachern zeigten sich, je nach Technologie der EAS-Systeme unterschiedliche Effekte. Mit RF-EAS-Systemen konnte bei keinem der Herzschrittmacher eine Störung festgestellt werden. Bei einem der untersuchten EM-EAS-Systemen traten bei 2 der insgesamt 50 Schrittmacherpatienten Störungen auf. Das größte Störpotenzial zeigten die AM-EAS-Systeme, die bei 48 der 50 Herzschrittmacher zu nachweisbaren Beeinflussungen führten.

Die Untersuchung der Auswirkungen von 2 unterschiedlichen EM-EAS-Systemen auf die Implantate von 20 Herzschrittmacherpatienten wird in [25] beschrieben. Die EAS-Systeme werden vom Autor durch Angabe der Arbeitsfrequenz und eines Wertes der magnetischen Flussdichte spezifiziert. Demgemäß soll es sich bei einem System um 72 Hz bei 1,1  $\mu\text{T}$  und beim anderen System um 5 und 7,5 kHz bei 670  $\mu\text{T}$  gehandelt haben. Während kontinuierlicher Aufzeichnung des EKGs durchschritten die Patienten die Anlage, blieben darin stehen und lehnten sich dann gegen die Anlage. Mit der höchsten eingestellten Schrittmachersensitivität (1,2 mV) detektierten 6 der 20 Schrittmacher am ventrikulären Kanal eine Störung. Alle Störungen traten bei der Anlage mit 72,3 Hz, keine Störungen bei der Anlage im kHz-Bereich auf. In 5 Fällen kam es zu kurzfristigen Stimulus-Inhibitionen (<1.2s) und in einem Fall ging der Herzschrittmacher in den asynchronen Sicherheitsbetrieb über. Alle HSM bei denen Störungen auftraten, gehörten zur Gruppe der vor 1993 hergestellten Implantate.

In [26] wird ebenfalls von Wechselwirkungen zwischen Herzschrittmachern und einem EAS-System berichtet. Bei 20% (26 von 129) der an der Untersuchung teilnehmenden Patienten mit DDD-Schrittmachern, bei 10% (7 von 71) der an der Untersuchung teilnehmenden Patienten mit VVI-Schrittmachern und bei 50% (2 von 4) der an der Untersuchung teilnehmenden Patienten mit VDD-Schrittmachern wurden Interferenzen beim Durchschreiten der Artikelsicherungsanlage beobachtet. Darüber hinaus zeigte sich, dass

bei unipolaren Herzschrittmacherkonfigurationen Interferenzen ca. doppelt so häufig auftraten, als bei bipolaren.

Störbeeinflussungen von implantierbaren Loop Recordern (ILR)<sup>4</sup> durch RF-EAS Systeme werden in [27] berichtet. Es wurden sowohl in vivo Versuche (mit 2 Patienten), als auch in vitro Experimente (mit 3 ILR Systemen in Luft) in den Feldern unterschiedlicher EAS Systeme (RF, EM, AM) durchgeführt. Für die in vivo Untersuchungen durchschritten die Patienten die EAS Systeme in typischer Weise, für die in vitro Versuche wurden die ILR-Systeme auch näher an die Antennen der EAS Geräte herangebracht bzw. der Abstand zu den Antennen durch rhythmische Bewegung (mit ca. 1 Hz) variiert, um einen möglichen Einfluss einer überlagerten Amplitudenmodulation zu untersuchen. Eine Störbeeinflussung wird interessanter Weise nur bei den RF-EAS Systemen berichtet (sowohl in vivo als auch in vitro).

Die am Herzschrittmachereingang durch EAS-Systeme induzierte Störspannung wurde in [28] auf Basis numerischer Berechnungen ermittelt. Dabei wurden zwei typische von EAS-Systemen verwendete Frequenzen, nämlich 200 Hz (EM-EAS-System) und 8,2 MHz (RF-EAS-System) betrachtet. Als Körperphantom wurde ein einfacher quaderförmiger und homogener Gewebblock verwendet. Für das RF-EAS-System (8,2 MHz) ergaben die Berechnungsergebnisse für die induzierten Spannungen zwischen Gehäuse und ventrikulärer Elektrode bzw. zwischen Gehäuse und atrialer Elektrode bzw. zwischen ventrikulärer und atrialer Elektrode 342 mV bzw. 1,33 mV bzw. 51 mV. Für das EM-EAS-System (200 Hz) ergaben sich diese Werte zu 1,03 mV bzw. 0,17 mV bzw. 7,62 mV. Gemäß den Autoren sind diese induzierten Spannungen zu klein um eine Störung des Schrittmachers zu bewirken.

In einem allgemeinen Artikel zum Thema der elektromagnetischen Wechselwirkungen von EAS- RFID- und Metalldetektor-Systemen [29] wird von Prof. Irnich die Möglichkeit einer Abschätzung des Gefahrenpotenzials für derartige Wechselwirkungen auf Basis der physikalischen Gegebenheiten gezeigt. Basierend auf zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen liegen Daten über die maximal zulässigen Störspannungen am Schrittmachereingang vor, sodass mit entsprechenden Kopplungsmodellen eine Beurteilung vorgenommen werden kann, wenn die von den genannten Quellen verursachten maximalen Feldstärken bekannt sind.

Dass trotz zweifelsfreier Verbesserung der Störfestigkeit von Herzschrittmachern und ICDs auch heute noch klinisch relevante Störbeeinflussungen durch EAS-Systeme möglich sind, zeigen zwei kürzlich publizierte Fallberichte aus den USA [30]. Es wird von nichtadäquater Defibrillationsschockauslösung bei einem ICD-Patienten und Kreislaufkollaps zufolge Störbeeinflussung des Herzschrittmachers bei einer Patientin, verursacht durch akustomagnetische (AM-) EAS Systeme berichtet.

Intensive Aktivitäten zum Thema möglicher Störbeeinflussungen von aktiven Implantaten fanden in den letzten Jahren in Japan statt, wobei man sich nicht speziell mit EAS-Systemen, sondern ganz allgemein mit der RFID –Technologie und allen dabei genutzten Frequenzbereichen auseinandersetzte. In [30] und [32] werden Methoden zur Analyse des Störbeeinflussungspotenzials auf Basis einer Kombination von messtechnischen und numerischen Experimenten beschrieben.

Unter Verwendung der in [30] und [32] beschriebenen experimentellen in vitro Testmethode (mit quaderförmigem flüssigkeitsgefüllter Körperrückbildung) wurden im Auftrag des japanischen *Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC)* umfangreiche Untersuchungen mit unterschiedlichen Implantaten und RFID-Geräten im UHF-Frequenzbereich durchgeführt, deren Ergebnisse in einem detaillierten Bericht zusammengefasst sind [33]. Es wurden insgesamt 31 unterschiedliche Herzschrittmacher

---

<sup>4</sup> Unter „Loop Recorder“ werden in der Kardiologie Geräte bezeichnet, die das EKG laufend in einem Ringspeicher definierter Aufzeichnungslänge  $t$  (z.B. 30 s) aufzeichnen. Wird zu einem Zeitpunkt  $t_0$  eines mehrerer vordefinierbarer EKG-Ereignisse vom ILR detektiert, so wird die EKG-Aufzeichnung des Zeitbereichs  $t_0$ - $t$  dauerhaft gespeichert. Treten keine Ereignisse auf, so wird die EKG-Aufzeichnung laufend mit den aktuellen Daten überschrieben. Auf diese Weise ist eine Langzeitüberwachung hinsichtlich auftretender EKG-Ereignisse bei Herzpatienten möglich.

und 14 ICDs bei Exposition in den Feldern von insgesamt 17 unterschiedlichen RFID-Geräten (3 handgehaltene, 12 stationäre und 2 modulare Reader) untersucht. Zusammenfassend zeigte sich, dass die Einhaltung eines 22 cm Sicherheitsabstandes zu den untersuchten UHF-RFID-Geräten ausreicht, um Störbeeinflussungen zu verhindern.

In einer kürzlich veröffentlichten Arbeit [34] wurden 15 Herzschrittmacher und 15 ICDs in den Feldern von 13 unterschiedlichen RFID Readern mit Arbeitsfrequenzen im Band 125-135 kHz (LF-Systeme), bei 13,56 MHz (HF-Systeme) und im UHF-Bereich auf Basis von in vitro Experimenten untersucht. Während bei keinem der UHF-Systeme Störbeeinflussungen der Herzschrittmacher und ICDs gefunden wurden, zeigten sich bei ca. 6% der Schrittmacheruntersuchungen und ca. 1% der ICD-Untersuchungen Störbeeinflussungen bei Exposition in den Feldern der 13,56 MHz Systeme. Die Störbeeinflussungen traten dabei bis zu einer Distanz von 22 cm von den Geräten auf. Das größte Störpotenzial zeigten die LF-Systeme mit einer Störbeeinflussung von 67% aller durchgeführten Schrittmacher- und 47% aller durchgeführten ICD-Tests, wobei Störbeeinflussungen bis zu Distanzen von ca. 60 cm von den Geräten beobachtet werden konnten.

Neben den zahlreichen oben angeführten Arbeiten hinsichtlich Herzschrittmacher und Defibrillatoren liegt auch ein Fallbericht bezüglich einer möglichen elektromagnetischen Beeinflussung eines Rückenmarkstimulators durch EAS-Systeme vor. In [35] wird von einem 69-jährigen Patienten mit einem in der Lendengegend implantierten Rückenmarkstimulator und zwei Stimulationselektroden im Halsbereich berichtet, der beim Durchschreiten eines EAS-Systems nach einer kurzen Schmerzempfindung im Kopf das Bewusstsein verlor und sogar nach Wiedererlangen des Bewusstseins noch neurologische Beeinträchtigungen aufwies. Obwohl auf physikalischer Basis ein kausaler Zusammenhang mit den vom EAS-System emittierten Feldern nicht eindeutig und zweifelsfrei gezeigt werden konnte, wird vom Autor die Hypothese vertreten, dass ein solcher Zusammenhang existiert.

Die vorliegende Literatur zeigt demnach klar, dass RFID-Systeme grundsätzlich als potenzielle Störquellen für aktive elektronische Implantate angesehen werden müssen. Eine pauschale Aussage für alle RFID-Systeme ist jedoch aufgrund der Vielzahl der RFID-Anwendungsmöglichkeiten und RFID-Gerätetypen nicht ableitbar.

## **4 SYNOPSE DER REGELWERKE UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE BEGRENZUNG DER EXPOSITION**

Grundsätzlich sind RFID-Geräte als Telekommunikations-Endgeräte im Sinne der Richtlinie 1999/5/EG [36] des Europäischen Parlaments und des Rates zu sehen. Um die bezüglich RFID-Tags in diesem Zusammenhang bestehenden Unklarheiten zu beseitigen, hat die Bundesnetzagentur im Amtsblatt 4/2008 (Mitteilung 203/2008) eindeutig festgestellt, dass auch RFID-Tags als Telekommunikations-Endgeräte im Sinne der Richtlinie 1999/5/EG zu verstehen sind.

Da der Schutz der Gesundheit des Benutzers und anderer Personen ein ausdrückliches Schutzziel von [36] darstellt, ist formal rechtlich auch die Grundlage für eine Überprüfung solcher Geräte hinsichtlich der Übereinstimmung mit Grenzwerten zum Schutz vor Schädigungen der von diesen Geräten ausgehenden elektromagnetischen Felder gegeben. Der Nachweis der Konformität von Geräten unter Richtlinie 1999/5/EG kann auf Basis von Prüfverfahren nach harmonisierten Normen erfolgen. In Zusammenhang mit RFID-Geräten wird EN 50364 [37] von Richtlinie 1999/5/EG als harmonisierte Norm angeführt, in der bezüglich der einzuhaltenden Immissionswerte für die Allgemeinbevölkerung auf die Basiswerte (Basic restrictions) und Referenzwerte (Reference levels) der Ratsempfehlung 1999/519/EG [38] und bezüglich der maximal zulässigen Immissionen an Arbeitsplätzen auf die entsprechenden Limits der ICNIRP-Guidelines 1998 [7] verwiesen wird. Hinsichtlich der zu verwendenden Mess- und Beurteilungsmethoden verweist EN 50364 auf EN 50357 [39], wobei diese letztgenannte Norm in Kürze durch das Dokument EN 62369-1 [40] ersetzt wird. EN 62369 ist angedacht als eine etwas weiter als EN 50357 gefasste Normenreihe für die Ermittlung der Exposition von Personen in den elektromagnetischen Feldern, erzeugt von Geräten unterschiedlicher Kurzstreckenfunktechnologien (Short Range Devices, SRD). Der auch bereits in Form eines DIN-Normenentwurf (mit gleicher Nummernbezeichnung) vorliegende Teil 1 (DIN EN 62369-1) dieser Normenreihe beschreibt Beurteilungsmethoden speziell für Geräte zur elektronischen Artikelsicherung (EAS), RFID-Geräte und Geräte ähnlicher Anwendungen.

Für RFID-Geräte besteht daher jedenfalls eine Rechtsgrundlage hinsichtlich der Einhaltung von Expositionslimits, auch wenn solche Geräte von der 26. Bundesimmissionschutzverordnung nicht abgedeckt werden, da diese nur auf ortsfeste 16,7 Hz und 50 Hz Anlagen, sowie für Hochfrequenzanlagen im Frequenzbereich 10 MHz – 300 GHz mit einer Sendeleistung von mindestens 10 W (EIRP) anwendbar ist.

Zusätzlich wird mit Umsetzung der Richtlinie 2004/40/EG [41] bis spätestens April 2012 eine Rechtsgrundlage für die Expositionsbegrenzung für Personen am Arbeitsplatz geschaffen, wobei die in 2004/40/EG angeführten Expositionsgrenzwerte und Auslösewerte den Basiswerten (Basic restrictions) und Referenzwerten (Reference levels) der ICNIRP Guidelines aus 1998 [7] für berufliche Exposition entsprechen.

### **4.1 Methoden der Expositionsermittlung nach EN 62369-1**

Die seit September 2008 als CENELEC Schluss-Entwurf und seit März 2009 als DIN Entwurf vorliegende EN 62369-1 (identisch mit VDE 0848-369-1) beschreibt im Detail Methoden für die Ermittlung der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch EAS- und RFID-Geräten, sowie von Geräten ähnlicher Anwendungen erzeugt werden. Abgesehen von der Tatsache, dass die gegenwärtige deutsche Ausgabe [40], noch zahlreiche sprachliche (Übersetzungs-) Mängel aufweist, stellt diese Norm ein sehr umfassendes Dokument für die strahlenschutztechnische Beurteilung der von RFID- und EAS-Geräten verursachten elektromagnetischen Immissionen dar. In EN 62369-1 werden keine Expositionslimits definiert, sondern lediglich Anforderungen an die eingesetzten Mess-

und Berechnungsmethoden festgelegt. Zusätzlich enthält EN 62369-1 vier informative Anhänge. Diese befassen sich in kurzer Form mit der Funktionsweise und Eigenschaften von EAS- und RFID-Einrichtungen (Anhang A), verfügbaren numerischen Feldberechnungsmethoden (inkl. Körpermodelle und Gewebeeigenschaften, Anhang B), dem praktischen Vorgehen bei der Beurteilung von Expositionen durch mehrere Quellen (Anhang C), sowie der Behandlung der Mess- bzw. Berechnungsunsicherheiten im Hinblick auf die Gesamtbeurteilung einer Expositionssituation (Anhang D).

Die in Anhang C beschriebene Vorgangsweise zur Expositionsbeurteilung im Falle mehrerer einwirkender Feldquellen, legitimiert auch die Überlagerung (Summation) Referenzwert bezogener und Basiswert bezogener Bewertungsgrößen (Verhältnisse von Mess- oder Berechnungsergebnis zu Referenz- oder Basiswert), um ein konservatives Schätzmaß für die Gesamtexposition zu ermitteln.

Für die normkonforme Erfassung und Bewertung der Exposition definiert EN 62369-1 ein mehrstufiges Verfahren, mit zunehmender Komplexität.

#### **4.1.1 Bewertung auf Basis der Referenzwerte**

Dieses einfachste Bewertungsverfahren beruht auf Messungen der ungestörten Feldstärken im Umgebungsbereich der zu bewertenden Geräte. Sofern in einem typischen Abstand rund um das Gerät ein Referenzwert überschritten wird, ist eine Messung der räumlichen Feldverteilung erforderlich. Für diese Messungen sind in EN 62369-1, neben grundsätzlichen Anforderungen an die Messgeräte, räumliche Messpunktraster definiert, die es erlauben die räumliche Immissionsverteilung im Bereich von Kopf oder Rumpf zu erfassen. Die Ausrichtung dieser Messpunktraster und deren Abstand relativ zu den Geräten ist, abhängig von der konkreten Geräte-Anwendung, anhand mehrerer praktisch häufig anzutreffender Situationen definiert. Bezüglich dieser Messpunktraster und deren Ausrichtung relativ zu den Geräten, ist anzumerken, dass sie aus praktischer Sicht nur als Beispiele für typische Expositionssituationen im Bereich von EAS-, RFID- und ähnlichen Geräten gesehen werden können. Vor allem die seit langem von EAS-Systemen und Metalldetektoren bekannten Expositionsszenarien spiegeln sich in den in EN 62369-1 definierten Messpunktrastern wider. Für spezielle Szenarien zufolge neuer Technologien bzw. für Extremsituationen mit geringeren Abständen zu den Geräten sind möglicherweise andere Messpunktraster für eine repräsentative und zuverlässige Expositionsbeurteilung notwendig. Zusätzlich werden auch analytische oder numerische Feldberechnungen als akzeptable Methoden für die Bewertung auf Basis der Referenzwerte definiert, sofern die konkret eingesetzten Methoden validiert werden, deren Unsicherheiten dokumentiert sind und innerhalb brauchbarer Grenzen liegt (je nach Frequenzbereich besser als  $\pm 40\text{-}50\%$  erweiterte Gesamtunsicherheit bei  $CI=95\%$ ).

#### **4.1.2 Bewertung auf Basis von SAR-Messungen**

Lässt sich auf Basis der in Kapitel 4.1.1 erwähnten Methoden die Konformität mit den Referenzwerten nicht zeigen, so kann dies, wenn technisch möglich und sinnvoll auf Basis von SAR-Messungen erfolgen. EN 62369-1 umreißt dazu kurz den Stand der Technik bezüglich SAR-Messtechnik.

#### **4.1.3 Numerische Modellierung und Bewertung anhand der Basiswerte**

Als Alternative zur SAR-Messung bzw. bei Frequenzen, bei denen die Basiswerte nicht mehr durch die SAR festgelegt sind, werden in EN 62369-1 numerische Berechnungsverfahren unterschiedlichster Komplexitätsgrade zur Expositionsbeurteilung angeführt. Sowohl einfache Berechnungsmethoden mit geometrisch einfachen und homogenen Körpermodellen (Kreisscheiben, Würfel, Spheroide, etc.), als selbstverständlich auch aufwändige Feldlöser mit heterogenen anatomischen Körpermodellen sind für die Bewertung zulässig, sofern die konkret eingesetzte Methode validiert wird, deren Unsicherheit dokumentiert ist und innerhalb brauchbarer Grenzen liegt (je nach Frequenzbereich besser als  $\pm 40\text{-}50\%$

erweiterte Gesamtunsicherheit bei CI=95%). Neben geometrischen Details unterschiedlicher einfacher homogener Körpermodelle, enthält EN 62369-1 auch eine Zusammenstellung der dielektrischen Gewebeparameter der wichtigsten Körpergewebe.

#### 4.1.4 Unsicherheiten

Neben den in den voranstehenden Abschnitten 4.1.1 bis 4.1.3 beschriebenen Bewertungsmethoden enthält EN 62369-1 auch ein kurz gefasstes Kapitel bezüglich Unsicherheiten, wobei für Details der Unsicherheitsbestimmung auf die einschlägige Literatur verwiesen wird. Als akzeptable Werte der erweiterten Gesamtunsicherheit (CI=95%) werden die in Tabelle 4.1 angeführten Grenzen angegeben.

Frequenzbereich	Messung	Numerische Modellierung
< 10 kHz	+ 58%, -37% ( $\pm 4$ dB)	$\pm 50\%$
10 kHz – 1 MHz	+ 41%, -30% ( $\pm 3$ dB)	$\pm 50\%$
1 MHz – 30 MHz	+ 41%, -30% ( $\pm 3$ dB)	$\pm 40\%$
30 MHz – 1 GHz	+ 100%, -50% ( $\pm 6$ dB)	$\pm 40\%$
1 GHz bis 30 GHz	+ 100%, -50% ( $\pm 6$ dB)	$\pm 50\%$

Tabelle 4.1: Akzeptable Gesamtunsicherheitswerte gemäß EN 62369-1

Schließlich enthält EN 62369-1 eine Aufstellung von Mindestanforderungen (bezüglich abzudeckender Inhalte) an den Prüf- bzw. Untersuchungsbericht.

## 4.2 Beurteilung aktiver Transponder nach EN 50371 bzw. EN 62497

Die Frage der Übereinstimmung der von Geräten verursachten Exposition mit den Basiswerten nach [38] kann für Geräte sehr kleiner Leistung auf Basis von EN 50371 [42] auf vereinfachte Weise beantwortet werden. Demnach kann von Geräten mit einer mittleren Sendeleistung  $\leq 20$  mW im Frequenzbereich 10 MHz – 300 GHz ohne weitere Überprüfung angenommen werden, dass sie die Basiswerte nach [38] nicht überschreiten.<sup>5</sup> Dies kann auf Basis trivialer Überlegungen nachvollzogen werden: Selbst unter der (unrealistischen) konservativen Annahme, dass die gesamte Sendeleistung des Gerätes konzentriert innerhalb der nach [38] vorgeschriebenen Gewebe-Mittelungsmasse (10g) für die lokale Spezifische Absorptionsrate (SAR) absorbiert wird, kann im Fall von 20 mW Sendeleistung der Basiswert von 2 W/kg nicht überschritten werden. In gleicher Schlussweise kann der Basiswert von 0,08 W/kg für die über den gesamten Körper gemittelte SAR von einem Gerät mit maximaler mittlerer Sendeleistung von 20 mW für realistische Werte der Gesamtkörpermasse nicht überschritten werden.

Aufgrund der angestrebten langen Batterielebensdauern typischer Weise im Bereich von mehreren Jahren, liegt die maximale (Burst-) Sendeleistung von aktiven RFID-Transpondern üblicherweise deutlich unterhalb von 100 mW, so dass sich mit den üblichen geringen Duty Cycles zumeist mittlere Sendeleistungen unterhalb von 1 mW ergeben. Demnach ist zu erwarten, dass für marktübliche aktive RFID-Transponder die Übereinstimmung mit den Basiswerten vorausgesetzt werden kann.

<sup>5</sup> Da die zeitgemittelte SAR bei kurzen energiereichen Impulsen, mit relativ großen Impulswiederholzeiten, nur ein adäquates Maß für die Gewebeerwärmung darstellt, aber keine Aussage hinsichtlich thermoelastischer Expansionseffekte im Gewebe erlaubt, schreibt EN 50371 zusätzlich auch Limits für die spezifische Absorption SA pro Impuls vor. Für gepulste Felder mit Impulsdauer weniger als 30  $\mu$ s und Impulswiederholraten von weniger als 100 Hz gilt gemäß EN 50371 für die maximale mittlere Sendeleistung  $P_{max} = 20 \times f_{imp}$  [mW], unterhalb der implizit die Konformität mit den Basisgrenzwerten angenommen werden kann ( $f_{imp}$  ... Impulswiederholfrequenz in Hertz).

### 4.3 Schutz von Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln

Alle bisher in Kapitel 4 erwähnten Normungsdokumente enthalten keine Verfahren zur Beurteilung des Gefahrenpotenzials für Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln, wie z.B. Herzschrittmacher. Der Normentwurf DIN VDE 0848 Teil 3-1 [44] stellt derzeit eines der umfangreichsten und fundamentiertesten Dokumente für diese Fragestellung dar. Da RFID-Geräte aufgrund ihrer Funktionsweise potenziell Amplituden- bzw. Puls-modulierte elektromagnetische Felder mit niederfrequenten Spektralanteilen in der Signaleinhüllenden emittieren, sind sie grundsätzlich als potenzielle Störer von Herzschrittmachern anzusehen. Eine Beurteilung der im weiteren Projektverlauf zu erhebenden Immissionen von RFID-Geräten nach [44] ist daher sinnvoll.

DIN VDE 0848 Teil 3-1 unterscheidet zunächst drei Kategorien von Herzschrittmachern, nämlich *angemessen störfeste* (Kategorie 0), *eingeschränkt störfeste* (Kategorie 1) und *störempfindliche* (Kategorie 2) Herzschrittmacher. Als *angemessen störfeste* Herzschrittmacher werden solche Implantate eingestuft, bei denen es auch bei Expositionen mit den in der EU-Ratsempfehlung EG/519/1999 [38] angeführten Referenzwerten und Spitzenfeldstärken zu keiner Störbeeinflussung kommen kann, wenn gleichzeitig auch einige weitere Bedingungen hinsichtlich der Spitzenwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke erfüllt sind (Details dazu siehe [44]). Als *eingeschränkt störfeste* Herzschrittmacher werden jene Implantate bezeichnet, bei denen es bei Einhaltung der in [44] im Detail angeführten Bedingungen (Störspannungsschwellwerte bzw. maximal zulässige Spitzenwerte der äußeren elektrischen und magnetischen Feldstärke) zu keiner Störbeeinflussung kommt. Unter *störempfindlichen* Herzschrittmachern werden schließlich alle Herzschrittmacher verstanden, die weder der Kategorie 0 noch der Kategorie 1 zugeordnet werden können und für die eine Bewertung des elektromagnetischen Störungsrisikos daher nur auf Basis einer Einzelfallanalyse durchführbar ist. Gemäß [45] fielen nur ca. 5% der zwischen 1995 und 1999 implantierten Geräte in diese letztgenannte Kategorie der störempfindlichen Herzschrittmacher. Unterstellt man dem Technologiefortschritt bei Herzschrittmachern auch einen Fortschritt bei der Störungsempfindlichkeit der Implantate, so ist dieser Prozentsatz gegenwärtig wahrscheinlich noch geringer.

Für Herzschrittmacher der Kategorie 1 stellt [44] einerseits von der Signalform und der Frequenz abhängige Spitze-Spitze Werte  $U_{ss,schwell}$  der maximal zulässigen Störspannung am Herzschrittmachereingang und andererseits frequenzabhängige Umrechnungsverfahren der äußeren elektrischen und magnetischen Feldstärken auf die maximal am Schrittmachereingang induzierte Spitze-Spitze Spannung  $U_{ss,ind,max}$  bereit. Sinngemäß besteht keine Gefährdung für Herzschrittmacherpatienten mit Geräten der Kategorie 1, solange  $U_{ss,ind,max} \leq U_{ss,schwell}$  gilt.

Für die Beurteilung von Expositionssituationen bei Überlagerung von Feldern mit unterschiedlicher Frequenz sind für jede Einzelfrequenz zunächst die Verhältniszahlen  $V_{ss}(f)$  gemäß

$$V_{ss}(f) = \frac{U_{ss,ind,max}(f)}{U_{ss,schwell}(f)} \quad (4.1)$$

zu bilden und anschließend zu summieren, wobei in [44] unterschiedliche Summierungsvorschriften für den Fall „*identischer Modulation*“ (Gleichung 4.2) und „*nicht identischer Modulation*“ (Gleichung 4.3) definiert sind.

$$S_{ID} = \sqrt{\sum_f V_{ss}^2(f)} \quad (4.2)$$

$$S_{NID} = V_{ss}(f_0) + \sqrt{\sum_{f \neq f_0} V_{eff}^2(f)} \quad (4.3)$$

In der Summiervorschrift für nicht identische Modulation bedeuten  $V_{ss}(f_0)$  die größte aller sich gemäß Gleichung (4.1) ergebenden Verhältniszahlen und  $V_{eff}(f)$  die aus den Effektivwerten der induzierten Störspannungen und den Spitze-Spitze Werten der Störschwellenspannung gewonnenen Verhältniszahlen gemäß (Gleichung 4.4).

$$V_{eff}(f) = \frac{U_{eff}(f)}{U_{ss,schwell}(f)} \quad (4.4)$$

Sinngemäß kann eine Gefährdung ausgeschlossen werden, wenn die Summen  $S_{ID}$  bzw.  $S_{NID}$  kleiner oder gleich eins bleiben.

## 5 IDENTIFIKATION STRAHLENSCHUTZTECHNISCH RELEVANTER EXPOSITIONSSZENARIEN

Gemäß der Leistungsbeschreibung sind für die weitere Vorgehensweise zunächst Vorschläge für die konkret zu untersuchenden Expositionsszenarien zu machen. Die bereits im Zuge der Angebotslegung auf der Grundlage des damaligen Kenntnisstandes gemachten Vorschläge sind auf Basis der Erkenntnisse der Markt- und Technologierecherche (Kapitel 2) überarbeitet und in den folgenden Kapiteln zusammengefasst worden.

### 5.1 Exposition durch Transponder

Mit den Begriffsbestimmungen in Kapitel 2.1 erfolgt das Senden im Uplink sowohl bei passiven als auch bei semi-aktiven Transpondern ausschließlich auf Basis einer Rückwirkung auf das vom Reader erzeugte Feld, d.h. sowohl passive als auch semi-aktive erzeugen aktiv kein elektromagnetisches Feld zum Zwecke der Kommunikation zum Reader. Aus diesem Grund sind sowohl passive als auch semi-aktive Transponder aus strahlenschutztechnischer Sicht im Rahmen dieses Vorhabens als nicht relevant einzustufen. Das körpernahe Tragen eines derartigen Transponders wird auf Basis physikalischer Überlegungen im Normalfall sogar zu einer (minimalen) lokalen Reduzierung der vom Reader-Feld verursachten Exposition führen, was auch durch die Messergebnisse in [13] bestätigt wird.

Aus diesem Grund wird, abweichend von der Leistungsbeschreibung, vorgeschlagen, im Hinblick auf die Exposition durch Transponder im Weiteren ausschließlich aktive Transponder zu betrachten. Aktive RFID-Transponder werden für die UHF-Frequenzbereiche 433 MHz und 868 MHz, sowie für die Mikrowellenfrequenzen 2,45 GHz und 5,8 GHz angeboten, wobei für die Frequenzen 433 MHz und 5,8 GHz vergleichsweise weniger Produkte am Markt erhältlich sind. Grundsätzlich ist weiters zu erwähnen, dass die Einsatzhäufigkeit bzw. Anwendungsvielfalt von Systemen mit aktiven RFID-Tags bei Weitem geringer bzw. kleiner ist, als im Fall von RFID-Systemen mit passiven und/oder semi-aktiven Transpondern. Schließlich muss noch beachtet werden, dass die mittleren Sendeleistungen von aktiven Transpondern typischer Weise unterhalb von 1 mW liegen, womit Konformität zu den ICNIRP-Basiswerten von vornherein gegeben ist. Aus diesen Gründen erscheinen aktive Transponder aus strahlenschutztechnischer Sicht, vor allem im Vergleich zu Expositionsszenarien in der Nähe von Reader-Antennen, die passive oder semi-aktive Transponder lesen bzw. schreiben, relativ unbedeutend. Dennoch wird die Quantifizierung der Exposition anhand typischer Vertreter dieser Geräteklasse für sinnvoll erachtet, um Expositionswerte zum Vergleich mit anderen Funktechnologien zu haben.

Es wird daher vorgeschlagen, zumindest einen repräsentativen Transponder aus jedem der angegebenen Frequenzbereiche zu untersuchen. Für die Frequenzbereiche 433 MHz, 868 MHz und 2,45 GHz liegen auch bereits Zusagen für eine zur Verfügungstellung der Geräte seitens mehrerer Hersteller vor. Im Fall der aktiven Tags für 5,8 GHz wurden die gegenwärtig wenigen weltweiten Hersteller kontaktiert, bisher jedoch noch ohne Rückmeldung.

Um die im Mengengerüst der Leistungsbeschreibung geforderte Mindestanzahl von 8 zu behandelnden Transponderszenarien zu erreichen, können mehrere unterschiedliche Transpondertypen pro Frequenz untersucht werden.

Aufgrund der zu erwartenden sehr geringen Exposition durch aktive Transponder erscheint es aus strahlenschutztechnischer Sicht jedoch sinnvoller, die Anzahl der zu betrachtenden Transponderszenarien zu verringern und die Anzahl der zu betrachtenden Ganzkörperexpositionsszenarien aufwandsneutral zu erhöhen (siehe Kapitel 5.3).

An der in der Leistungsbeschreibung vorgeschlagenen Betrachtung von jeweils unterschiedlichen Trageweisen (z.B. Brusttasche und Hosentasche) für jeden der ausgewählten aktiven Transpondertypen kann im Hinblick auf die Praxisnähe der Betrachtungen festgehalten werden.

Nr.	Untersuchte Transpondertypen (Frequenzen)	
	Alternative A (Festhalten an 8 Transponderszenarien)	Alternative B (Reduzierung der Transponderszenarien zugunsten einer Erhöhung der Anzahl der Ganzkörperszenarien)
1	433 MHz Transponder Typ 1	433 MHz Transponder
2	433 MHz Transponder Typ 2	868 MHz Transponder
3	868 MHz Transponder Typ 1	2,45 GHz Transponder
4	868 MHz Transponder Typ 2	5,8 GHz Transponder *
5	2,45 GHz Transponder Typ 1	-
6	2,45 GHz Transponder Typ 2	-
7	5,8 GHz Transponder Typ 1*	-
8	5,8 GHz Transponder Typ 2*	-

\* Sollten 5,8 GHz Transponder nicht zugänglich gemacht werden können, so können entweder zusätzliche Transpondertypen der anderen Frequenzen oder zusätzliche Ganzkörperszenarien in aufwandsneutraler Form betrachtet werden.

Tabelle 5.1: Vorschlag für die zu untersuchenden Expositionsszenarien mit Transpondern

Im Falle der Alternative B (Reduzierung auf 4 Transponderszenarien) könnten beispielsweise zusätzlich 4 Ganzkörperexpositionsszenarien messtechnisch und 2 Ganzkörperszenarien numerisch untersucht werden, d.h. insgesamt 14 Szenarien messtechnisch, davon 8 numerisch, anstelle von ursprünglich laut Leistungsbeschreibung geplanten 10 messtechnisch und davon 6 numerisch untersuchten Szenarien (vgl. dazu auch Ausführungen in Kapitel 5.3).

Grundsätzlich sind alle oben beschriebenen Varianten als Vorschläge zu verstehen. Hinsichtlich eine einvernehmlichen und aufwandsneutralen Verschiebung besteht unsererseits größtmögliche Flexibilität.

## 5.2 Lokale Exposition durch Reader

Hinsichtlich lokaler Expositionen durch RFID-Reader können die bereits in der Leistungsbeschreibung angeführten Expositionsszenarien auch nach Abschluss der Technologie und Marktrecherche nach wie vor als relevant angesehen werden. Aufgrund der technischen Spezifikationen der Schreib/Lesegeräte sind nahe zu den Antennen lokal sehr hohe Feldstärken zu erwarten, von denen in vielen Fällen angenommen werden muss, dass sie oberhalb der ICNIRP-Referenzwerte liegen. Eine Abklärung der Verhältnisse hinsichtlich der Basiswerte ist daher aus strahlenschutztechnischer Sicht erforderlich. Insgesamt sollen gemäß Leistungsbeschreibung 10 Szenarien messtechnisch und davon mindestens 6 Szenarien auf Basis numerischer Berechnungen untersucht werden. Die in Tabelle 5.2 zusammengestellten insgesamt 13 Vorschläge für die zu untersuchenden Szenarien sind von der ersten bis zur letzten Zeile fallend nach Priorität gereiht. Sollte eines der Szenarien mangels Verfügbarkeit repräsentativer Schreib/Lesegeräte nicht untersuchbar sein, rücken automatisch die nachfolgenden Szenarien auf. Nach den bisher erfolgten Kontaktaufnahmen zu RFID-Herstellern ist damit aus gegenwärtiger Sicht die Untersuchung der vorgesehenen 10 Szenarien sichergestellt.

Nr.	Szenario	Frequenz
1	Exposition der Hände während Deaktivierung von RF-EAS-Tags (typisch für KassierIn)	8,2 MHz
2	Exposition der Hände während Deaktivierung von AM-EAS-Tags (typisch für KassierIn)	58 kHz
3	Exposition des Unterarms nahe der Reader-Antenne eines LF-Zutrittskontrollsystems mit Vicinity Coupling (z.B. Zutritt zu Skilift mit Ticket im Hand/Armbereich)	125-135 kHz
4	Exposition des Unterarms nahe der Reader-Antenne eines HF-Zutrittskontrollsystems mit Vicinity Coupling (z.B. Zutritt zu Skilift mit Ticket im Hand/Armbereich)	13,56 MHz
5	Exposition der Hand nahe stationärem HF-Proximity Reader (z.B. typisch für alle Arten von Zutrittskontrollsystemen mit Proximity Reader)	13,56 MHz
6	Exposition der Hand bei Verwendung eines handgehaltenen HF-Proximity Readers (z.B. typisch in der Lagerverwaltung für manuelles Einlesen/Schreiben von Daten)	13,56 MHz
7	Exposition der Hand während NFC-Datentransfer	13,56 MHz
8	Exposition der Hand bei Verwendung eines handgehaltenen UHF-Proximity Readers (z.B. typisch in der Lagerverwaltung für manuelles Einlesen/Schreiben von Daten)	868 MHz
9	Lokale Exposition bei starker Annäherung an stationäre UHF-Reader	868 MHz
10	Lokale Exposition bei starker Annäherung an stationäre Mikrowellen-Lesegeräte	2,45 GHz
11	Exposition der Hand bei Verwendung eines handgehaltenen LF-Proximity Readers (z.B. Tierarztpraxis zur Tieridentifikation)	125-135 kHz
12	Exposition der Hand nahe stationärem LF-Proximity Reader	125-135 kHz
13	Exposition der Füße durch Reader zur Zeitnehmung bei Sportveranstaltungen	125-135 kHz

Tabelle 5.2: Vorschlag für die messtechnisch zu untersuchenden Szenarien mit lokaler Exposition durch RFID-Reader

### 5.3 Ganzkörperexposition durch Reader

Szenarien mit Exposition des gesamten Körpers bzw. großer Körperpartien in den Feldern von RFID-Schreib/Lesegeräten sind aus strahlenschutztechnischer Sicht als die am meisten relevanten Situationen anzusehen. Nicht zuletzt deshalb, weil vor allem bei induktiv gekoppelten Vicinity-Readern zur Erzielung der erforderlichen Reichweite großflächige Antennen eingesetzt werden müssen, die es grundsätzlich möglich machen, dass sich der gesamte Körper (d.h. auch Kopf- und Rumpf) in Bereichen hoher Feldstärken befinden. Zusätzlich sind solche Situationen, vor allem durch die starke Verbreitung von EAS Systemen für die Allgemeinbevölkerung zur Alltäglichkeit geworden und nicht nur auf Arbeitsplatzsituationen beschränkt. Speziell die im niederfrequenten Bereich arbeitenden Systeme (LF-RFID Systeme und alle gängigen EAS-Systeme) sind hier von besonderer Bedeutung, da die Grenzwertgebung in den Arbeitsfrequenzbereichen dieser Geräte keine Zeitmittelwertbildung der Immissionsgröße vor dem Vergleich mit den Basiswerten vorsieht und somit auch bei nur kurzen Befeldungsdauern hohe Belastungen in Relation zum Basiswert bzw. Referenzwert denkbar sind<sup>6</sup>. Insgesamt sollen gemäß Leistungsbeschreibung 10 Szenarien messtechnisch und davon mindestens 6 Szenarien auf Basis numerischer Berechnungen untersucht werden. Tabelle 5.3 fasst den Vorschlag für die messtechnisch zu untersuchenden Szenarien zusammen, unter der Voraussetzung, dass an den in der Leistungsbeschreibung definierten 10 messtechnisch zu untersuchenden Szenarien festgehalten wird. Auf Grund der großen Produktvielfalt am Markt sollen dabei jeweils 2 unterschiedliche Produkte von RF-EAS und AM-EAS Systemen betrachtet werden.

<sup>6</sup>Überdies sind die ICNIRP Basiswerte (Stromdichte im Gewebe) für den Frequenzbereich unterhalb von 100 kHz nur für das Zentralnervensystem definiert. In strenger Diktion sind damit ohnehin nur Situationen mit Exposition von Kopf und/oder Rumpf strahlenschutztechnisch relevant.

Nr.	Szenario	Frequenz
1	Exposition in RF-EAS-System, Typ 1	8,2 MHz
2	Exposition in RF-EAS-System, Typ 2	8,2 MHz
3	Exposition in AM-EAS-System, Typ 1	58 kHz
4	Exposition in AM-EAS-System, Typ 2	58 kHz
5	Exposition in EM-EAS-System	16Hz - 10 kHz
6	Exposition nahe der Reader-Antenne eines LF-Zutrittkontrollsystems mit Vicinity Coupling (z.B. Zutritt zu Skilift mit Ticket in Brusttasche)	125-135 kHz
7	Exposition nahe der Reader-Antenne eines HF-Zutrittkontrollsystems mit Vicinity Coupling (z.B. Zutritt zu Skilift mit Ticket in Brusttasche)	13,56 MHz
8	Exposition im Feldbereich des Readers eines LF-Systems zur Tieridentifikation (z.B. typisch in der Landwirtschaft in teilautomatisierten Melkständen)	125-135 kHz
9	Exposition durch stationäre UHF-Reader (z.B. Arbeitsplatz im Strahlungsbereich einer UHF-Reader-Antenne)	868 MHz
10	Exposition durch stationäre MW-Reader (z.B. Arbeitsplatz im Strahlungsbereich einer MW-Reader-Antenne)	2,45 GHz

Tabelle 5.3: Vorschlag für die messtechnisch zu untersuchenden Szenarien mit Ganzkörperexposition durch RFID-Reader, bei Beibehaltung der vorgesehenen Anzahl von 10 messtechnisch und davon 6 numerisch zu untersuchenden Szenarien

Sollte die Variante mit einer Reduzierung der Transponderszenarien bevorzugt werden (Alternative B, vgl. Tabelle 5.1 in Kapitel 5.1), so wird die messtechnische Untersuchung der in Tabelle 5.4 zusammengefassten, insgesamt 14 Szenarien vorgeschlagen. Weiters wird im Zuge dieser Variante (zum Ausgleich des reduzierten Aufwands bei den Transponderszenarien) die Anzahl der numerisch zu untersuchenden Szenarien von mindestens 6 auf mindestens 8 erhöht.

Nr.	Szenario	Frequenz
1	Exposition in RF-EAS-System, Typ 1	8,2 MHz
2	Exposition in RF-EAS-System, Typ 2	8,2 MHz
3	Exposition in RF-EAS-System, Typ 3	8,2 MHz
4	Exposition in RF-EAS-System, Typ 4	8,2 MHz
5	Exposition in AM-EAS-System, Typ 1	58 kHz
6	Exposition in AM-EAS-System, Typ 2	58 kHz
7	Exposition in AM-EAS-System, Typ 3	58 kHz
8	Exposition in EM-EAS-System, Typ 1	16Hz - 10 kHz
9	Exposition in EM-EAS-System, Typ 2	16Hz - 10 kHz
10	Exposition nahe der Reader-Antenne eines LF-Zutrittkontrollsystems mit Vicinity Coupling (z.B. Zutritt zu Skilift mit Ticket in Brusttasche)	125-135 kHz
11	Exposition nahe der Reader-Antenne eines HF-Zutrittkontrollsystems mit Vicinity Coupling (z.B. Zutritt zu Skilift mit Ticket in Brusttasche)	13,56 MHz
12	Exposition im Feldbereich des Readers eines LF-Systems zur Tieridentifikation (z.B. typisch in der Landwirtschaft in teilautomatisierten Melkständen)	125-135 kHz
13	Exposition durch stationäre UHF-Reader (z.B. Arbeitsplatz im Strahlungsbereich einer UHF-Reader-Antenne)	868 MHz
14	Exposition durch stationäre MW-Reader (z.B. Arbeitsplatz im Strahlungsbereich einer MW-Reader-Antenne)	2,45 GHz

Tabelle 5.4: Vorschlag für die messtechnisch zu untersuchenden Szenarien mit Ganzkörperexposition durch RFID-Reader, bei Erhöhung der Anzahl der zu untersuchenden Szenarien aufgrund einer Reduktion der Transponderszenarien (vgl. Kapitel 5.1)

## **6 WEITERES VORGEHEN IM PROJEKT**

Nach einvernehmlicher und endgültiger Abstimmung der konkret zu untersuchenden Expositionsszenarien mit dem Auftraggeber, wird unverzüglich mit der Untersuchung der Transponderszenarien begonnen. Konkrete Zusagen von Herstellern betreffend die zur Verfügungstellung entsprechender Geräte für 433 MHz, 868 MHz und 2,45 GHz liegen bereits vor, sodass diesbezüglich aus gegenwärtiger Sicht keine Verzögerungen zu erwarten sind. Parallel dazu erfolgt die Konkretisierung des Ablaufs der messtechnischen Untersuchungen an Readern in Zusammenarbeit mit den Herstellern.

## 7 LITERATUR

- [1] Finkenzeller K. 2008. RFID Handbuch. 5. Auflage. Carl Hanser Verlag, München. ISBN 978-3-446-41200-2
- [2] Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm. Dosimetrie-Projekte: <http://www.emf-forschungsprogramm.de/>
- [3] European Radiocommunications Committee (ERC). 2009. ERC Recommendation: Relating to the use of short range devices (SRD). Recommendation adopted by the Frequency Management, Regulatory Affairs and Spectrum Engineering Working Group. Vers. of 2 June 2009. <http://www.ero-docdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/REC7003E.PDF>
- [4] Bundesnetzagentur. 2005. Vfg 1/2005, zuletzt geändert durch Vfg 39/2005: Allgemeinzuteilung von Frequenzen im Frequenzbereich 9 – 30 000 kHz für die Nutzung durch die Allgemeinheit für induktive Funkanwendungen <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/1986.pdf>
- [5] Bundesnetzagentur. 2009. Vfg 7/2009: Allgemeinzuteilung von Frequenzen in den Frequenzbereichen 865– 868 MHz und 2446- 2454 MHz für Funkanwendungen für Identifizierungszwecke; (Radio Frequency Identification Applications, RFID) <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/16051.pdf>
- [6] Bundesnetzagentur. 2009. Vfg 30/2006 geändert mit Vfg 39/2009: Allgemeinzuteilung von Frequenzen für nichtöffentliche Funkanwendungen geringer Reichweite; Non-specific Short Range Devices (SRD) <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/6709.pdf>
- [7] ICNIRP. 1998. Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics, Vol. 74:494-522
- [8] SmartEvent 2009, September 22-25, Sophia-Antipolis, Frankreich. <http://www.strategiestm.com/conferences/smart-event/09/smart-mobility/index.htm>
- [9] Neubauer G, Molla-Djafari H, Pühringer KD, Garn H, Winker N, Preiß H, Schmid G. 1998. Messung und sicherheitstechnische Beurteilung der elektromagnetischen Felder im Bereich von Diebstahlssicherungsanlagen. AUVA (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt) Report Nr. 23
- [10] Floderus B, Stenlund C, Carlgren F. 2002. Occupational exposures to high frequency electromagnetic fields in the intermediate range (>300 Hz – 10 MHz). Bioelectromagnetics Vol. 23, pp. 568-577
- [11] Cooper TG. 2002. Occupational exposure to electric and magnetic fields in the context of the ICNIRP guidelines. National Radiological Protection Board (NRPB) Report. ISBN 0 85951 495 1. [http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb\\_C/1194947343083](http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1194947343083)
- [12] Hamnerius Y. 2009. Measurements of human exposure from emerging wireless technologies. Environmentalist, Vol. 29, pp. 118-123
- [13] AFSSET Agence Francaise de Securite Sanitaire de l'Environnement et du Travail. 2009. Les systemes d'identification par radiofrequences (RFID). Evaluation des impacts sanitaires [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/726108694775617668756800952202/RFID\\_Afsset\\_janvier\\_2009.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/726108694775617668756800952202/RFID_Afsset_janvier_2009.pdf)
- [14] Gandhi OP, Kang G. 2001. Calculation of induced current densities for humans by magnetic fields from electronic article surveillance devices. Physics in Medicine and Biology, Vol 46, pp. 2759-2771

- [15] Kang G, Gandhi OP. 2003. Comparison of various safety guidelines for electronic article surveillance devices with pulsed magnetic fields. *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, Vol 50, pp. 107-112
- [16] Li Q, Gandhi OP. 2005. Calculation of magnetic field-induced current densities for humans from EAS countertop activation/deactivation devices that use ferromagnetic cores. *Physics in Medicine and Biology*, Vol 50, pp. 373-385
- [17] Cecil S, Schmid G. 2007. Computational estimation of personal exposure against electromagnetic fields emitted by typical RFID applications at 125 kHz and 13,56 MHz.
- [18] Cecil S, Schmid G. 2008. Increase of local current densities in the surrounding of metallic implants during exposure to magnetic fields in the 50 Hz to 125 kHz range, 30th BEMS meeting, June 8.-12., 2008, San Diego, USA, Abstract Book pp. 257-259.
- [19] IMST. 2008. Numerical dosimetric assessment of two EAS-Systems against the ICNIRP guidelines. Report SSI\_6200\_6621\_007\_008 to the Swedish radiation safety authority <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Nyheter/Berakningar-larmbagar-aug08.pdf>
- [20] Beaugard D, Kacet S, Bricout M, Camblin J. 1992. Interferences entre les stimulateurs cardiaques et les detecteurs de vol dans les magasins. *Arch. Mal. Coeur.*, Vol 85, pp.1457-1461
- [21] Dodinot B, Godenir J, Costa A, Zeller C. 1993. Electronic Article Surveillance: A possible Danger for Pacemaker Patients. *Pace*, Vol. 16, Part I, pp. 46 - 53
- [22] McIvor M. 1995. Environmental Electromagnetic Interference from Electronic Article Surveillance with an ICD. *Pace*, Vol. 18, pp.2229-2230
- [23] Mathew P, Lewis C, Neglia J, Krol R, 1997. Interaction between Electronic Article Surveillance System and Implantable Defibrillators: Insights from a fourth generation ICD. *Pace*, Vol. 20, pp.2857-2859
- [24] McIvor M, Reddinger J, Floden E, Sheppard RC, Johnson D, Becker GI, Mayotte M. 1998. Study of Pacemaker and Implantable Cardioverter Defibrillator Triggering by Electronic Article Surveillance Devices (SPICED TEAS). *Pace*, Vol. 21, pp.1847-1861
- [25] Frank R. 2000. Behavior of 20 pacemakers as patients pass through 2 models of theft-detection door. *French Ann Cardiol Angeiol (Paris)*, Vol. 49, pp. 187-197
- [26] Mugica J, Henry L, Podeur H. 2000. Study of interactions between permanent pacemakers and electronic antitheft surveillance systems. *Pacing Clin Electrophysiol. (United States)*, Vol. 23, pp.333-337
- [27] De Cock CC, Spruijt HJ, Van Campen LMC, Plu AW, Visser CA. 2000. Electromagnetic interference of an implantable loop recorder by commonly encountered electronic devices, *Pace*, Vo. 23, pp. 1516-1518
- [28] Takeda M, Banno Y, Hirata H, Okita Y, Kinura M, Sugiura T. 2004. Electromagnetic Field Simulation around Implantable Cardiac Pacemakers Caused by EAS Systems. *Asia-Pacific Radio Science Conference Proceedings 2004*, pp. 444-446
- [29] Irrnich W. 2002. Electronic security systems and active implantable medical devices. *PACE*, vol. 25, pp. 1235
- [30] Gimbel RJ, Cox JW. 2007. Electronic Article Surveillance Systems and Interactions With Implantable Cardiac Devices: Risk of Adverse Interactions in Public and Commercial Spaces. *Mayo Clin Proc*, vol. 82, pp. 318-322.
- [31] Futatsumori S, Kono T, Hikage T, Nojima T, Koike B. 2006. Experimental test system to assess the EMI from RFID reader / writer on implantable cardiac pacemaker. *Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS) 2006 Proceedings, Tokyo*

- [32] Futatsumori S, Hikage T, Nojima T, Koike B, Fujimoto H, Toyoshima T. 2007. A Novel Assessment Methodology for the EMI Occurrence in Implantable Medical Devices Based Upon Magnetic Flux Distribution of RFID Reader/writers. Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC 2007)
- [33] Japanese Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC). 2007. Study report on the effect of radio waves on medical devices. March 2007
- [34] Seidman SJ, Brockman R, Lewis BM, Guang J, Shein MJ, Clement WJ, Klppola J, Digby D, Barber C, Huntwork D. 2009. In Vitro Tests Reveal Sample Radio Frequency Identification Readers Inducing Clinically Significant Electromagnetic Interference to Implantable Pacemakers and Implantable Cardioverter Defibrillators. HeartRhythm, published online 12 October 2009
- [35] Eisenberg E, Waisbrod H. 1997. Spinal cord stimulator activation by an antitheft device. Pain, Vol. 87, pp.961-962
- [36] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 1999. Richtlinie 1999/5/EG über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen und die gegenseitige Anerkennung Ihrer Konformität.
- [37] CENELEC 2001. EN 50364 Limitation of human exposure to electromagnetic fields from devices operating in the frequency range 0 Hz to 10 GHz, used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications.
- [38] Rat der Europäischen Kommission. 1999. Empfehlung 1999/519/EG zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz)
- [39] CENELEC 2001. EN 50357 Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from devices used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications.
- [40] CENELEC 2009. EN 62369-1 Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from short range devices (SRDs) in various applications over the frequency range 0 GHz to 300 GHz. Fields produced by devices used for electronic article surveillance, radio frequency identification and similar systems
- [41] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2004. Richtlinie 2004/40/EG über Mindestvorschriften zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder).
- [42] CENELEC 2002. EN 50371 Generic Standard to demonstrate the compliance of low power electronic and electrical apparatus with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (10 MHz – 300 GHz) – General Public
- [43] DKE 2009. DIN EN 62497 Beurteilung der Übereinstimmung von elektronischen und elektrischen Geräten kleiner Leistung mit den Basisgrenzwerten für die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern (10 Hz -300 GHz)
- [44] DIN-VDE 0848 Teil 3-1, Mai 2002. Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, Teil 3-1: Schutz von Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz.
- [45] Goltz S, Eggert S, Gustrau F, Bahr A. 2003. Störbeeinflussung von Herzschrittmachern - Stand der Normung und der numerischen Simulationsverfahren, EMC Kompendium 2003, pp. 51-53