

# Sensorik und Identifikation mit aktiven RFID-Tags

Walter Lang, Reiner Jedermann, Mirco Meiners, Wolfgang Benecke

IMSAS: Institut für Mikrosensoren, -aktuatoren und -systeme  
Universität Bremen  
[wlang@imsas.uni-bremen.de](mailto:wlang@imsas.uni-bremen.de)

Radio Frequency Identification Devices (RFIDs) werden heute in Millionen zur Abrechnung und Überwachung eingesetzt. Neben der reinen Anwesenheitskontrolle, der Weitergabe einer Identifikationsnummer und der Speicherung von Daten können RFIDs auch sensorische Aufgaben übernehmen. Temperaturdatenlogger, die Transportgüter überwachen, werden bereits auf Basis der RFID Technologie hergestellt. Werden die Systeme mit weiteren Sensoren und mehr Intelligenz ausgestattet, so entstehen autonome Mikrosysteme für eine Vielzahl von Überwachungs- und Steuerungsaufgaben. Wie bei allen autonomen Mikrosystemen stellt sich hier die Frage nach der Energieversorgung. Im folgenden werden die Möglichkeiten intelligenter RFIDs von der Frage des Energieverbrauches her analysiert.

## 1 Heutige RFID Technologie

Einfache passive RFID Tags bestehen aus einer RFID Elektronik und einer Antenne. Die Elektronik ist in einen dünnen Siliziumchip integriert. Die einfachste Anwendung ist die Diebstahlsicherung. Hier wird nur ein Bit Information übertragen: anwesend oder nicht anwesend. Die Elektronik beschränkt sich auf einen passiven Schwingkreis, der dem Sender des RFID Readers Energie entzieht. Um den Tag zu sehen, wird der Sender um die Resonanzfrequenz herum gewobbelt. Bei Anwesenheit eines Tags sieht man einen Dip in der Impedanz der Senderspule bei der Resonanzfrequenz.

Wenn der Tag aktiv Information sendet, zum Beispiel eine Identifikationsnummer, so enthält es eine Elektronik, die aus dem Feld des Readers mit Energie versorgt wird. Diese Elektronik kann die Antenne über einen Transistor kurzschließen und moduliert so die Impedanz. Dies erkennt der Reader und liest daraus die Information.

In komplexeren Systemen arbeitet das RFID als eigenständiger Sender. Das Sendesignal des RFID ist zu schwach, um mit dem starken Signal des

Readers zu konkurrieren. Daher sendet das RFID auf einer anderen Frequenz, zum Beispiel auf der doppelten Frequenz. Eine weitere Möglichkeit ist es, zeitversetzt zu arbeiten. Bei diesen sequentiellen Verfahren folgt auf eine Phase der Energieübertragung eine Phase der Datenübertragung. Diese Systeme sind sehr leistungsfähig, aber auch aufwendig, da die elektrische Energie in einem Kondensator gespeichert werden muß.

## 2 Überlegungen zur Energieversorgung

Um die Leistungen, die übertragen werden, abzuschätzen, sei in **Bild 1** ein einfaches Übertragungssystem betrachtet.

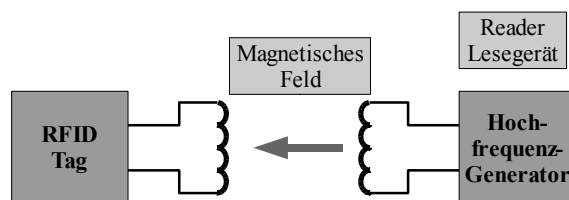


Bild 1: Energieübertragung auf RFID-Tag

Randbedingung ist einerseits die Ausgangsleistung des Generators. Diese wird in Europa durch Vorschriften auf 500mW begrenzt (EN300440, EN 300 220-1; in USA sind größere Sendeleistungen zulässig). Auf der anderen Seite steht der RFID Chip. Ein low power Chip benötigt eine elektrische Leistung von  $10 \mu\text{W}$  [Atm04]. Der Chip wird von der Antenne versorgt, dazwischen liegt noch ein Gleichrichter, dessen Wirkungsgrad 20% beträgt. Das bedeutet, dass die Antenne  $50 \mu\text{W}$  aufnehmen muß, das ist der 10.000 Teil der Sendeleistung. Die Freiraumdämpfung darf also maximal 40 db betragen. Mit Literaturwerten für die Freiraumdämpfung [Fin02] ergibt sich eine Reichweite von 3 m bei 900 MHz und von 1m bei 2,5 GHz. Im 2,5 GHz-Bereich ist die Dämpfung deutlich höher als bei niedrigeren Frequenzen und damit die Reichweite geringer. In der Praxis wird man mit der angegebenen Konfiguration allerdings geringere Reichweiten erreichen als in dieser idealen Betrachtung. Weiterhin muß man bedenken, dass diese  $10\mu\text{W}$  dafür ausreichen, dass der RFID-Chip arbeitet. Das bedeutet, er wird seine Kennnummer kommunizieren, indem er seine Antenne mit der entsprechenden zeitlichen Codierung kurzschließt. Der RFID-Reader hat nun die Aufgabe, diese Änderung der Dämpfung zu erkennen. Auch hier ist das Energieverhältnis 1:10.000. Der Reader sendet mit 500mW, die Modulation beträgt  $50\mu\text{W}$ . Es kann durchaus vorkommen, dass der RFID-Chip aktiv ist, dass aber der Reader in seiner Funktion als Empfänger die Modulation nicht aus dem Rauschen herausfiltern kann. Eine Lastmodulation von  $1\mu\text{W}$

ist unter Laborbedingungen aus einem Abstand von 9 m zu detektieren [Fis02]. Daher wird die Länge der Übertragungsstrecke im wesentlichen durch die Energieversorgung des RFID limitiert werden.

Um den Verlauf der Freiraumdämpfung genauer zu betrachten, ist in **Bild 2** die empfangene Feldstärke  $H$  gegen den Abstand  $D$  qualitativ aufgetragen. Es lassen sich deutlich zwei Bereiche unterscheiden: Im Nahfeld ist die Kopplung sehr stark. In diesem Bereich sind die Sender- und die Empfängerspule magnetisch gekoppelt und wirken wie ein offener Transformator. Die Feldstärke ist jedoch in hohem Maße entfernungsabhängig. Der Abfall der Feldstärke lässt sich mit  $1/D^3$  annähern. Man muss bedenken, dass die übertragene Energie dem Quadrat der Feldstärke proportional ist und also noch wesentlich stärker abfällt. Es ergibt sich damit ein Abfall von 60db/Dekade.

Im Fernfeld wird die Energie durch elektromagnetische Wellen übertragen. Die Feldstärke nimmt daher mit  $1/D$  bzw. mit 20 db/Dekade ab. Im Übergangsbereich fällt die starke Kopplung des Transformators auf die schwache Kopplung der elektromagnetischen Wellen ab.

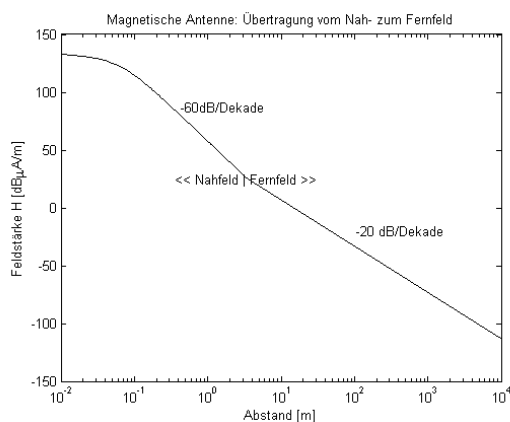


Bild 2: Verlauf der Feldstärke

Angewandt auf das obige Beispiel ergibt sich, dass die übertragene Leistung deutlich gesteigert werden kann, wenn sich der Abstand verringert. Bei 900 MHz und 30 cm können wir bereits einige Milliwatt übertragene Leistung erwarten. Im Zentimeterbereich, in dem die Chipkarten arbeiten, sind einige Zehn Milliwatt möglich.

### 3 Leistungsbedarf und Realisierungsmöglichkeiten

Die nächste Frage ist: wieviel Leistung braucht ein RFID? Einfache Tags, die ihre Identitätsnummer senden können, kommen mit 10 µW aus. Chips mit

noch geringerem Leistungsbedarf funktionieren bereits im Labor [Fri01]. Wenn die Tags mit mehr Elektronik ausgestattet werden, so steigt der Verbrauch entsprechend an. In der **Tabelle 1** sind einige Beispiele für Elektronikbausteine und Sensoren gegeben.

Funktion	Verbrauch	Typ	Quelle
RFID-Chip Low Power	10 µW	T5557	<a href="http://www.atmel.com">www.atmel.com</a>
RFID-Chip 256x4 bit RAM	300µA, 2V	U9280M-H	<a href="http://www.atmel.com">www.atmel.com</a>
Operationsverstärker	17µA, 1,4-16V	TI, TLC25L4	<a href="http://www.focus.ti.com">www.focus.ti.com</a>
Sensorelektronik mit ADC, aktiv	250µA, 3,3V	TI, MSP430	<a href="http://www.focus.ti.com">www.focus.ti.com</a>
Sensorelektronik, Standby	<1µA	TI, MSP430	<a href="http://www.focus.ti.com">www.focus.ti.com</a>
Beschleunigungssensor	200µA, 2,7V	AD, ADXL311	<a href="http://www.analog.com">www.analog.com</a>
Temperatursensor digital	35µA, 2,7V	TMP121	<a href="http://www.focus.ti.com">www.focus.ti.com</a>

Tabelle 1: Energieverbrauch elektronischer Bausteine

Aus diesen Überlegungen ergeben sich folgende Konsequenzen:

Bei wenigen cm Abstand ist es möglich, Sensoren und eine komplexe Elektronik aus dem Feld zu speisen.

Auch Zahlkarten arbeiten heute meist im Bereich von einigen cm. Technisch ist es jedoch möglich, hier in den Bereich von 1-3 m vorzustoßen.

Bei einigen Metern Abstand ist Datenübertragung möglich, nicht mehr aber der Betrieb von Sensoren aus der Feldenergie.

Bei Sensor-RFIDs wird daher eine Stützbatterie eingesetzt. Der Betrieb des Sensors und des Datenloggers wird durch eine Batterie sichergestellt. Damit kann das System ohne jeden Kontakt zu einem Reader Daten aufnehmen und speichern. Bei der Auslesung der Daten dagegen wird die Elektronik aus dem Feld des Lesegerätes gespeist.

Eine wesentlich Rolle spielt die Frequenz, auf der das System arbeitet. Folgende Frequenzen haben sich etabliert:

Low Frequency unter 135 kHz. In diesem Bereich wurden im Jahr 2004 ca 350 Mio. Systeme verkauft. Die Reichweite liegt im Bereich von einem bis zu einigen Metern. Diese Frequenz ist der Standard bei der Identifikation von Tieren und Transportgütern. Allerdings ist die übertragbare Datenrate durch die niedere Frequenz begrenzt. Daher ist es auch nicht möglich, mit diesem System hohe Sicherheitsstandards zu bieten. Ein weiterer Nachteil sind die großen Antennen.

High Frequency bei 13.56 MHz erlaubt höhere Datenraten und damit auch bessere Verschlüsselung und ist daher für elektronische Tickets und Zahlkarten geeignet. In 2004 wurden 850 Mio. Systeme verkauft.

Systeme im UHF-Bereich (868 MHz in Europa, 915 MHz in USA und im Mikrowellenbereich (2,5 GHz und 5,8 GHz) werden mit derzeit 110 Mio. Stück im Jahr im wesentlichen für Spezialanwendungen eingesetzt. In Zukunft wird der 868 MHz-Bereich auch bei der Identifikation eine zunehmende Rolle spielen. Im Rahmen des Europäischen Projektes Palomar [Fis02] wurde ein System realisiert, das auf 868 MHz und 915 MHz arbeitet. Eine Reichweite von 4 m wird sicher erreicht, größere Reichweiten bis 9 m wurden im Labor bereits gemessen.

#### 4 Beispiele für die Kombination von Sensorik und RFID Technologie

Mit einer Stützbatterie arbeitet ein Temperaturdatenlogger der Firma KSW Mikrotec [RFI04]. Das System ist auf einer flexiblen Folie aufgebaut, die z.B. auf einen Karton aufgeklebt werden kann. Sensor, Batterie, RFID-Chip und Antenne sind auf der Folie mit der Größe einer Chipkarte integriert, die Frequenz ist 13,56 MHz. Das System registriert die Temperatur während des Transportes oder der Lagerung. Mit einem Lesegerät wird die Transportgeschichte berührungslos ausgelesen. So kann eine Verletzung der Spezifikation beim Transport schon erkannt werden, bevor das Gut ausgepackt ist. Heute kostet ein System noch 25\$, jedoch wird ein Preis von 2,5\$ bei größeren Stückzahlen erwartet und 1\$ erscheint machbar.

Ein Problem, an dem derzeit weltweit eine Reihe von Gruppen arbeiten, ist die Überwachung von Containern. Intelligente RFIDs sollen die kritischen Parameter beim Transport überwachen. Dazu ist es nicht immer nötig, dass das RFID mit Sensoren ausgestattet ist, es kann auch Sensorsysteme, die im Container oder an den Transportgütern bereits vorhanden sind, drahtlos abfragen. Ein System, das Luftdruck, Feuchte und Temperatur mißt und weitergibt wird am Georgia Institute of Technology entwickelt [RFI04-2].

Als Zukunftsvision läßt sich ein System denken, das selbststeuernd einen Transportprozeß kontrolliert: Aus den Tags der einzelnen Güter erfährt das System, was der Container geladen hat und erfährt zum Beispiel, dass die Säcke im Container Kaffee enthalten. Über Datenbanken oder aus dem Internet holt es sich die Information, daß beim Transport von Kaffee die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit zu überwachen sind. Nun fragt es ab, welche Sensoren vorhanden sind und stellt aus diesen ein Ad-Hoc

Netzwerk zusammen, das für die Aufgabe „Überwache Kaffee“ geeignet ist. Das System kann nicht nur messen und speichern, es kann auch in kritischen Situationen Maßnahmen ergreifen und z.B. melden: „montiert mir einen Luftbefeuchter an“. Und es kann in den Transport eingreifen und den Weg des Containers lenken. Vorarbeiten zu dieser Art Systeme werden zur Zeit im Sonderforschungsbereich „Selbststeuernde System in der Logistik“ an der Universität Bremen durchgeführt [SFB04].

#### 5 Literatur

- EN 300440: Radio Equipment and Systems: Short Range Devices, technical characteristics and test methods for radio equipment to be used in the 1 GHz to 25 GHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW.
- Fri01 U. Friedrich, A. Annala: Palomar – a European answer for passive UHF RFID applications. RFID Innovations 2001 conference
- Fin02 Klaus Finkenzeller: RFID Handbuch, Hanser 2002
- Fis02 M. Fislage, U. Friedrich: Palomar: RFID bis 4 Meter. elektronik industrie 01-2002
- RFI04 RFID Journal, 2004: [www.rfidjournal.com/article/articleprint/448/-/1/1](http://www.rfidjournal.com/article/articleprint/448/-/1/1)
- RFI04-2 RFID Journal 2004: [www.rfidjournal.com/article/articleprint/990/-/1/1](http://www.rfidjournal.com/article/articleprint/990/-/1/1)
- SFB04 [www.logistik-selbststeuerung.uni-bremen.de](http://www.logistik-selbststeuerung.uni-bremen.de)
- ATM04 [www.atmel.com](http://www.atmel.com)