

# **Implementierung einer RFID-Tag- Antennenkombination für den HF- und UHF- Bereich**

Diplomarbeit

durchgeführt von

**Gresa Gina**

Institut für Hochfrequenztechnik  
Technische Universität Graz

Leiter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Bösch

Begutachter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Bösch  
Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Erich Leitgeb  
Dr. Ivan Russo  
Dipl.-Ing. Günther Hofer (Infineon)  
Dipl.-Ing. Gerald Holweg (Infineon)

Graz, Februar 2013

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Hiermit erkläre ich an das Eides Statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht verwendet und die den verwendeten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche bekannt gemacht habe.

## **STATUTORY DECLARATION**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....  
(Datum)

.....  
(Unterschrift)

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich besonders herzlich bei meinen Professoren Dr. Wolfgang Bösch und Dr. Erich Leitgeb bedanken, die mich während meiner Diplomarbeit betreut und umfangreich unterstützt haben.

Weiters möchte ich mich auch bei der Firma Infineon bedanken, welche mir die Durchführung der Diplomarbeit ermöglicht haben.

Diese Diplomarbeit möchte ich meinen Eltern, Besnik und Sadete widmen, da sie nicht nur mein Studium zum größten Teil finanziert haben, sondern auch ständig ein sehr großes Interesse an meiner Arbeit zeigten und mich immer unterstützten. Auch möchte ich mich bei meinen zwei Brüdern, Altion und Alban bedanken, die meine Launen und Stimmungen ertragen mussten. Meinen Schwiegereltern, Bashkim und Afërdita, gebührt ebenfalls ein herzliches Dankeschön.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinem Ehemann Ervis, für seine Engelsgeduld und langjährige Unterstützung in allen Lebenslagen bedanken. Nicht zuletzt möchte ich mich auch bei meinem kleinen Sohn Tristian bedanken, der mir immer Kraft gibt.

## Falenderim

Për realizimin e kësaj teme diplome një mirënjohje e veçantë shkon për dy Profesorët Dr. Wolfgang Bösch und Dr. Erich Leitgeb për vëmendjen që më kanë kushtuar dhe për korrektësinë që kanë treguar gjatë kësaj kohe.

Një falenderim i përzemërt dhe tepër i ngrohtë shkon për prindërit e mi Besnik dhe Sadete, për kurajon dhe mbështetjen që më kanë ofruar në rrugën e gjatë të arsimimit. Dëshiroj të falenderoj dhe dy vëllezërit e mi Alban dhe Altion për humorin e tyre. Një falenderim i ngrohtë shkon për familjen Gina, në veçanti për Bashkimin dhe Afërditen.

Së fundmi, por tepër e rëndësishme, një falenderim tepër special për familjen time, djalin Tristian dhe bashkëshortin Ervis për fuqinë që më kanë dhuruar. Pa ju nuk do ja dilja mbarë.

Faleminderit te gjithëve.

## Zusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Untersuchung der Funkausbreitung und Antennen für Radio Frequency Identifikation (RFID)-Systeme im Frequenzbereich der Hochfrequenz (HF) im 13,56 MHz Band und im Ultra-Hochfrequenz (UHF) Band zwischen 866MHz und 960 MHz. Im Rahmen dieser Arbeit wurde mit Hilfe einer Feldsimulationssoftware eine Antenne entwickelt, gefertigt und vermessen, welche sich für RFID-Anwendungen im HF- und UHF Bereich eignet und im typischen Kreditkartenformat ( $85,725 \text{ mm} \times 53,975 \text{ mm}$  bzw.  $3\frac{3}{8}'' \times 2\frac{1}{8}''$ ) realisiert wurde. Die Antenne setzt sich aus einer planare Schleifenantenne für den HF-Bereich und einem Faltdipol für den UHF-Bereich zusammen. Im Fokus der Untersuchungen stehen Kopplungseffekte zwischen den einzelnen Antennen. Für die Untersuchungen im HF-Bereich wird auf feststehende Modelle zurückgegriffen, wobei hingegen der UHF-Bereich mit Hilfe eines Softwarepakets (AWR) entwickelt und analysiert wird. Zum Schluss wird auch die Kombination der Antenne untersucht. Die Ergebnisse werden im UHF Bereich mit einer NXP Referenzantenne verglichen. Die entwickelte Antenne arbeitet im HF als auch im UHF Bereich, wodurch eine bessere Lesereichweite erreicht wird. Die Simulationsergebnisse werden durch Messungen verifiziert.

## Abstract

In this paper radio wave propagation and antennas for radio frequency identification (RFID) systems in the frequency range of the high frequency (HF) in the 13.56 MHz band and in the ultra-high frequency (UHF) band between 866MHz and 960MHz are investigated. With the help of a field simulation software an antenna has been designed, fabricated and measured, which is suitable for RFID applications in the HF and UHF range, typically to apply in credit card size ( $85,725 \text{ mm} \times 53,975 \text{ mm}$  or rather  $3\frac{3}{8}'' \times 2\frac{1}{8}''$ ). The antenna is a combination of a planar loop antenna for the high-frequency range and a folded dipole for the UHF range. The main focus of the investigations are coupling effects between the individual antennas. The tests in the HF range are accomplished by fixed models, while the UHF range is designed and analyzed by the means of a software package (AWR). Finally, the combination is analyzed. The results are compared to a NXP reference antenna. The developed antenna operates in the HF and UHF range, leading to a better reading distance. The simulation results can be verified by measurements.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>11</b>
1.1	RFID Systeme .....	11
1.2	Anwendungen HF/UHF .....	12
1.3	Motivation .....	12
<b>2</b>	<b>RFID Theorie</b>	<b>13</b>
2.1	Verwendete Begriffe und Ausdrücke .....	13
2.2	Elektromagnetische Wellen.....	14
2.3	Elektromagnetische Felder .....	14
2.3.1	Nahfeld / Fernfeld Theorie .....	14
2.3.2	Das magnetische Feld.....	15
2.3.3	Magnetische Kopplung für HF RFID Systeme .....	16
2.3.4	Funkübertragung im UHF RFID System.....	18
<b>3</b>	<b>Transponder Antenne (Tag)</b>	<b>20</b>
3.1	Passive Transponder, Lesereichweite.....	20
3.2	HF RFID Tag Antenne .....	21
3.3	UHF RFID Tag Antenne .....	23
<b>4</b>	<b>Kombinierte HF / UHF Antenne für RFID Tags</b>	<b>26</b>
4.1	Randbedingungen und Spezifikationen der HF / UHF Antenne.....	26
4.2	Verwendete Software zum Design der Antenne .....	27
4.3	Design der Tag Antenne.....	28
4.3.1	Definition.....	29
4.3.2	HF Design.....	29
4.3.3	UHF Design.....	30
4.3.4	UHF Dog Bone Design .....	31
4.4	Design Anforderungen an kombinierte Antennen.....	32
4.5	Wahl einer sinnvollen Antennengröße .....	33
4.6	Anpassung der Antenne an die Chip Impedanz .....	34
4.7	Simulation der Antenne.....	35

---

<b>5</b>	<b>Messungen der Antenne</b>	<b>45</b>
5.1	Reader-Tag-Antennen Messung im HF Bereich .....	52
5.2	Reader-Tag-Antennen Messungen im UHF Bereich .....	54
5.2.1	Zusammenfassung der Ergebnisse im UHF Bereich.....	56
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>58</b>
6.1	Idee für die Anwendung .....	58
<b>7</b>	<b>Referenzliste</b>	<b>59</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Prinzip eines RFID – Systems [1] .....	11
Abb. 2.1: Vektorprodukt im Nahfeld .....	14
Abb. 2.2: Vektorprodukt im Fernfeld.....	15
Abb. 2.3: Prinzip der Kopplung zwischen Reader und Tag bei 13.56 MHz.....	17
Abb. 2.4: Darstellung einer Funkübertragung zwischen Reader und Tag-Antenne.....	19
Abb. 3.1: Ersatzschaltbild eines Tags .....	21
Abb. 3.2: HF Tag Antenne .....	21
Abb. 3.3: Kopplung zwischen zwei Loops [1].....	22
Abb. 3.4: NXP UHF Tag Antenne [13].....	23
Abb. 3.5: Vom Schwingkreis zum Dipol .....	24
Abb. 3.6: Typische RFID Charakteristiken .....	25
Abb. 4.1: Entwicklung-Ablauf (Design Flow).....	27
Abb. 4.2: HF-Antennendesign.....	29
Abb. 4.3: UHF Antennendesign .....	31
Abb. 4.4: Dog Bone UHF Design .....	31
Abb. 4.5: HF / UHF Antennendesign mit AWR .....	33
Abb. 4.6: HF / UHF Antennendesign mit CST .....	33
Abb. 4.7: Ersatzschaltbild Tag-Antenne und Chip.....	34
Abb. 4.8: Chipimpedanz.....	34
Abb. 4.9: Infineon-Chipgehäuse.....	35
Abb. 4.10: Eingangsimpedanz für HF / UHF Antenne (AWR) .....	36
Abb. 4.11: $S_{11}$ für HF / UHF Antenne (AWR).....	36
Abb. 4.12: Anpassung der Antenne (AWR).....	37

Abb. 4.13: Güte der HF Tag Antenne .....	37
Abb. 4.14: Antennendesign / Impedanz / $S_{11}$ / Smith Diagramm.....	38
Abb. 4.15: Realteil der Impedanz der HF / UHF Antenne (CST).....	39
Abb. 4.16: Imaginärteil der Impedanz der HF / UHF Antenne (CST).....	39
Abb. 4.17: $S_{11}$ der HF / UHF Antenne (CST) .....	39
Abb. 4.18: Abstrahlungsverhalten der HF / UHF Antenne (CST).....	40
Abb. 4.19: HF / UHF Dog Bone Antennendesign (CST).....	40
Abb. 4.20: $S_{11}$ der HF / UHF Dog Bone Antenne (AWR) .....	41
Abb. 4.21: Realteil der Impedanz der HF / UHF Dog Bone Antenne (CST).....	41
Abb. 4.22: Imaginärteil der Impedanz der HF / UHF Dog Bone Antenne (CST).....	41
Abb. 4.23: $S_{11}$ der HF / UHF Dog Bone Antenne (CST) .....	42
Abb. 4.24: Abstrahlungsverhalten der HF / UHF Dog Bone Antenne (CST).....	42
Abb. 4.25: HF / UHF Dog Bone Antennendesign Nr.2 (AWR und CST).....	43
Abb. 4.26: Realteil der Impedanz der HF / UHF Dog Bone Antenne Nr.2 (CST) .....	43
Abb. 4.27: Imaginärteil der Impedanz der HF / UHF Dog Bone Antenne Nr.2 (CST).....	43
Abb. 4.28: $S_{11}$ der HF / UHF Dog Bone Antenne Nr.2 (CST).....	44
Abb. 4.29: Abstrahlungsverhalten der HF / UHF Dog Bone Antenne Nr.2 (CST).....	44
Abb. 5.1: Netzwerkanalysator .....	45
Abb. 5.2: Kalibrierstecker (calibration kit), Netzwerkanalysator und 50 Ohm Kabel.....	45
Abb. 5.3: Antenne mit dem Netzwerkanalysator mittels 50 Ohm Kabel verbunden.....	46
Abb. 5.4: Realteil der Impedanz im HF Bereich der HF / UHF Antenne .....	46
Abb. 5.5: Imaginärteil der Impedanz im HF Bereich der HF / UHF Antenne .....	47
Abb. 5.6: Realteil der Impedanz im UHF Bereich (866 – 924 MHz) der HF / UHF Antenne	47
Abb. 5.7: Imaginärteil der Impedanz im UHF Bereich (866 – 924 MHz) der HF / UHF Antenne .....	48
Abb. 5.8: Reflexionsfaktor im UHF Bereich (866 – 924 MHz) der HF / UHF Antenne.....	48
Abb. 5.9: Reflexionsfaktor im UHF Bereich (866 – 924 MHz) der HF / UHF Antenne.....	49

---

Abb. 5.10: Realteil der Impedanz im UHF Bereich (450 – 550 MHz) der HF / UHF Antenne .....	49
Abb. 5.11: Imaginärteil der Impedanz im UHF Bereich (450 – 550 MHz) der HF / UHF Antenne .....	50
Abb. 5.12: Realteil der Impedanz im UHF Bereich der Dog Bone UHF Antenne .....	50
Abb. 5.13: Imaginärteil der Impedanz im UHF Bereich der Dog Bone UHF Antenne .....	51
Abb. 5.14: Reflexionsfaktor im UHF Bereich der Dog Bone UHF Antenne.....	51
Abb. 5.15: Reflexionsfaktor mit Smith Diagramm im UHF Bereich der Dog Bone UHF Antenne .....	52
Abb. 5.16: HF Feig Reader von OBID (Lesegerät).....	53
Abb. 5.17: OBID ID ISO Start Programm .....	53
Abb. 5.18: UHF Feig Reader von OBID (Lesegerät).....	54
Abb. 5.19: EPCglobal Programm.....	55
Abb. 5.20: Labor Equipment und Messablauf .....	55
Abb. 5.21: Kombinierte HF / UHF Antenne mit Chip.....	56
Abb. 5.22: UHF Dog Bone Antenne mit Chip .....	56
Abb. 5.23: Ideale Dipol-Antenne mit Chip .....	56

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Verwendete Begriffe und Ausdrücke.....	13
Tab. 2.2: Nahfeld / Fernfeld Verhältnisse .....	15
Tab. 2.3: Liste der Symbole für die Gleichung 3.19 .....	18
Tab. 3.1: Liste der Symbole für die Gleichung 4.6 .....	24
Tab. 4.1: Schaltungsvariablen und Impedanzen.....	30
Tab. 5.1: Überblick der Messergebnisse .....	57

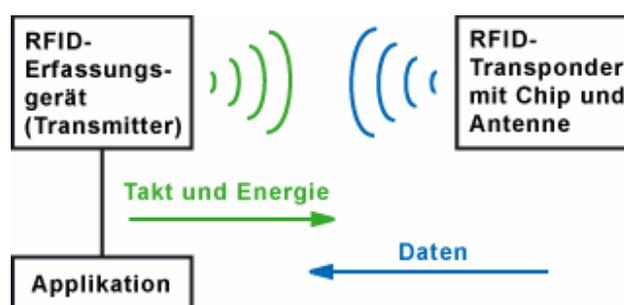
# 1 Einführung

Auto-ID (Automatische Identifikation) Systeme spielen eine große Rolle in unterschiedlichsten Branchen, wobei ihr Einsatz meist verschieden ist. Das Hauptziel der Auto-ID Systeme ist die Anweisung von Informationen über verschiedene Produkte und Konsumartikeln. RFID Systeme unterstützen die Entwicklung von kombinierten Antennen für den HF- und UHF-Bereich um die Lesereichweite zu verbessern. Im Folgenden ist eine Erklärung der RFID Systeme gegeben.

## 1.1 RFID Systeme

“Radio-Frequency-Identification“ (RFID), zu Deutsch “Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen“ oder Identifikation durch Radiowellen, erlaubt die automatische Erkennung und Lokalisierung von Objekten als auch Lebewesen und erleichtert damit die Datenerhebung [1]. RFID Systeme setzen sich aus zwei Grundbestandteilen zusammen:

- Lesegerät
- Transponder



**Abb. 1.1:** Prinzip eines RFID – Systems [1]

Die verwendete Arbeitsfrequenz erlaubt die Unterscheidung verschiedener Arten von RFID Systemen:

- Hochfrequenz (HF) Systeme operieren bei 13,56 MHz (s. Kapitel 3.3 für Details)
- Ultra Hochfrequenz (UHF) Systeme operieren bei 840-960 MHz (s. Kapitel 3.4 für Details)

Die Kopplung erfolgt durch magnetische Wechselfelder, welche von Lesegeräten oder durch hochfrequente Radiowellen erzeugt werden. Dabei werden gleichzeitig Daten übertragen. Der Transponder ist bekannt als RFID Label oder RFID Tag. Das Lesegerät mittels einer Software gesteuert, welche den tatsächlichen Lesevorgang vornimmt [1].

## 1.2 Anwendungen HF/UHF

- HF: Sicher, personenbezogene Daten z.B Zugangskontrolle, Payment
- UHF: Große Reichweite, objektbezogene Anwendungen, z.B Logistik

RFID- Anwendungsbereiche [3]:

- Tickets für öffentlichen Verkehr
- Im Automobilbereich
- Als Produkt-Index
- Lebensmittelkette
- Pharmazie-Markt
- Bekleidungsindustrie
- Elektronischer Passport und e-Visas
- Kontaktlos-Kreditkarten
- NFC
- Coil on Chip
- Medizinische Anwendungen, usw

## 1.3 Motivation

Es existiert bereits die Kombination einer HF- und UHF-Antenne, in welcher für die Antennen jeweils ein Chip eingesetzt wird. Da es 2 verschiedenen Chips gibt, wurde die Information separat eingelesen und es ergab sich eine bestimmte Lesereichweite. Durch eine weitere Verwendung von RFID Systemen können wir den Prozess möglicherweise vereinfachen. Die vorliegende Diplomarbeit analysiert wie durch die Zuverlässigkeit bei entsprechendem Design und entsprechender Anordnung der Antenne in 2 verschiedenen Frequenzbereichen mit nur einem eingesetzten Chip, die Lesereichweite verbessert werden kann. Die zwei Frequenzbänder müssen so getrennt werden, dass sich die Antennen nicht gegenseitig stören, da ansonsten die HF die UHF kurzschließt und umgekehrt.

## 2 RFID Theorie

Dieses Kapitel befasst sich mit den Grundlagen der RFID Theorie des HF- und UHF-Bereichs.

### 2.1 Verwendete Begriffe und Ausdrücke

Term	Beschreibung	Einheit
$\vec{E}$	elektrische Feldstärke	$V / m$
$\vec{H}$	magnetische Feldstärke	$A / m$
$\vec{B}$	Magnetfluss Intensität	$T = Vs / m^2$
$\vec{D}$	elektrischer Fluss Intensität	$As / m^2$
$\vec{J}$	elektrische Stromdichte	$A / m^2$
$\epsilon_0$	elektrische Feldkonstante	$\approx 8.854 \times 10^{-12} As / Vm$
$\mu_0$	magnetische Feldkonstante	$\approx 12.566 \times 10^{-7} Vs / Am$
$L$	Induktivität	$H = Vs / A$
$M$	Gegeninduktivität	$H = Vs / A$
$\Psi$	magnetischer Fluss	$Wb = Vs$
$P$	Ladungsdichte	$As / m^3$
$\lambda$	Wellenlänge	$m$
$c$	Lichtgeschwindigkeit	$\approx 3 \times 10^8 m / s$
$F$	Frequenz	$Hz$
$Z$	Impedanz	$\Omega$ (Ohm)
$N$	Windungszahl	-
$P$	Leistung	Watt (W)

**Tabelle 2.1:** Verwendete Begriffe und Ausdrücke

## 2.2 Elektromagnetische Wellen

Als elektromagnetische Welle bezeichnet man eine Welle aus gekoppelten elektrischen und magnetischen Feldern. Der Ursprung und die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen lässt sich mit Maxwell-Gleichungen beschreiben [2]:

$$1. \quad \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$2. \quad \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$3. \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (2.3)$$

$$4. \quad \operatorname{div} \vec{D} = \rho \quad (2.4)$$

## 2.3 Elektromagnetische Felder

Der Begriff 'elektromagnetische Felder' bezeichnet eine bestimmte Art bzw. Kombination von (hochfrequenten) Feldern, welche sich aus elektrischen und magnetischen Feldern zusammensetzen. Sie entstehen, wenn sich elektrische Ströme und Spannungen verändern. Daraus bildet sich eine elektromagnetische Welle, die sich räumlich ausbreitet und Energie transportiert [2].

### 2.3.1 Nahfeld / Fernfeld Theorie

Bei der Abstrahlung eines Dipols unterscheidet man zwischen dem Nahfeld und dem Fernfeld [1][3][4]. Sie beschreiben die elektrischen und magnetischen Felder und deren Wechselwirkungen in unterschiedlichen Entfernungen von einer Sendeantenne.

Die Region rund um die Antenne bei welcher keine Wellenausbreitung auftritt, nennt man das Antennen Nahfeld. Das Nahfeld wird durch die Ladungen und Ströme mitbestimmt. Dieser Beitrag zu den Feldstärken von E und B klingt mit  $1/r^2$  bzw.  $1/r^3$  ab.

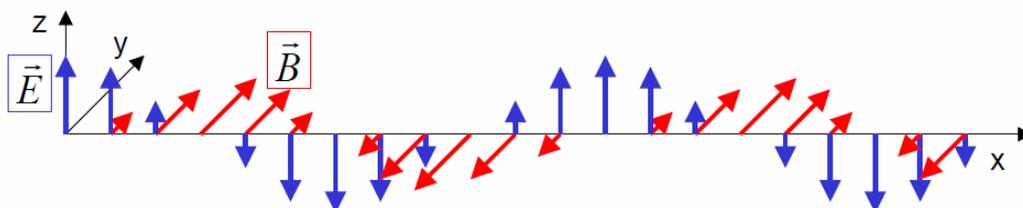


Abb. 2.1: Vektorprodukt im Nahfeld

Die Region von jenem Punkt, an dem sich die Welle von der Antenne löst, wird Fernfeld genannt. Im Fernfeld spielen Ladungen und Ströme keine Rolle mehr. Die Felder erzeugen sich durch ihre zeitliche Änderung gegenseitig.

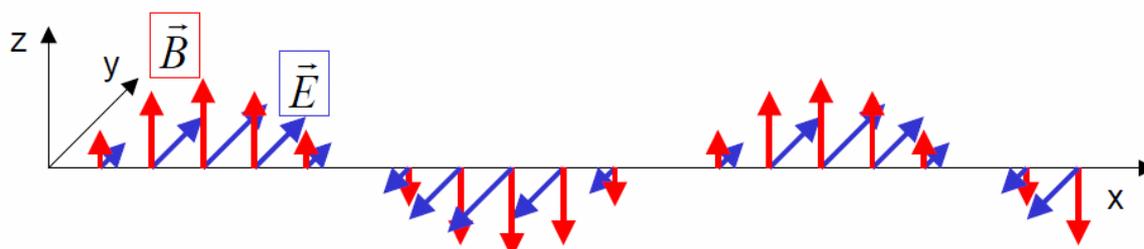


Abb. 2.2: Vektorprodukt im Fernfeld

	Nahfeld	Fernfeld
Grenze Feldbereich	$\frac{\lambda}{2\pi} \geq 3 \cdot \text{Distanz}$	$\frac{\lambda}{2\pi} \leq 0.3 \cdot \text{Distanz}$
Antennendurchmesser $D_0$	$\text{Distanz} \geq 2 \frac{D_0^2}{\lambda}$	$\text{Distanz} \leq 2 \frac{D_0^2}{\lambda}$
Zeitliche Phasenverschiebung	$\angle(E(t), H(t)) \neq 0^\circ$	$\angle(E(t), H(t)) = 0^\circ$
Räumliche Feldvektoren	$\vec{E}$	$\vec{H}$
Poynting Vektor	$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$	$\vec{S} = \frac{1}{2} \vec{E} \times \vec{H}$

Tabelle 2.2: Nahfeld / Fernfeld Verhältnisse [3]

Der in Tabelle 2.2 angegebene Parameter Distanz bezieht sich auf den Abstand zwischen Reader und Transponder und beeinflusst die Grenze des Feldbereichs zur Unterscheidung zwischen Nahfeld und Fernfeld. Neben der zeitlichen Phasenverschiebung die im Fernfeld null Grad beträgt und im Nahfeld ungleich null sein muss, gilt als weiteres Unterscheidungskriterium der räumliche Feldvektor. Die Leitungsdichte ergibt sich über den Poynting-Vektor aus dem E-Feld und H-Feld.

### 2.3.2 Das magnetische Feld

Die Maxwell-Gleichungen des magnetischen Feldes sind [2]:

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.5)$$

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{J} \quad (2.6)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (2.7)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad \text{mit} \quad \mu = \mu_0 \mu_r \quad (2.8)$$

Ist  $\mu$  konstant ist, folgt daraus mit (2.6) und (2.8):

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu \vec{J} \quad (2.9)$$

Mittels  $\operatorname{div} \vec{B} = 0$ , kann man  $\vec{B}$  durch Einführung des magnetischen Vektorpotentials  $\vec{A}$  bestimmen.

$$\vec{B} = \operatorname{rot} \vec{A} \quad (2.10)$$

Die Gleichungen (2.9) und (2.10) führen zu:

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{A} = \mu \vec{J} \quad (2.11)$$

Aus  $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{A} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{A} - \Delta \vec{A}$  und der Annahme  $\operatorname{div} \vec{A} = 0$  ergibt sich:

$$\begin{aligned} \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{A} - \Delta \vec{A} &= \mu \vec{J} \\ -\Delta \vec{A} &= \mu \vec{J} \\ \Delta \vec{A} &= -\mu \vec{J} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Lösungen findet man in der Referenz [2].

Das Biot-Savart-Gesetz (2.13) stellt einen Zusammenhang zwischen der magnetischen Feldstärke  $H$  und der Stromdichte  $J$  her und erlaubt die räumliche Berechnung magnetischer Feldstärkenverteilungen anhand der Kenntnis der räumlichen Stromverteilungen.

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu} = \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \vec{A} = \frac{I}{4\pi} \oint_L \operatorname{rot} \frac{d\vec{l}}{r} \quad (2.13)$$

### 2.3.3 Magnetische Kopplung für HF RFID Systeme

HF RFID Systeme arbeiten bei einer Frequenz von 13,56 MHz und nutzen das Magnetfeld in der Antenne im Nahfeld. Alle diese HF RFID Systeme verwenden eine induktive Kopplung. Aus diesem Grund sind Reader und Tag Antennen in HF RFID, Loop Antennen[1] und [4] .

Die Induktivität ergibt sich aus dem magnetischen Fluss durch die Leiterschleife (Loop):

$$L = \frac{\psi}{I} \quad (2.14)$$

Magnetische Kopplung wird verwendet um Energie zwischen zwei Spulen zu übertragen. Eine ist die Spule des Readers und die andere die des Transponders, dargestellt in der Abbildung 2.3 [6][7].

Für eine Mehrzahl von Windungen ergibt sich für die Formel aus 2.14:

$$L = \frac{N\psi}{I} \quad (2.15)$$

Daraus ergibt sich für ringförmige Loops mit gegebener Geometrie [16]:

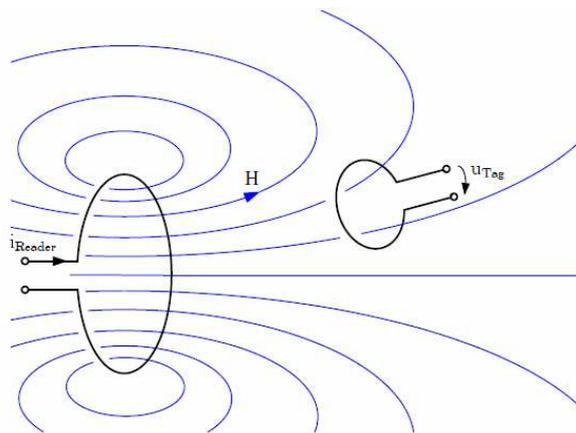
$$L = N^2 \mu_0 R \ln\left(\frac{2R}{D}\right) \quad (2.16)$$

wobei N die Anzahl der Spule, R der Radius der Schleife und D der Durchmesser des Leiters sind.

Bei der Kopplung von Spulen spielt der Koppelfaktor eine wichtige Rolle [1].

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (2.17)$$

Wobei die Gegeninduktion M, oder auch induktive Kopplung genannt, die gegenseitige magnetische Beeinflussung zweier oder mehrerer räumlich benachbarter elektrischer Stromkreise durch den magnetischen Fluss  $\Phi$  darstellt und sich aus der Induktivität der Primärspule und der Induktivität der Sekundärspule ergibt [8].



**Abb. 2.3:** Prinzip der Kopplung zwischen Reader und Tag bei 13.56 MHz [8]

Im Nahfeld nimmt die magnetische Feldstärke H mit  $\frac{1}{r^3}$  ab [6][7][8]:

$$|H| \approx \frac{1}{r^3} \quad (2.18)$$

Der Leistungsübertragungsverlust zwischen dem Reader Spuleneingang und dem Transponder Spulenausgang bezieht sich auf die beidseitige Induktivität [9][10][11] und die Verringerung der Übertragungsdistanz, um den sechsfachen Faktor ( $P_{Tag} \approx 1/r^6$ ).

Als typisches Beispiel der Leistungsübertragungsfaktor:

$$|h_{HF}|^2 = P_{RX,Tag} / P_{TX,Reader} \quad (2.19)$$

Zwischen zwei kreisförmigen Windungen, die koaxial im freien Raum ausgerichtet sind, ergibt sich [12]:

$$|h_{HF}|^2 = \frac{1}{4R_1R_2} \frac{(\mu_0 \omega \pi N_1 N_2 a^2 b^2)^2}{(r^2 + a^2)^3} \quad (2.20)$$

Symbol	Beschreibung
$ h_{HF} ^2$	Betrag des Leistungsübertragungsfaktors
$R_1$	Verlustwiderstand der Reader-Antenne
$R_2$	Eingangswiderstand des Tag-Chips
$\mu_0$	Dielektrizitätskonstante
$\omega$	Kreisfrequenz
$N_1$	Anzahl von Windungen auf der Reader-Antenne
$N_2$	Anzahl von Windungen auf der Tag-Antenne
a	Radius der Reader-Antenne
b	Radius der Tag-Antenne
r	Übertragungreichweite

**Tabelle 2.3:** Liste der Symbole für die Gleichung 3.19

### 2.3.4 Funkübertragung im UHF RFID System

Anders als bei 13,56 MHz, wo Tag-Antennen im Vergleich zu der Wellenlänge im freien Raum ( $\lambda_{13.56MHz} = 22.1m$ ) viel kleiner sind, ist im UHF Bereich die Antennenlänge mit der Wellenlänge im freien Raum bei 866MHz ( $\lambda_{866MHz} = 346mm$ ) vergleichbar.

Hertz verwendete Maxwell Gleichungen, um das Feld, welches von einem idealen Dipol, auch Hertz Dipol im freien Raum genannt, produziert wird, zu berechnen. Er stellte fest, dass eine elektrische und eine magnetische Feldkomponente, die invers proportional mit dem Abstand

zur Antenne abnehmen, existieren [13][14]. Diese Feldkomponenten sind bereits im Fernfeld der Antenne genannt und können große Distanzen überbrücken.

Der Antennengewinn ist eine Maßgröße für die Richtwirkung und den Wirkungsgrad einer Antenne. Der Gewinn bei 0dBi (dezibel isotropik) ist typisch für eine Tag-Antenne. RFID-Tags sind oft in dem Übergangsbereich zwischen Nachfeld der Reader-Antenne positioniert, derartige Modelle sind adäquater.

Abbildung 2.4 stellt eine Funkübertragung zwischen einem Reader und einer Tag-Antenne dar. Die Transponder Antenne nimmt eine Leistung auf, die direkt aus der Rader-Antenne übertragen wird [8].

Für den Leistungsübertragungsfaktor gilt:

$$|h|^2 = P_{RX,Tag} / P_{TX,Reader} \quad (2.21)$$

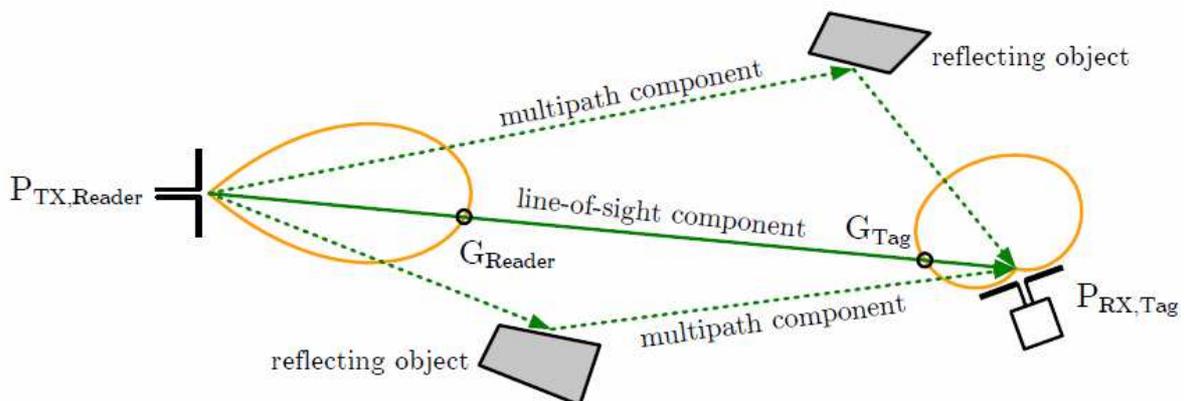


Abb. 2.4: Darstellung einer Funkübertragung zwischen Reader und Tag-Antenne [8]

Die Leistung, die in das Lesegerät des Antenneneingangs  $P_{TX}$  Reader eingespeist wird, wird gemäß der Richtcharakteristik der Leseantenne in den Raum abgestrahlt. Die Verstärkung der handelsüblichen Leseantennen liegt typischerweise bei ungefähr 5 bis 12 dBi. Die Transponder Antenne nimmt einen geringen Anteil der Leistung direkt aus der Leseantenne (üblicherweise als Line-of-sight Komponente bezeichnet) auf, sowie Signale welche von Objekten (Mehrpfadkomponenten) reflektiert worden sind. Gewichtet nach dem Verstärkungsmuster der Transponderantenne, stehen diese Komponenten dann am Transponderantennen-Anschluss zur Verfügung.

Da Low-Cost-RFID-Tags sind im Vergleich zur Wellenlänge im freien Raum klein sind, besitzen sie eine geringe Verstärkung und Effizienz [15].

## 3 Transponder Antenne (Tag)

Das folgende Kapitel befasst sich mit den Grundlagen der passiven Transponder Antennen und deren charakteristischen Eigenschaften für den HF- und UHF-Bereich.

### 3.1 Passive Transponder, Lesereichweite

Ein Transponder ist ein Funk-Kommunikationsgerät oder zusammengefasst:

$$\text{Transponder} = \text{Transmitter} + \text{Responder}$$

Passive RFID Transponder besteht aus einer Antenne und einem RFID Chip, welcher zur Antenne angepasst wird. Sie benötigt keine eigene Stromversorgung.

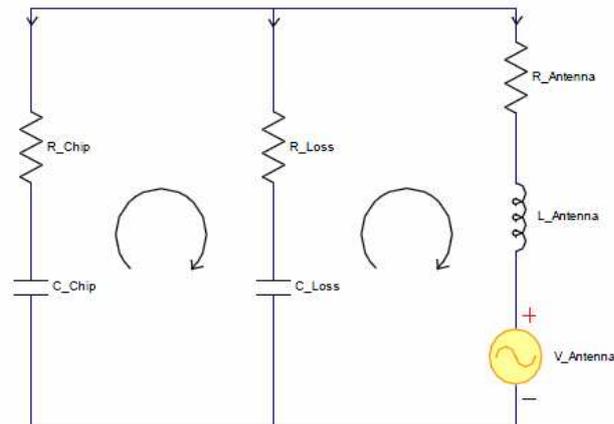
Das Wichtigste an einer Tag-Antenne ist die Anpassung mit dem Chip. Diese wird durch die Relation (3.2) gegeben [20]:

$$\tau = \frac{4R_c R_a}{|Z_c + Z_a|^2} \quad \text{mit} \quad 0 \leq \tau \leq 1 \quad (3.1)$$

Der Transmissionsgrad  $\tau$  wird durch die Chipimpedanz und die Antennenimpedanz, als auch durch deren ohmschen resistiven Anteil bestimmt.

- Chipimpedanz:  $Z_c = R_c + jX_c$  (3.2)

- Antennenimpedanz:  $Z_a = R_a + jX_a$  (3.3)



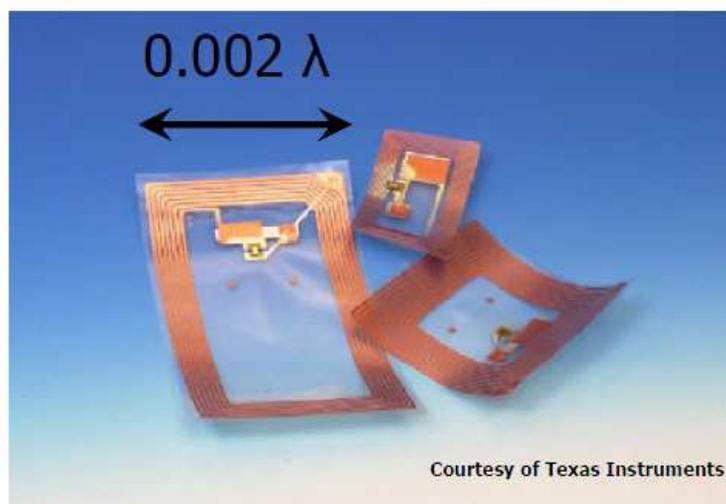
**Abb. 3.1:** Ersatzschaltbild eines Tags [23]

Abbildung 3.1 zeigt das Ersatzschaltbild eines Tags.  $R_{Loss}$  ist hier der Verlustwiderstand und  $C_{Loss}$  die Verlustkapazität.

## 3.2 HF RFID Tag Antenne

HF-Tag Antennen arbeiten im Kurzwellenbereich bei 13,56 MHz und verwenden Lastmodulation. Dies bedeutet dass sie durch Kurzschließen einen Teil der Energie des magnetischen Wechselfeldes reflektieren. Dadurch wird das Lesegerät (Reader) erkennbar. Die Antennen bilden eine Induktionsspule mit mehreren Windungen.

Die typische maximale Reichweite für Tags liegt bei 0.5 m (passiv) und wird bei Zugangskontrollen angewendet. HF-Tags bieten höhere Sicherheit und eine größere Informationsspeicherkapazität, dank ihres Nahfeld- Betriebs [1][24].



**Abb. 3.2:** HF Tag Antenne [19]

HF-RFID Systeme arbeiten bei einer Frequenz von 13,56 MHz und nutzen das Magnetfeld des Nahfeldes der Antenne, da alle diese Systeme induktive Kopplung verwenden. Aus diesem Grund sind das Lesegerät (Reader) und der Transponder der Antenne Schleifenantennen. HF Transponder-Antennen für RFID-Systeme bei 13,56 MHz sind spiralförmige oder rechteckige Antennen.

Es ist wichtig die Eingangskapazität des Chips wie in einem reinen UHF Design zu minimieren, damit das HF-Design auf die Eigenfrequenz abgestimmt werden kann. Daher kann die HF Antenne nicht durch die Chipkapazität abgestimmt werden, sondern ist auf die Eigenfrequenz abgestimmt. Das Optimierungskriterium für die Antenne im HF-Bereich ist die maximale Spannung am Tag-Chipeingang. Dies bedeutet dass weiterhin die Übertragung der maximalen Leistung bei beiden Frequenzen erfolgt.

Bei HF-Frequenz Anwendungen wird die magnetische Kopplung eingesetzt. Die Berechnung der Kopplung kann über der Gegeninduktivität  $M$  recht gut umgesetzt werden. Eine exakte Berechnung der Gegeninduktivität zweier kreisrunder Leiterschleifen ist mit der Formel 3.4 möglich[1][3].

$$M_{12} = \mu_0 \frac{N_1 \cdot R_1^2 \cdot N_2 \cdot R_2^2 \cdot \pi}{2\sqrt{(R_1^2 + x^2)^3}} \quad (3.4)$$

Die Entstehung der Gegeninduktivität durch die Verkopplung zweier Spulen über das Magnetfeld wird in Abbildung 3.3 dargestellt. Dies ist die physikalische Grundlage induktiv gekoppelter RFID- Systeme.  $\mu_0$  steht für die Permeabilität,  $N_n$  und  $R_n$  stehen für die Anzahl der Wicklungen und den Radius der beiden Spulen.  $x$  gibt den Abstand der Spulen zueinander an. Aus der Gegeninduktivität  $M$  kann der Kopplungsfaktor  $k$  bestimmt werden[1]:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (3.5)$$

Der Kopplungsfaktor  $k$  gibt das Verhältnis der eingekoppelten Spannung in der zweiten Spule, zur angelegten Spannung an der ersten Spule an.  $L_n$  steht für die Induktivität der beiden Spulen [1].

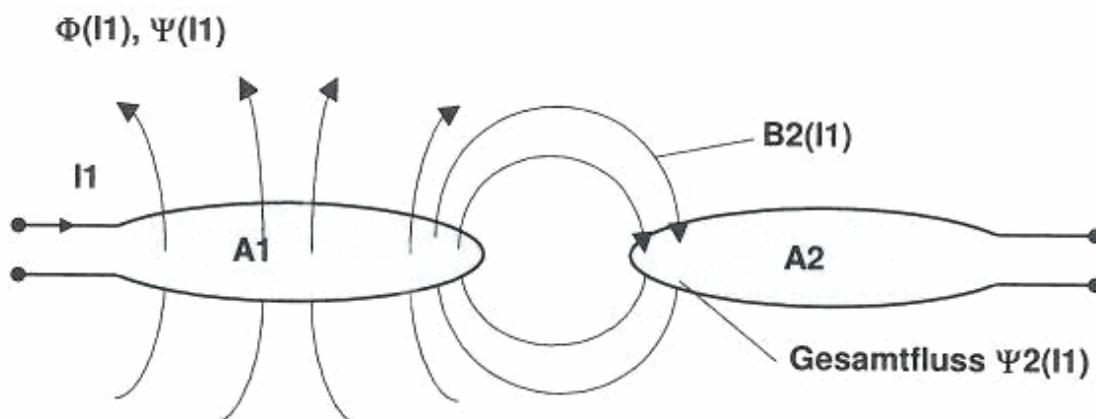


Abb. 3.3: Kopplung zwischen zwei Loops [1]

Für batterielose 13,56 MHz Transponder verwendet man normalerweise ein Resonanzsystem, um von der Überhöhung der Antennenspannung profitieren zu können. Der Chip wird aus dem H-Wechselfeld mit Leistung versorgt und benötigt eine Minimalspannung zum Betrieb des Digitalteils.

Daher ist am Antennenanschluss des HF-Transponderchip (Proximity oder Vicinity) ein Plattenkondensator integriert, der zusammen mit der Induktivität der Schleifenantenne einen Resonanzkreis bildet. Danach folgen ein Gleichrichter und ein Konstantspannungsregler (paralleler, gesteuerter Shuntwiderstand), um die Spannung für den Digitalteil konstant zu halten. Bei Vicinity-Systemen (Labels für Logistik, wie EPC (European Product Code)) trimmt man die Resonanz nahe an die Trägerfrequenz 13,56 MHz [17]. Der Strombedarf des Chips erscheint im Ersatzschaltbild als Parallel-Wirkwiderstand und limitiert die Güte des Antennen-Resonanzkreises. Nur für spezielle Anwendungen, wenn z.B. sehr viele Labels (Transponder) in der Anwendung gestapelt werden, verzichtet man auf diese Resonanzüberhöhung und bildet eine Eigenresonanz z.B. an 40-50 MHz ab, da sich viele Labels durch Kopplung in der Anwendung ohnehin verstimmen. Bei normalen Transpondern verwendet man aber diese Spannungsüberhöhung (näherungsweise ist die überhöhte Spannung gleich der induzierten Leerlaufspannung mal der Güte) und erreicht damit bei einem genügend starkem H-Feld des Readers und ausreichender Antennengröße des Transponders eine größere Distanz, bei der die benötigte Spannung für den Chip induziert wird.

### 3.3 UHF RFID Tag Antenne

UHF-Tag Antennen besitzen meistens lineare gefaltete, oder spiralförmige Dipole, wobei in der Mitte, der Chip positioniert wird. Tag-Antennen, welche meistens ihre Anwendung in UHF-RFID-Systemen finden, bestehen aus einer dünnen und flexiblen Folie aus Kunststoff oder Papier mit einer gedruckten oder geätzten Metallisierung. UHF-Tags übermitteln im Gegensatz zu HF-Tags im elektromagnetischen Fernfeld die Antwort. Diesen Vorgang nennt man Rückstreuung, wobei die elektromagnetische Welle absorbiert wird [2][25].

In der Praxis hat sich für UHF Antennen ein Realteil von ca 20 Ohm etabliert. Große Antennenhersteller verwenden üblicherweise diesen Wert für ihre Designs und können Chips mehrerer Hersteller darauf aufbauen. RFID-Lösungen werden im UHF-Bereich deshalb gerne verwendet, da sie schnelle Schreib- und Lesevorgänge ermöglichen. So können die RFID-Transponder bis zu einer Entfernung von 4,6 Metern bei einer maximalen Geschwindigkeit des Tags von 30 km/h ausgelesen werden.

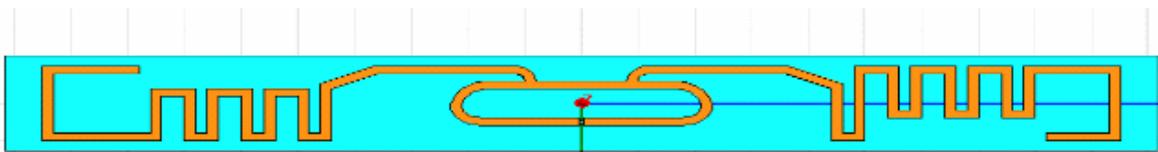


Abb. 3.4: NXP UHF Tag Antenne [19]

Typisch für UHF Antennen sind Dipol Antennen, die durch einen Schwingkreis entstehen, siehe Abbildung 3.4 [19].

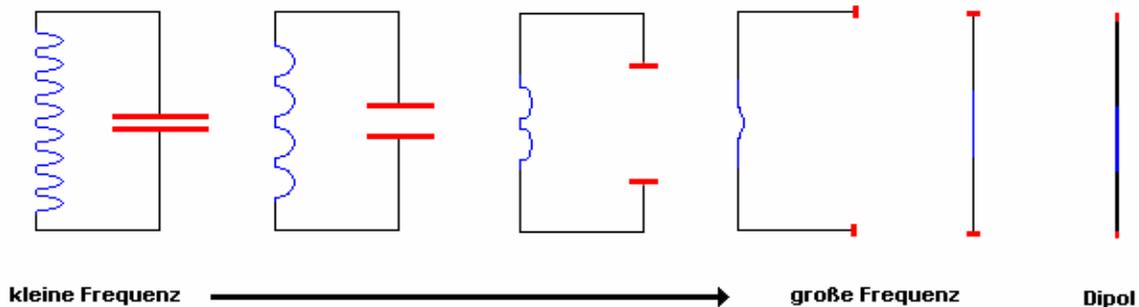


Abb. 3.5: Vom Schwingkreis zum Dipol [14]

Eine der wichtigsten UHF-Tag Kenngrößen, ist die Lesereichweite. Sie ist der maximale Abstand, bei dem ein RFID Lesegerät das rückgestreute Signal vom Tag erkennen kann. Die Lesereichweite wird durch die UHF- Tag-Antwort, den Grenzwert, definiert und ist auch empfindlich auf die UHF-Tag-Orientierung [16].

Die wichtigste Tag-Leistungs Eigenschaft ist die Lesereichweite - die maximale Distanz bei welcher ein RFID Reader die Rückstreuung eines Signals des Tags detektieren kann. Nachdem die Reader Empfindlichkeit typischerweise höher ist als jene des Tags, wird die Lesereichweite durch den Tag-Antwort Grenzwert definiert. Die Lesereichweite ist ebenfalls empfindlich gegenüber der Tag Orientierung, des Materials auf dem das Tag aufgebracht wird und den Umgebungsbedingungen. [5]

Die Lesereichweite  $r$  kann anhand der Friis-Formel [5] in 3.6 beschrieben werden:

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \pi}{P_{th}}} \quad (3.6)$$

Symbol	Beschreibung
$\lambda$	Wellenlänge
$P_t$	Leistung des Senders
$G_t$	Antennengewinn des Senders
$G_r$	Antennengewinn des Transponders
$P_{th}$	gelieferte Leistung
$\tau$	Transmissionsgrad ( ca 0.9)

Tabelle 3.1: Liste der Symbole für die Gleichung 4.6

Das qualitative Verhalten der Antennenimpedanz, Chipimpedanz und der Lesereichweite als Funktion der Frequenz, wird für typische RFID Tags in Abbildung 3.6 dargestellt. [5]

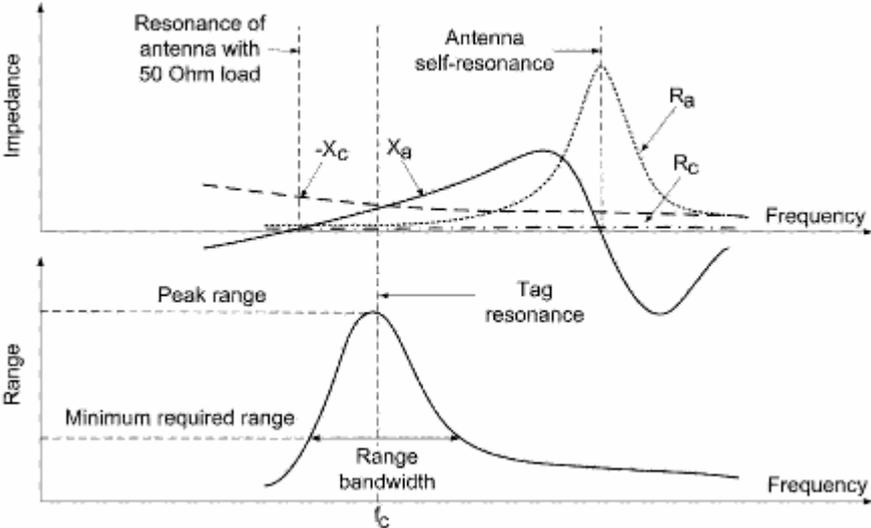


Abb. 3.6: Typische RFID Charakteristiken

## 4 Kombinierte HF / UHF Antenne für RFID Tags

In diesem Kapitel wird das Design der kombinierten HF/UHF Antenne beschrieben. Abschnitt 4.1 gibt einen Überblick über die Anforderungen an das Antennendesign. Im Abschnitt 4.3.2 und 4.3.3 werden die Antennenstrukturen für den HF-Bereich und den UHF-Bereich vorgestellt. In 4.4 und 4.5 wird die kombinierte Antenne, sowie die Antennengröße beschrieben. Abschnitt 4.6 beschreibt die Anpassung der Antenne an die Chip Impedanz. In 4.7 werden die Verläufe der Eingangsimpedanz gezeigt, die durch Simulation von verschiedenen Antennengrößen ermittelt wurden. Ein anderes Modell für den UHF Bereich wird in 4.3.4 vorgestellt und in 4.7 diskutiert.

### 4.1 Randbedingungen und Spezifikationen der HF / UHF Antenne

Ziel ist das Design, die Simulation und die Herstellung einer kombinierte HF/UHF Antenne für RFID Tags, die folgende Merkmale nachweisen können[20][21]:

- Die Antennenimpedanz soll konjugiert komplex zur Eingangsimpedanz des RFID-Chips im UHF Betrieb sein. Ausgehend von diesem Anpassungspunkt soll eine maximale Leistungsübertragung von der Antenne auf den RFID-Chip gewährleistet werden. Der RFID-Chip hat eine Eingangsimpedanz von  $Z = 20 \dots 100 - 0 \dots 300j\Omega$  im RFID UHF Band. Daher muss das endgültige Antennen-Design eine Eingangsimpedanz von ca.  $Z = 20 \dots 100 + 0 \dots 300j\Omega$  in diesem Frequenzbereich erreichen.
- Es wird erwartet, dass eine kombinierte Antenne sich im HF-Bereich wie ein Parallelschwingkreis verhält. Um eine maximale Leistungsübertragung zu gewährleisten, sollte die Antenne mit der Chip-Engangsimpedanz eine Resonanzstelle bei 13,56 MHz und eine Güte von 40 besitzen.
- Das endgültige Design der Antenne ist so ausgelegt, dass sie an einen UHF- RFID-Chip angeschlossen werden kann.

- Die Vorgangsweise beim Design einer kombinierte Antenne, ist zuerst eine HF- und danach eine UHF-Antenne zu entwerfen und diese beiden Antennen schließlich mit einer einzigen Anpeisung zu versehen. Da jedoch diese beiden Antennen zusammen parallel angeschlossen sind, wird die UHF-Antenne den HF-Bereich der HF-Antenne beeinflussen und umgekehrt.

Bedingt durch die international unterschiedliche Frequenzregulierung im ISM-Band, erstreckt sich der UHF-Bereich über ein sehr weites Frequenzband von etwa 840 – 960 MHz.

## 4.2 Verwendete Software zum Design der Antenne

Die AWR ® Design Environment (AWRDE) Suite besteht aus drei Komponenten, die zusammen verwendet werden, um ein integriertes System und HF-oder Analog-Design-Umgebung erstellen zu können: Visual System Simulator™ (VSS), Microwave Office ® (MWO) und Analog-Office ® (AO)-Software. Diese Komponenten sind vollständig in der AWR Design Environment Suite integriert und ermöglichen es Schaltungsdesigns in Systemdesigns zu integrieren. Der grundsätzliche Entwicklungs-Ablauf in der AWR Designumgebung ist durch ein Flussdiagramm in der Abbildung 4.1 dargestellt [26].

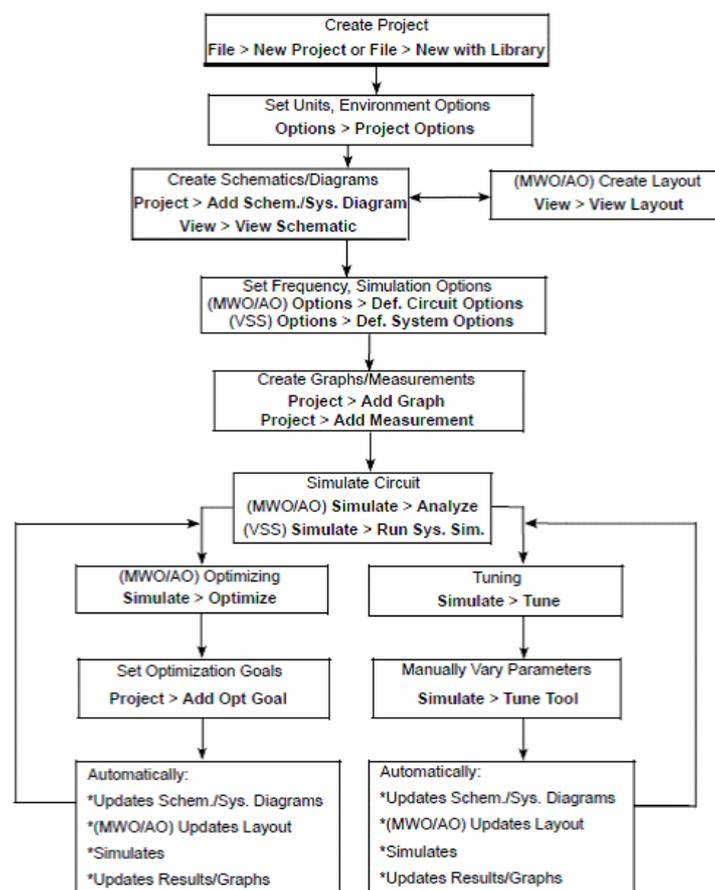


Abb. 4.1: Entwicklung-Ablauf (Design Flow)

- CST Studio Suite:

Im Rahmen der Arbeit wurde die Finite Element Methode (FEM) Software zur Verifizierung der ersten Ergebnisse verwendet.

Das Programm ist speziell auf eine schnelle und effiziente Analyse und Design von EM-Komponenten, wie Antennen geeignet. Wie bei AWR kann die Impedanz, der Reflexionsfaktor, der Gewinn usw. graphisch dargestellt werden. Hier wurde ein RFID Simulator verwendet [27].

- Eagle:

Diese Software ist der vorletzte Schritt um ein Layout zu erstellen, bevor Prototypen der Antenne hergestellt werden können. Von den möglichen Optionen wurde hier nur die Layout-Option genutzt, um ein gefrästes Board als Prototyp für Labormessungen erstellen zu können [28].

### 4.3 Design der Tag Antenne

Eine Tag-Antennen Konstruktion besteht grundsätzlich aus :

- Einer einzelnen Metallschicht für den Leiter (keine Massenfläche)
- Einem sehr dünnen oder im Idealfall flexiblem Substrat
- Die Herstellung des Antennenleiters ist durch Fräsen, Ätzen und auch durch Druck möglich

Für das Design einer effizienten Antenne ist es notwendig, den Realteil und den Imaginärteil der konjugiert komplexen Quellimpedanz zu erreichen, die in den meisten Fällen der Transponderchip ist. Die Herausforderung des Antennen-Designs ist die Sicherstellung dass die UHF- Antenne:

- eine minimale Wechselwirkung mit der HF- Spule Antenne besitzt
- mit der HF- Spulen- Antenne kombiniert werden kann und dass
- sie so wenig zusätzlichen Platz als möglich benötigt.

Die RFID-Antenne soll bei 13,56 MHz (HF) und 860- 960 MHz (im UHF-Band für RFID-Betrieb) betrieben werden können. Breitbandige Antennendesigns können für Impedanzen mit relativ hohem Real- und möglichst niedrigem Imaginärteil am Besten designed werden. Allerdings beeinflusst die geringe Größe der Antenne viele Faktoren, wie z.B. die Verstärkung, die Impedanzanpassung und die Bandbreite [22].

### 4.3.1 Definition

Das kombinierte RFID-System wird gemäß ISO/IEC 15693 Standard [17] im HF-Band und gemäß ISO/IEC 18000-6-AMD1 Standard [18] auf dem UHF-Band realisiert. Die Funktionalität bei beiden Frequenzen mit einem Tag-Chip, der nur einen einzigen Port zur Verfügung hat, soll sichergestellt sein. Die Antenne wird auf die maximale Leistungübertragung bei beiden Frequenzen optimiert.

### 4.3.2 HF Design

Für den HF Bereich wurde eine planare Schleifenantenne mit mehreren Windungen entwickelt. Die Berechnung der Induktivität einer ebenen Mehrwindungs-Schleifenantenne erfolgt durch [5][8] [20]:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.1)$$

Mit der benötigten Resonanzfrequenz bei 13,56 MHz, lässt sich die erforderliche Induktivität berechnen.

Unter Verwendung eines Coilcalculator, einem Programm zur Berechnung der einzelnen Komponenten der Antenne, ergeben sich für meine  $N = 5$  (5 Windungen) HF-Loop-Antenne mit einer Größe von  $30.2 \times 20.2$  für die Induktivität  $1.4 \mu\text{H}$ , die Kapazität  $1.53 \text{ pF}$  und für den Widerstand  $3.24 \Omega$ .

Die folgende Abbildung 4.2 zeigt das Design der HF-Antenne, mit einem Abstand von  $w = 0.2 \text{ mm}$  zwischen zwei Windungen und einer Breite der Leitung von  $d = 0.2 \text{ mm}$ .

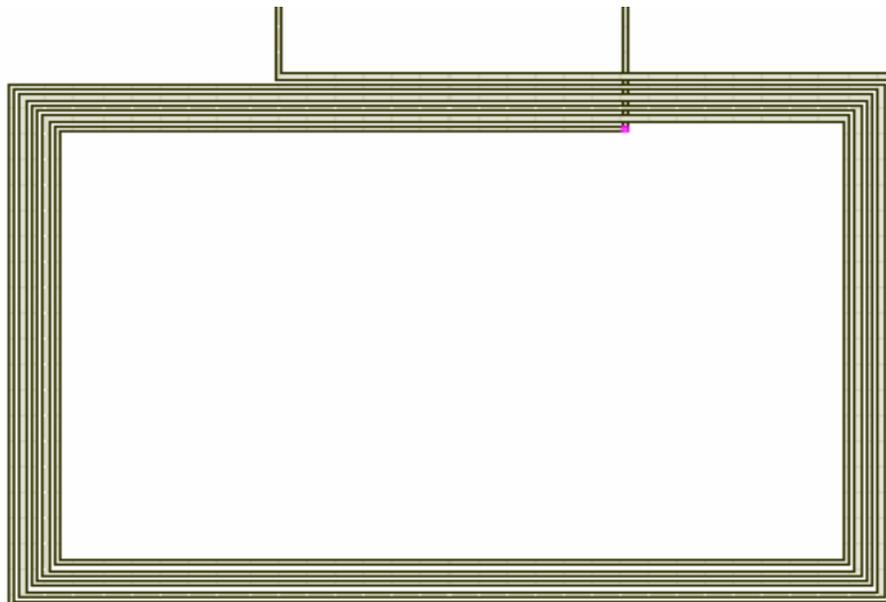


Abb. 4.2: HF-Antennendesign

### 4.3.3 UHF Design

Wichtige Faktoren für die Dimensionierung der Antenne sind neben den Einflüssen der Materialien, die maximal zulässige geometrische Größe der Antenne, sowie die frequenzabhängigen Eigenschaften der Chipimpedanz. Transponder im Smart Card Format, die für einen Betrieb im UHF-Bereich ausgelegt sind, verfügen über elektrisch kleine Antennen. Eine wesentliche Eigenschaft dieser Antennen ist der üblicherweise niedrige Realteil der Impedanz im Bereich der 1. Serienresonanz. Damit verbunden sind eine hohe Güte und eine geringe Bandbreite. Durch Beeinflussung der Antennengeometrie für eine optimale Nutzung der Flächen ist es möglich, die Impedanzeigenschaften so zu verändern, dass sich die Bandbreite der Antenne vergrößert. Somit empfängt die Antenne die elektromagnetische Energie der Freiraumwelle und sorgt gleichzeitig für die Impedanzanpassung. Die Geometrie der Antenne ermöglicht eine gute Anpassungen über einen weiten Bereich der Chipimpedanzen vorzunehmen. Allerdings beeinflusst die Chipimpedanz wiederum die Bandbreite der Antennen [5][8].

Konfiguration		Single ended	Differential
Linearisiertes Modell des Tags und der Mounting-Kapazität		530 $\Omega$    980 fF	1050 $\Omega$    680 fF
Empfohlene Antennenimpedanz bei geringster Empfindlichkeit	868 MHz	(53+j166) $\Omega$	(66+j254) $\Omega$
	956 MHz	(48+j153) $\Omega$	(55+j233) $\Omega$

**Tabelle 4.1:** Schaltungsvariablen und Impedanzen

Die Antennen werden oberhalb ihrer 1. Serienresonanz betrieben, um den kapazitiven Anteil der Chipimpedanz zu kompensieren. Entscheidend für die Bandbreite ist nun die Änderung über den Frequenzen von Real- und Imaginärteil im Bereich des Arbeitspunktes oberhalb der 1. Serienresonanz der Antenne. Je höher der kapazitive Anteil der Chipimpedanz ist, desto schmalbandiger wird die Antenne.

Im UHF Bereich wurde ein Halbwellen-Dipol  $\lambda/2$  (für 960 MHz) mit 2 Resonatoren verwendet, um die Antenne im Resonanzbereich so breitbandig als möglich zu machen. Ein Anpassungspunkt ist erforderlich, um die Eingangsimpedanz der Antenne auf  $Z_{UHF} = 21 + 120j\Omega$  zu transformieren.

Die UHF-Antenne besitzt eine Größe von  $77.8mm * 28mm$ . Für große Entfernungen ist der Dipol im Vergleich zu einer Schleife die bessere Wahl. Folgende Abbildung (4.3) zeigt das Design der UHF-Antenne:



Abb. 4.3: UHF Antennendesign

Es werden zwei Dipole verwendet, da es zwei Resonanzfrequenzen, 866 MHz und 926MHz gibt.

#### 4.3.4 UHF Dog Bone Design

Es wurde noch eine alternative Version der Antenne für den UHF Bereich entworfen und entsprechende Simulationen und Messungen durchgeführt. Die Simulation hat gezeigt, dass dies eine optimale Antenne im UHF Band sein könnte, jedoch die Kombination mit der HF Antenne schwer realisierbar ist. Für die Parallelschaltung der UHF und HF Antenne wären zusätzliche Elemente, wie zum Beispiel Plattenkondensatoren, notwendig. Wegen des großen Zeitaufwandes wurde entschieden das Dog Bone-Design nicht weiter zu verfolgen. Abbildung (4.4) zeigt das Dog Bone- Design.

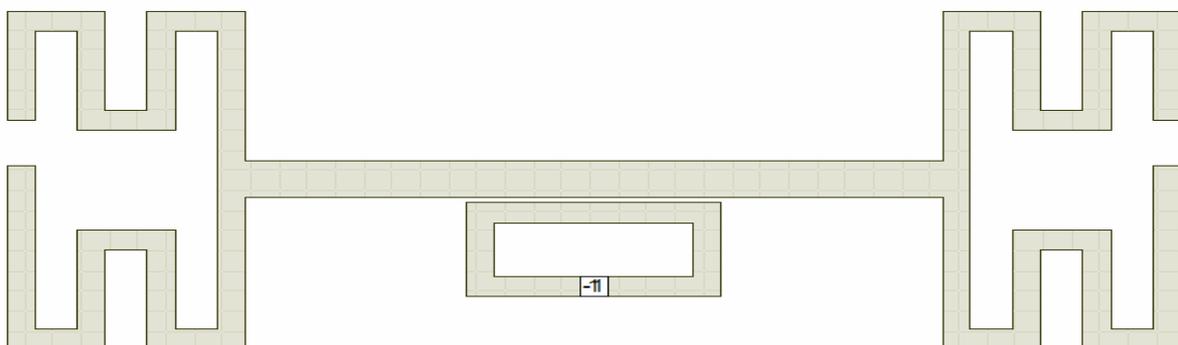


Abb. 4.4: Dog Bone UHF Design

## 4.4 Design Anforderungen an kombinierte Antennen

Mehrere allgemeine RFID-Tag Anforderungen, deren relative Bedeutung von der Tag Anwendung abhängen, werden in diesem Kapitel behandelt. Diese Anforderungen bestimmen weitgehend die Auswahlkriterien einer RFID-Tag-Antenne.

Das gewünschte Frequenzband für den Betrieb hängt von den Bestimmungen des Landes, in dem das Tag verwendet wird, ab.

Die Form und Größe des Tags muss so beschaffen sein, dass sie in das gewünschte Objekt (Kartons, Fluggepäck Streifen, Ausweise, etc.) eingebettet oder angebracht werden kann.

Die minimal erforderliche Lesereichweite ist in der Regel angegeben für:

- **Objekte:** Die Tag-Leistung verändert sich, wenn es an verschiedenen Objekten (zB Kartons mit verschiedenen Inhalten) platziert ist, oder wenn andere Gegenstände in der Nähe des Objekts markiert sind. Tag-Antennen können zur optimalen Leistung auf ein bestimmtes Objekt abgestimmt oder entwickelt werden. Oder sie können so konstruiert werden, dass sie weniger empfindlich auf den Stoff auf dem das Etikett angebracht ist, reagieren.
- **Orientierung:** Die Lesereichweite hängt von der Ausrichtung der Antenne ab. Einige Anwendungen erfordern ein Tag, um eine bestimmte Richtungscharakteristik wie eine radiale oder hemisphärische Abdeckung zu erhalten.

Ein RFID-Tag muss ein kostengünstiges Gerät sein. Dies führt zu Einschränkungen der Antennenstruktur, als auch der Materialauswahl für die Konstruktion einschließlich der ASIC. Typische Leiter welche in Tags verwendet werden sind Kupfer, Aluminium und Silber.

Des Weiteren muss ein RFID-Tag eine hohe Zuverlässigkeit besitzen, welches Variationen von Temperaturen, Feuchte, Druck, Labelzuführung, Drucken und Laminieren aushalten kann.

Eine UHF-Antenne ist eine Breitbandantenne (ca. 1 GHz Bereich). Ziel ist die Beibehaltung dieser Bandbreite auch bei der Kombination mit der HF Spule. Die HF Struktur wird die UHF-Antenne beeinträchtigen, was leider nicht zu vermeiden ist. Dennoch teilen sich die beiden Frequenzbereiche auf. Die HF Antenne soll keinen Kurzschluss der UHF Antenne hervorrufen und umgekehrt. Jedoch beeinflusst die UHF-Antenne die HF-Antenne kaum, da sie sich als eine geringe parasitäre Kapazität für die UHF-Antenne auswirkt. Idealerweise stellt die Kapazität einen Kurzschluss für UHF-Antenne dar, da sie für höhere Frequenzen besser leitend wird.

Ein Problem der direkten Kopplung von HF und UHF in einer einzelnen Antenne, ist die Aufteilung der Empfangsleistung. Der jeweils andere Frequenzbereich wird demzufolge immer etwas Verluste, gegenüber einer für einen Bereich optimierten Antenne machen. Die Antenne soll in Anpassung die konjugiert komplexe Impedanz zum Chip bekommen. Meist soll die Antenne breitbandig realisiert werden, um den Frequenzbereich von 860-960 MHz abzudecken. Das einfachste Konzept um dies zu erreichen, ist der Einsatz der zwei Resonanzfrequenzen im Design.

## 4.5 Wahl einer sinnvollen Antennengröße

Die verwendeten Materialien für die Herstellung:

Substrat FR4 . . . . mit Dielektrizitätskonstante und Stärke von 0.8 mm

Kupfer . . . . . mit eine Dicke von 0.2 mm

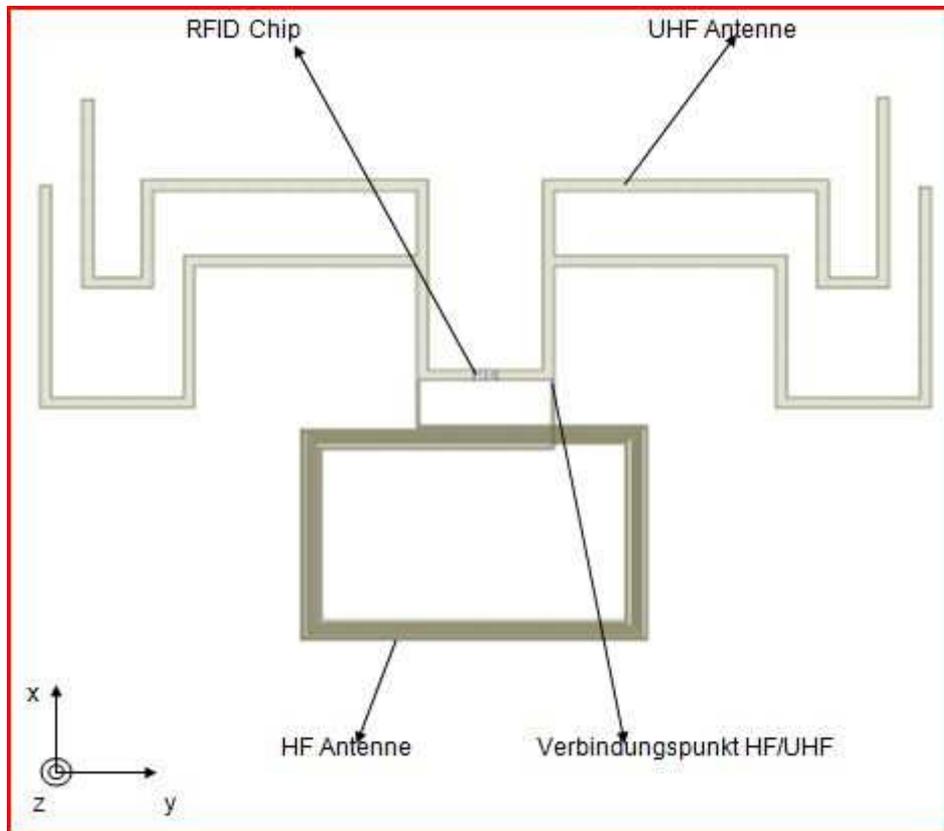


Abb. 4.5: HF / UHF Antennendesign mit AWR

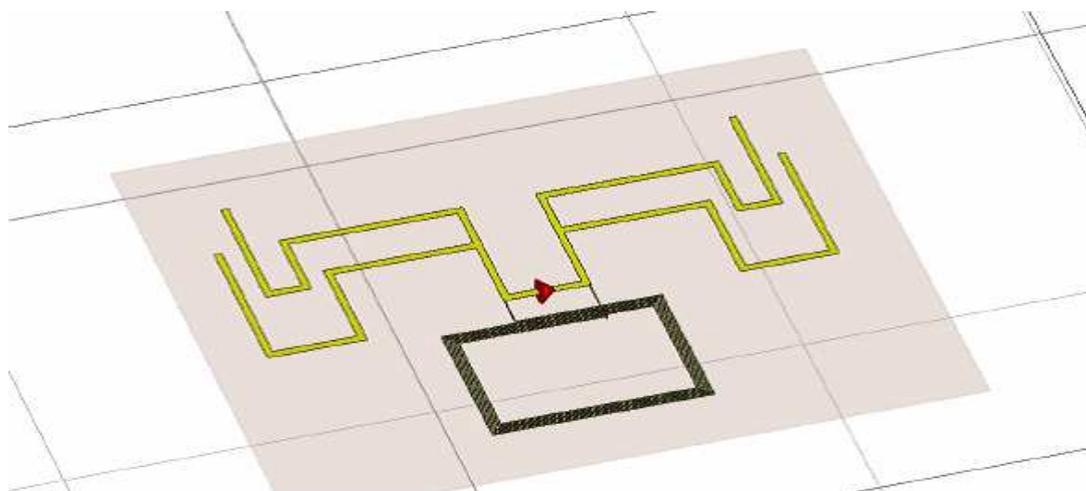


Abb. 4.6: HF / UHF Antennendesign mit CST

## 4.6 Anpassung der Antenne an die Chip Impedanz

Um die größtmögliche Leistung aus dem elektromagnetischen Feld in den Chip zu bringen, müssen die Antenne und der Chip angepasst werden. Abbildung 4.7 zeigt die Ersatzschaltbild der Tag-Antenne und der Tag-Chip Impedanz [8].

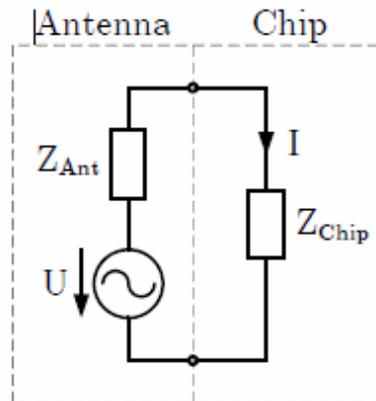


Abb. 4.7: Ersatzschaltbild Tag-Antenne und Chip

Der HF/UHF Chip hat keinen integrierten Kondensator, da er das UHF-Frequenzband viel zu stark dämpfen würde.

Da aufgrund technologischer Grenzen die Eingangsimpedanz des Chips nicht beliebig gewählt werden kann, muss die Antenne so entworfen werden, dass die Chip Impedanz bestmöglich an die Antenne angepasst werden kann. Für die Leistungsanpassung gilt die Bedingung:

$$Z_{Ant} = Z_{Chip}^*$$

Der Chip CTS0, der in meinem Design verwendet wird, wird von Infineon Semiconductor hergestellt. Abbildungen 4.8 und 4.9 zeigen Chipimpedanz und die Chip- Gehäuse.

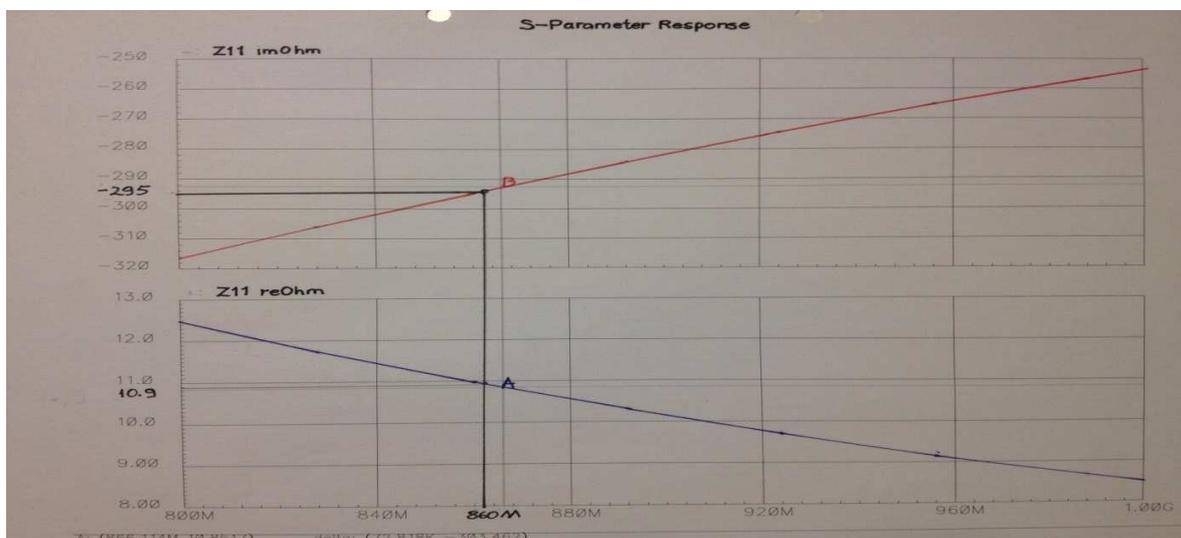


Abb. 4.8: Chipimpedanz

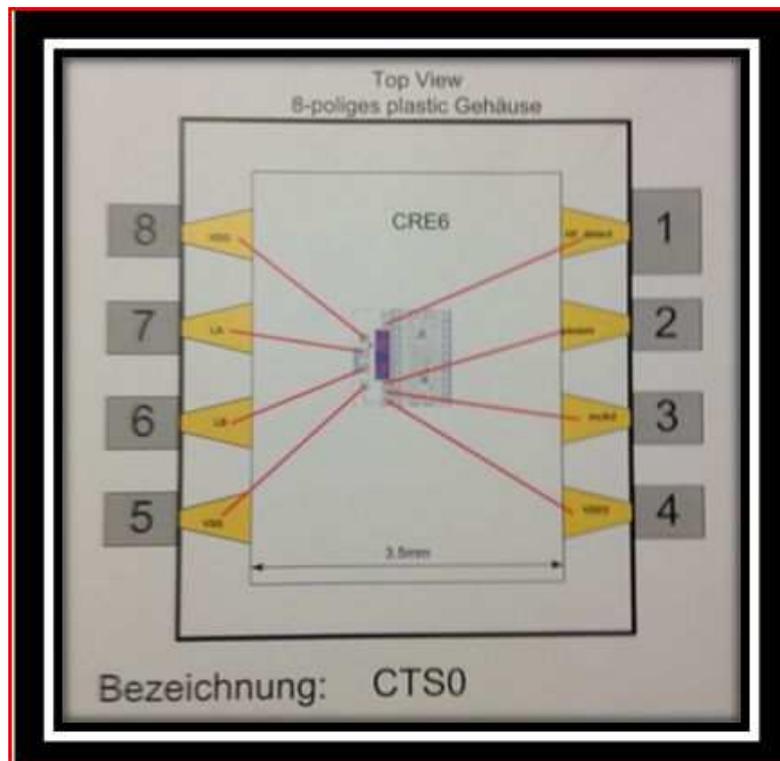


Abb. 4.9: Infenion-Chipgehäuse

## 4.7 Simulation der Antenne

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Simulation der kombinierten Antenne im UHF Bereich. Simulationen wurden durchgeführt, um die Wirkung von einigen Schlüsselparametern zu bestimmen, wie die Eingangsimpedanz, der Reflexionsfaktor und das Abstrahlverhalten der Antenne. Für die Simulationen der Eingangsimpedanz und des Reflexionsfaktors wurde die AWR/CST Software und für das Abstrahlungsverhalten die CST Software verwendet.

Um eine maximale Reichweite bei minimaler Leistung zu erreichen, muß die Antennenimpedanz gemäß der Chip Eingangsimpedanz optimiert werden. Der Chip hat eine Kapazität, die das  $S_{11}$  und die Impedanz der Antenne verschieben kann. Folgende Abbildungen zeigen in AWR und in CST die Eingangsimpedanz und den Reflexionsfaktor der Antenne.

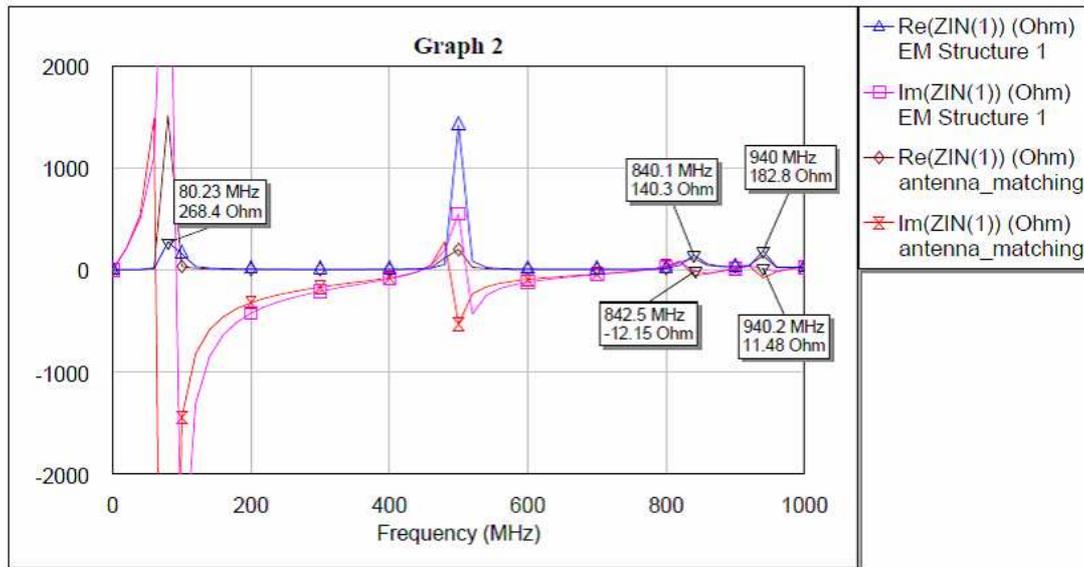


Abb. 4.10: Eingangsimpedanz für HF / UHF Antenne (AWR)

$$Z_{860} = 20 + 123j\Omega \text{ und } Z_{940} = 12 + 182j\Omega$$

Die größte Schwierigkeit besteht darin, Kopplungseffekte zwischen den beiden Antennen zu minimieren. Die Kopplung am Reflexionskoeffizient der UHF Antenne sichtbar (Abbildung 4.11). Wenn man unter die HF Antenne eine Massefläche setzt, so verschwindet die Resonanzfrequenz zwischen 400-600MHz.

Wenn die Anpassung von  $50\Omega$  abweicht, so würden der Real- und Imaginärteil der Impedanz außerhalb des UHF Bereichs liegen. Bei  $50\Omega$  liegen diese genau im Bereich des Reflexionsfaktor (866-960MHz).

In Abbildung 4.11 ist  $S_{11}$  auf die konjugiert komplexe Portimpedanz normiert. Man erhält somit den Anpasspunkt der Antenne. Die Ports sind differentiell simuliert worden.

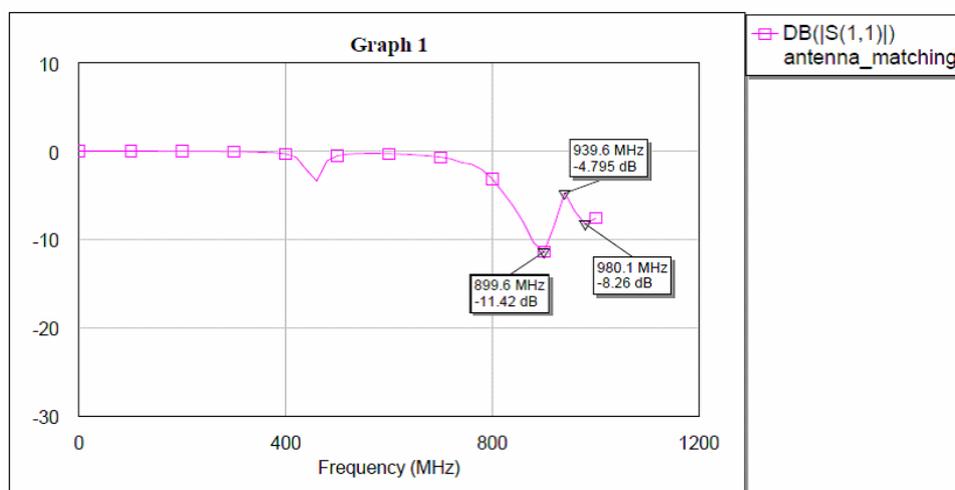


Abb. 4.11:  $S_{11}$  für HF / UHF Antenne (AWR)

Die Antenne ist auf  $50\Omega$  normiert und auf die Chip Kapazität angepasst.

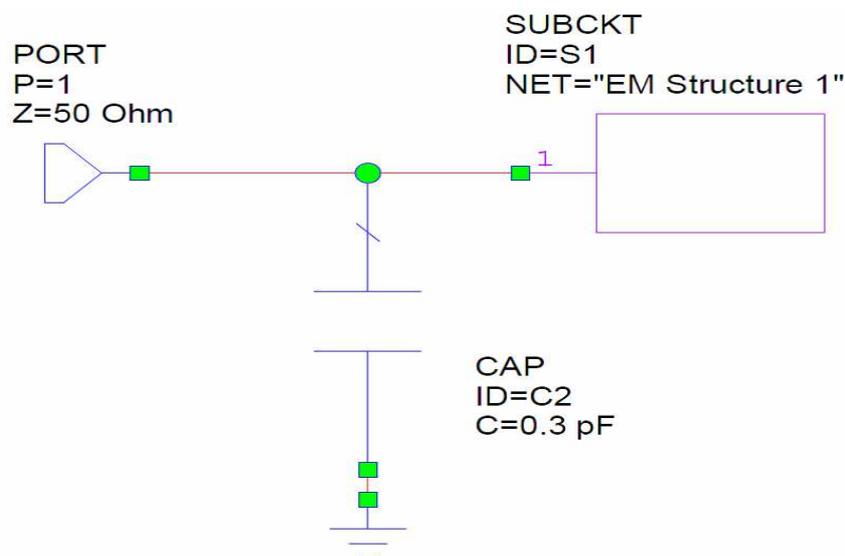


Abb. 4.12: Anpassung der Antenne (AWR)

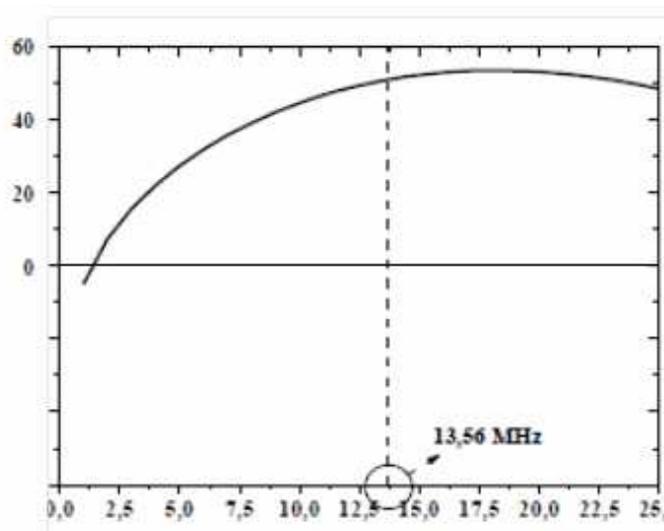


Abb. 4.13: Güte der HF Tag Antenne

Die Güte der HF Tag Antenne ist fast 40 bei 13,56 MHz. Die erforderliche Chipkapazität für eine Resonanz bei dieser Frequenz ist 14pF. Bei dieser Kapazität verschiebt sich die Resonanz um ca. 80-100 MHz, diese ist die Grenze für die Kombination beider Antennen im HF Bereich. Zu sehen in der Abbildung 4.10.

Die Geometrie hat einen großen Einfluß auf die Antennenparameter. Wenn man den Abstand zwischen den Windungen der HF Antenne auf 0.1mm vermindert, würde die Resonanzfrequenz bei etwa 18 MHz liegen. Da die Herstellung von Leitungsabständen unmöglich war, wurde bei 0.2 mm gemessen. Wenn man die Breite der UHF Antenne verändert (Mitte breiter), würde sich die Impedanz sowie der Reflexionsfaktor ändern. Der

Real- und Imaginärteil der Impedanz würde glatter und weiter nach rechts verschoben werden und  $S_{11}$  würde sich verschlechtern. Es würde auch einiges passieren, wenn die HF Antenne über die UHF Antenne eingeschlossen wäre. Siehe Abbildung 4.15.

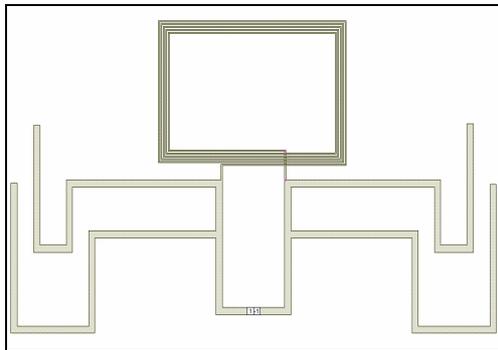


Abb. 4.14/a: Antennendesign

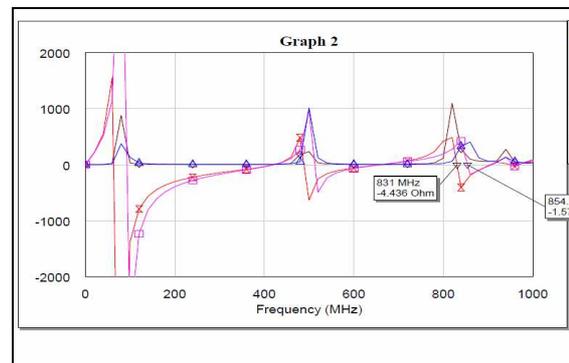


Abb. 4.14/b: Impedanz

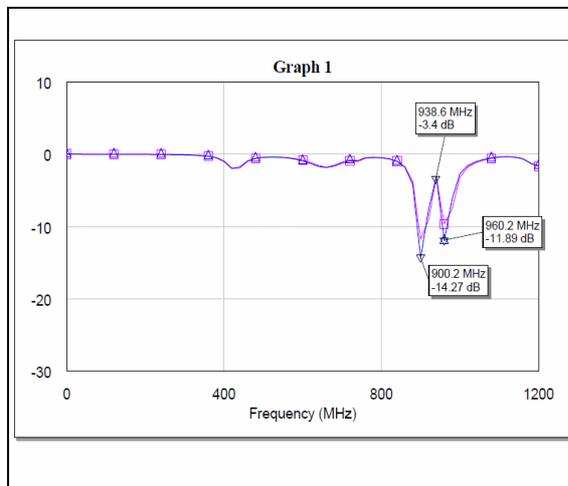


Abb. 4.14/c:  $S_{11}$

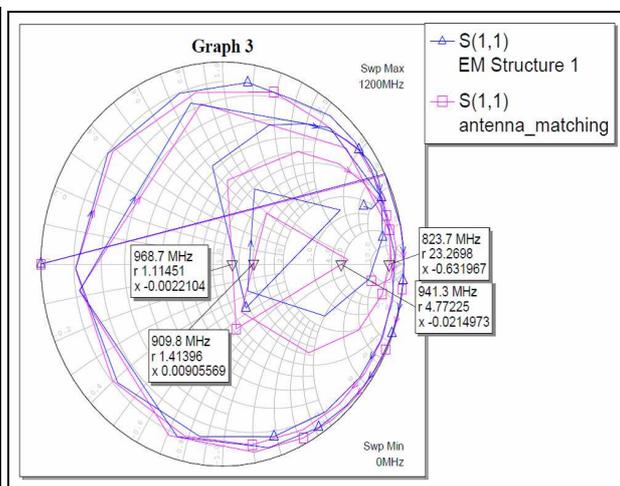


Abb. 4.14/d: Smith Diagramm

In der Graphik 1 Abb. 4.15/c sieht man deutlich, dass der Reflexionsfaktor schmalbandig wird, im Vergleich zu Abb. 4.11.

Die Ergebnisse wurden mittels CST Software erstellt. Die folgenden Abbildungen stellen die Eingangsimpedanz, den Reflexionsfaktor und das Abstrahlungsverhalten der kombinierten Antenne von 800MHz bis 1.1GHz dar.

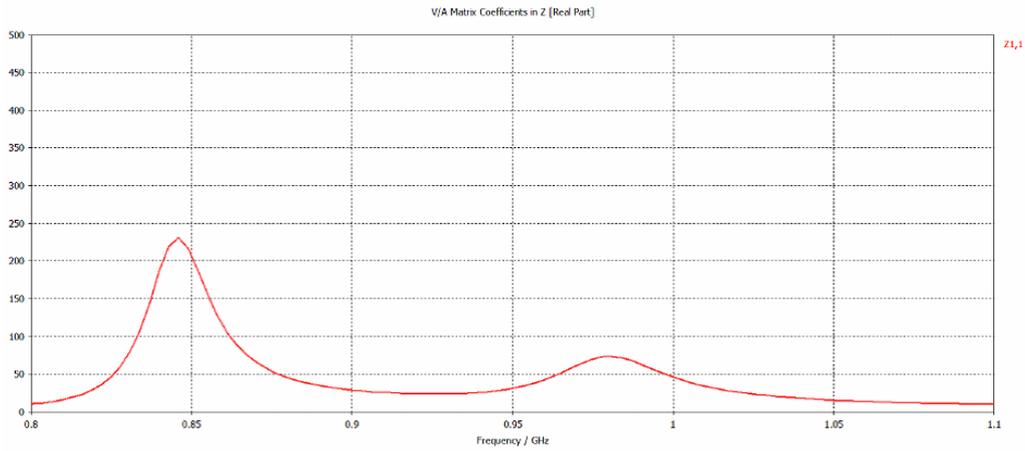


Abb. 4.15: Realteil der Impedanz der HF / UHF Antenne (CST)

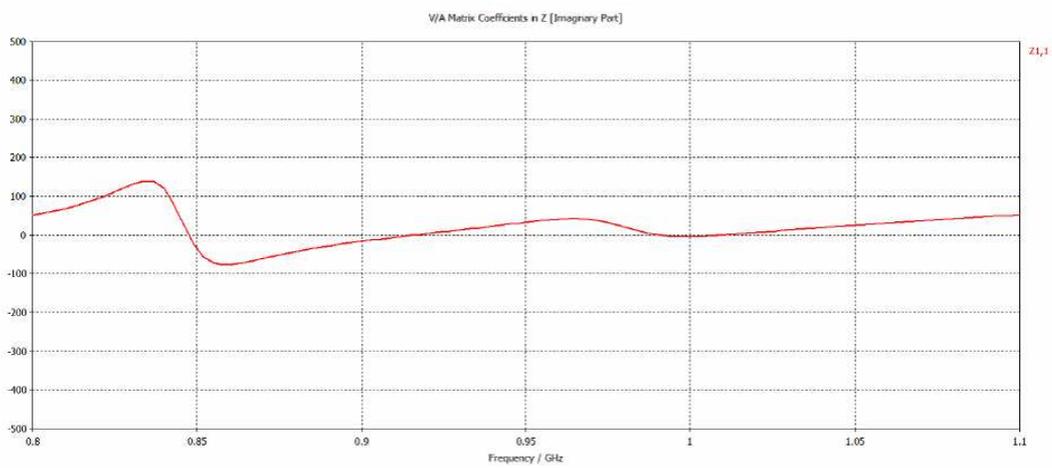


Abb. 4.16: Imaginärteil der Impedanz der HF / UHF Antenne (CST)

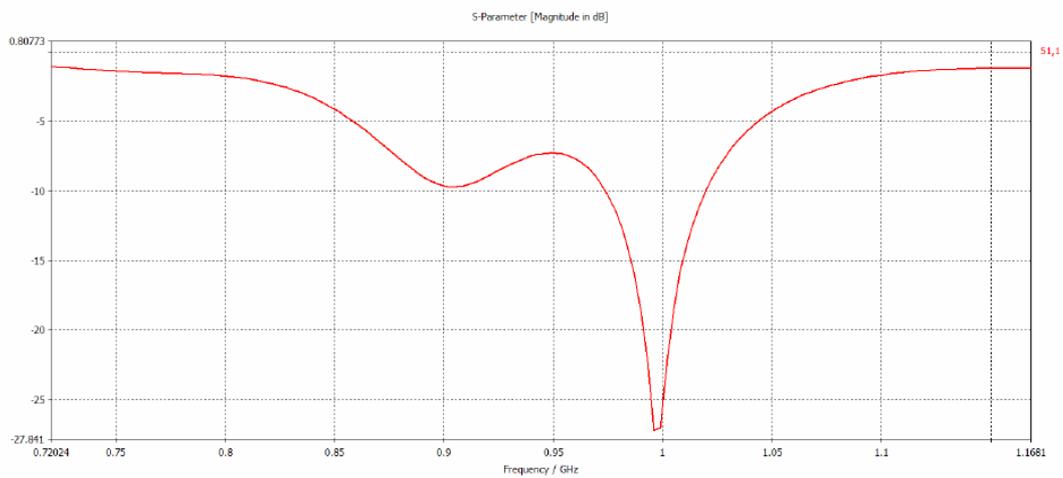
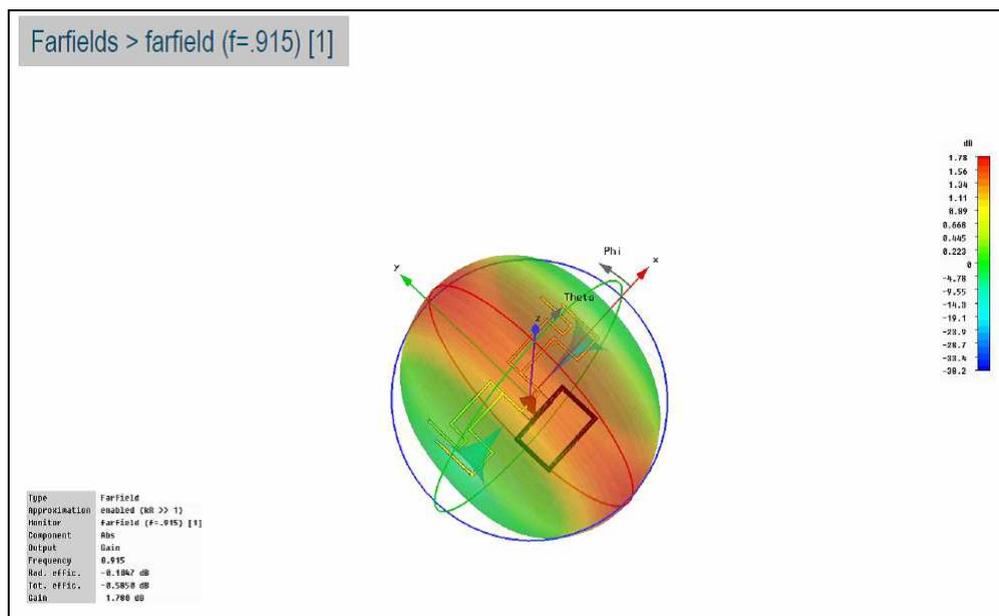
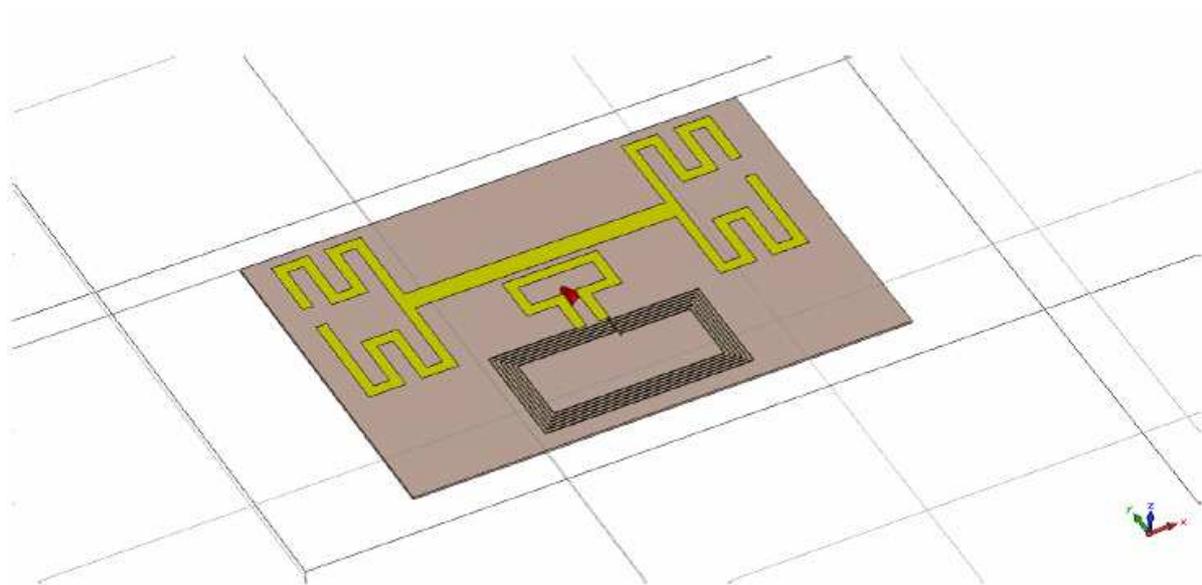


Abb. 4.17:  $S_{11}$  der HF / UHF Antenne (CST)



**Abb. 4.18:** Abstrahlungsverhalten der HF / UHF Antenne (CST)

Im folgenden wurde versucht die Dog Bone Antenne mit der HF Antenne zu kombinieren. Die Simulationsergebnisse für die Impedanz, den Reflexionsfaktor und das Abstrahlungsverhalten der Dog Bone Antenne sind in Abbildung 4.19 abgebildet. Die Ergebnisse sind im Frequenzbereich von 500 MHz - 1.1 GHz dargestellt.



**Abb. 4.19:** HF / UHF Dog Bone Antennendesign (CST)

Folgende Abbildung zeigt den Reflexionsfaktor der AWR Simulation.

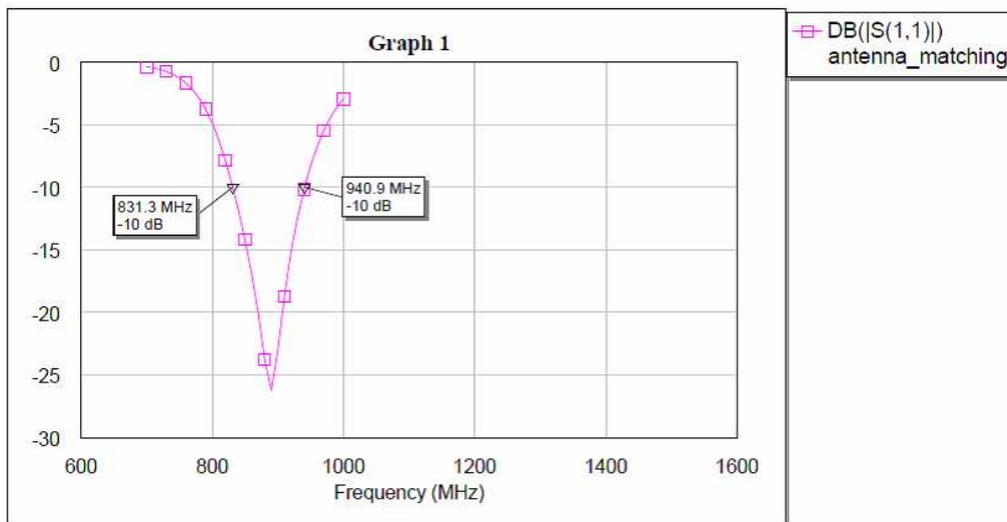


Abb. 4.20:  $S_{11}$  der HF / UHF Dog Bone Antenne (AWR)

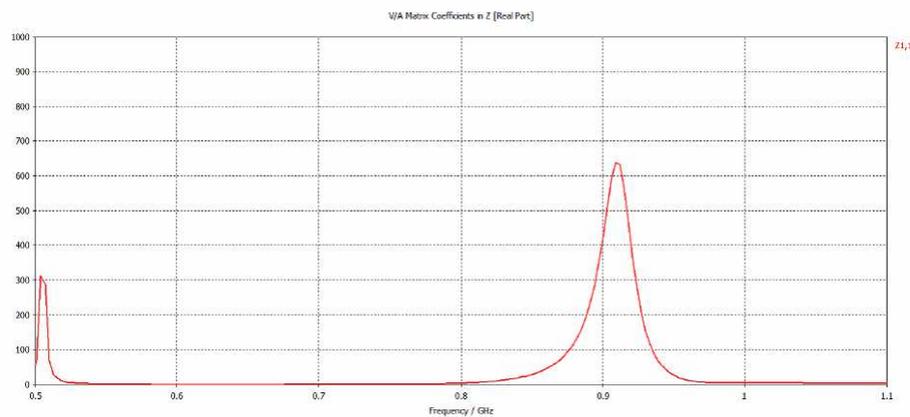


Abb. 4.21: Realteil der Impedanz der HF / UHF Dog Bone Antenne (CST)

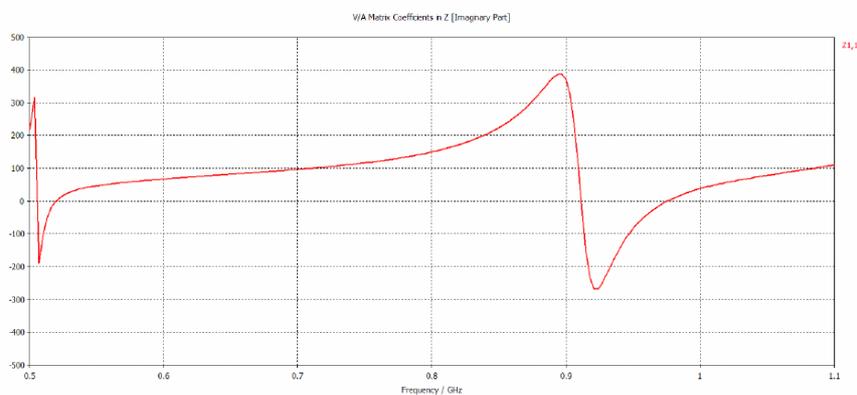


Abb. 4.22: Imaginärteil der Impedanz der HF / UHF Dog Bone Antenne (CST)

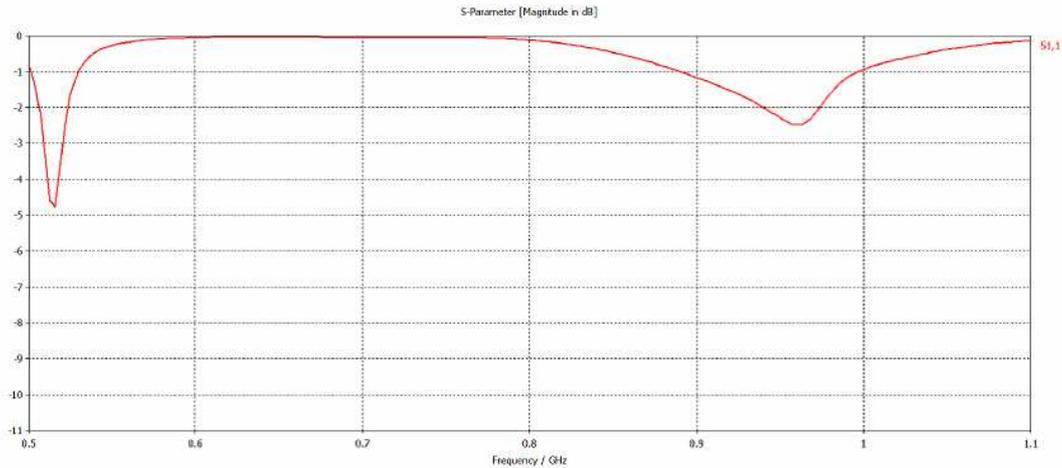


Abb. 4.23:  $S_{11}$  der HF / UHF Dog Bone Antenne (CST)

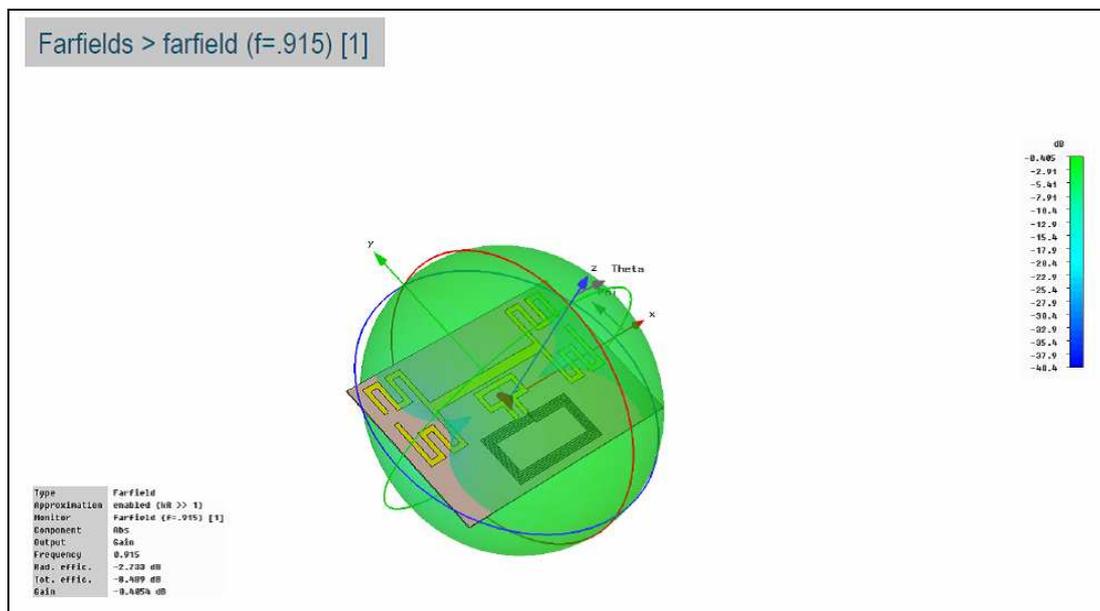


Abb. 4.24: Abstrahlungsverhalten der HF / UHF Dog Bone Antenne (CST)

Eine weitere Variation der Antenne ist in Abbildung 4.25 zu sehen. Eine einfache Maßnahme ist, direkt an den Chip in Richtung der HF Antenne zunächst eine (passend große) Induktivität anzuschließen. Dies kann eine planare Spirale als Leiterbahn sein. Für kleine Frequenzen (HF) soll sie einen geringen Widerstand besitzen, für hohe Frequenzen (UHF) hingegen einen hohen Widerstand. Da die Induktivität die richtige Struktur zur Ankopplung der HF Antenne ist, wurde hier eine Serpentinastruktur verwendet. Die Induktivität hat bei niedrigen Frequenzen eine kleinere Impedanz.

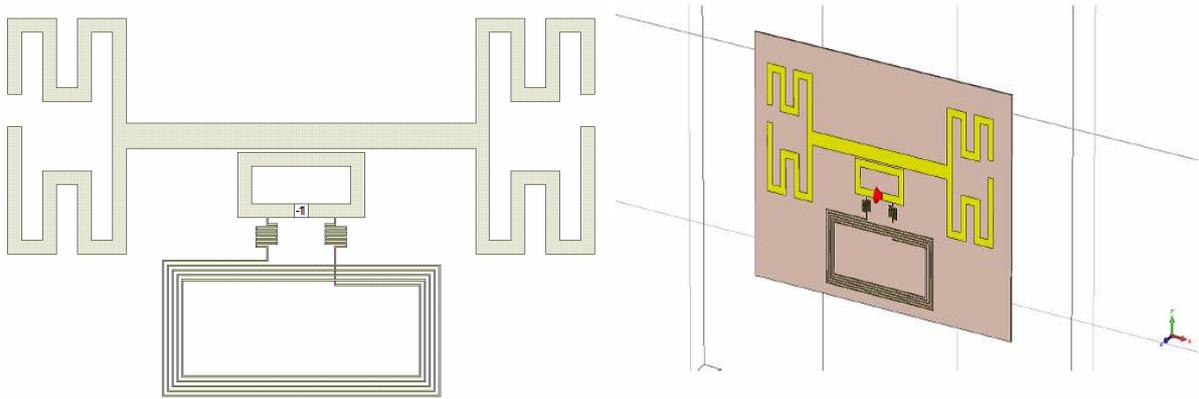


Abb. 4.25: HF / UHF Dog Bone Antennedesign Nr.2 (AWR und CST)

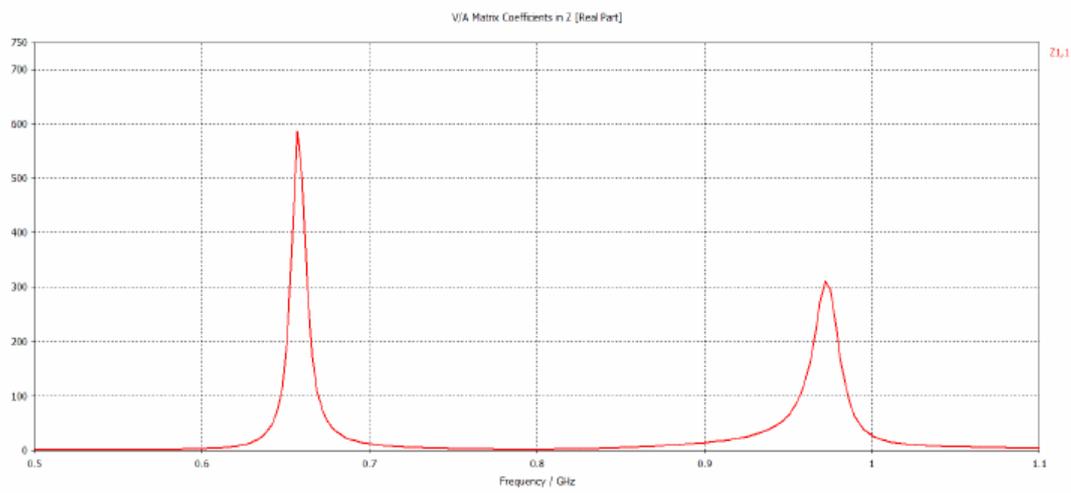


Abb. 4.26: Realteil der Impedanz der HF / UHF Dog Bone Antenne Nr.2 (CST)

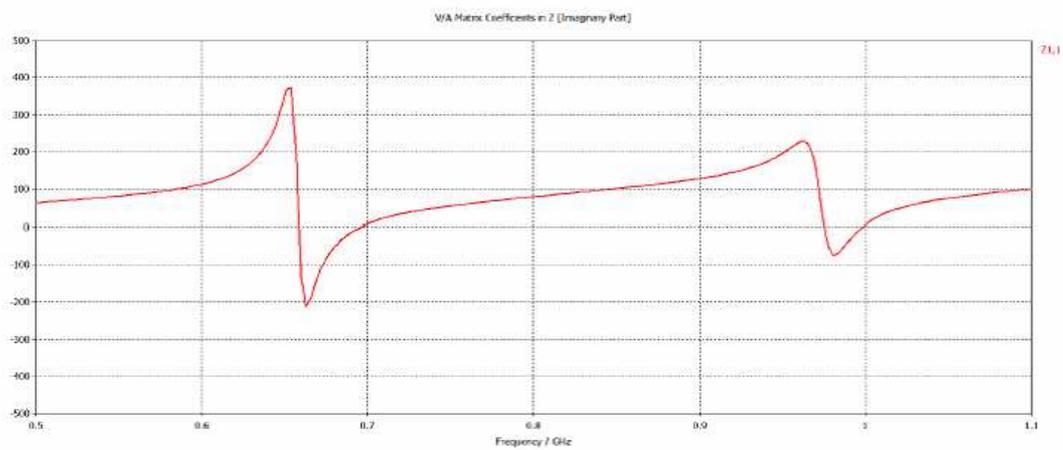


Abb. 4.27: Imaginärteil der Impedanz der HF / UHF Dog Bone Antenne Nr.2 (CST)

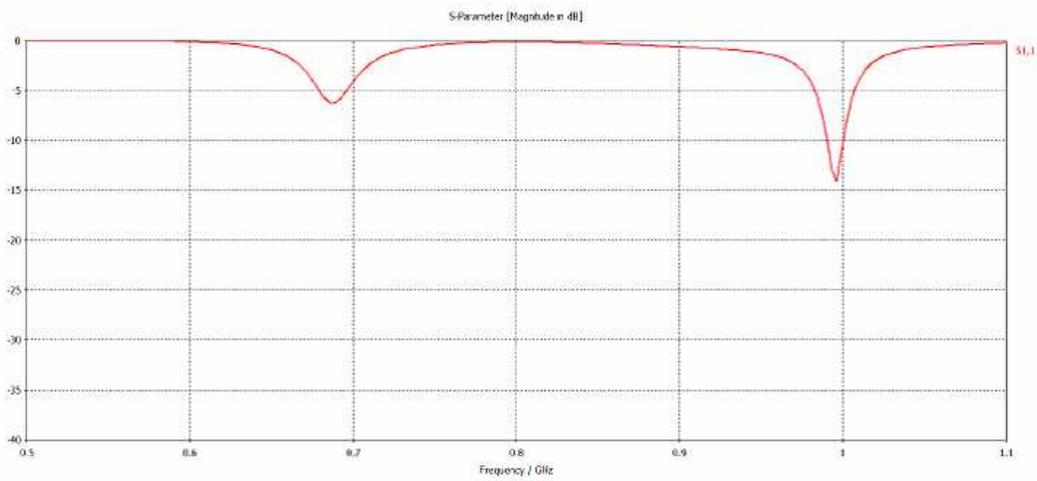


Abb. 4.28:  $S_{11}$  der HF / UHF Dog Bone Antenne Nr.2 (CST)

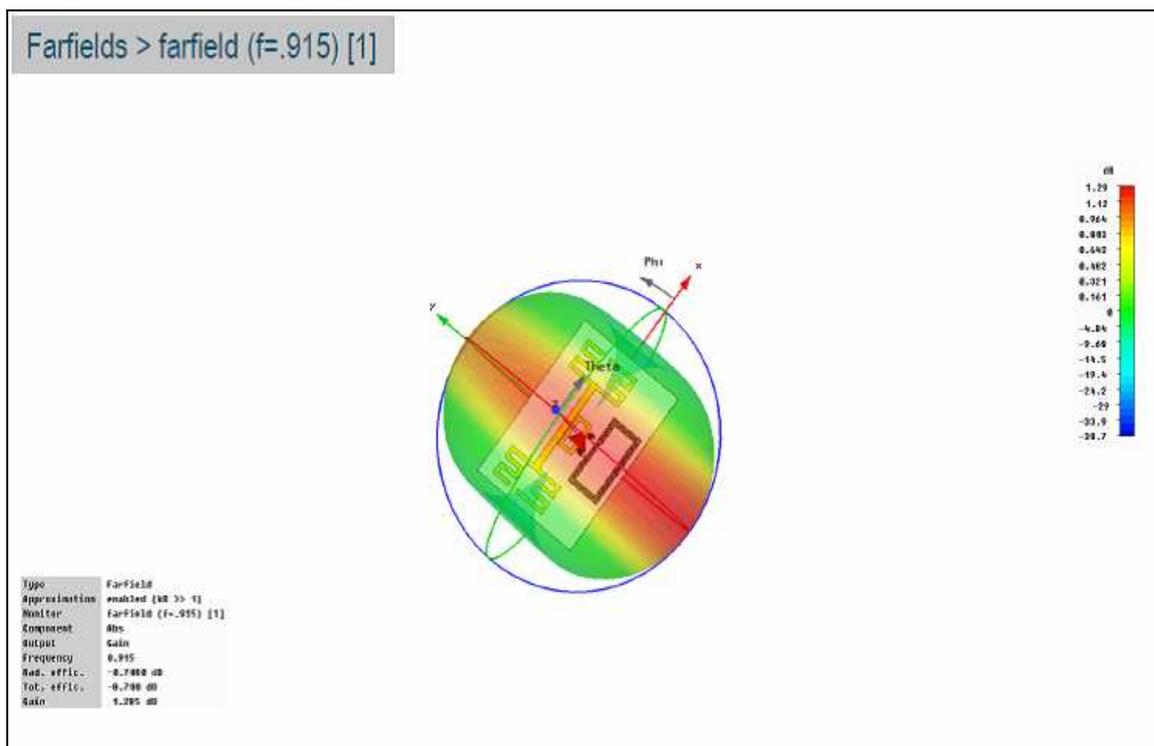


Abb. 4.29: Abstrahlungsverhalten der HF / UHF Dog Bone Antenne Nr.2 (CST)

## 5 Messungen der Antenne

In diesem Abschnitt wird die kombinierte Antenne mit dem Stecker vermessen. Für den gesamten Messvorgang werden ein Netzwerkanalysator und ein 50 Ohm Kabel verwendet. Um die Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, muss der Netzwerkanalysator kalibriert werden. Die Kalibrierung wird im Abbild 4.30 dargestellt.

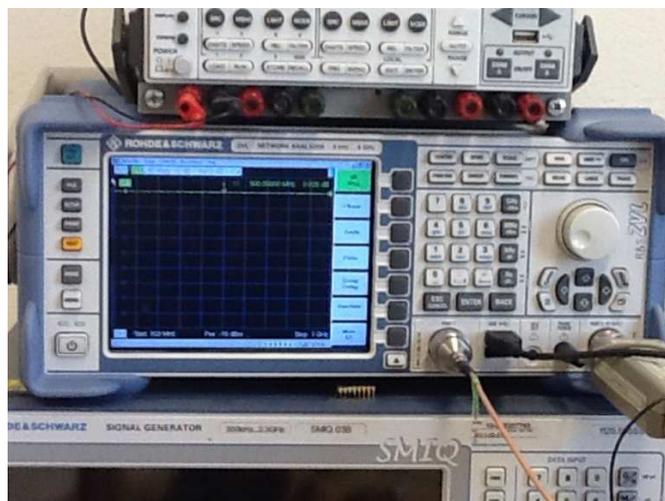


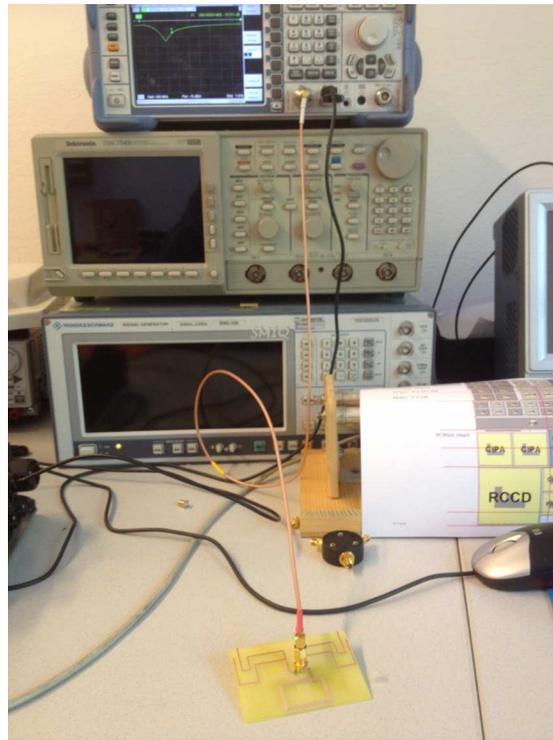
Abb. 5.1: Netzwerkanalysator



Abb. 5.2: Kalibrierstecker (calibration kit), Netzwerkanalysator und 50 Ohm Kabel

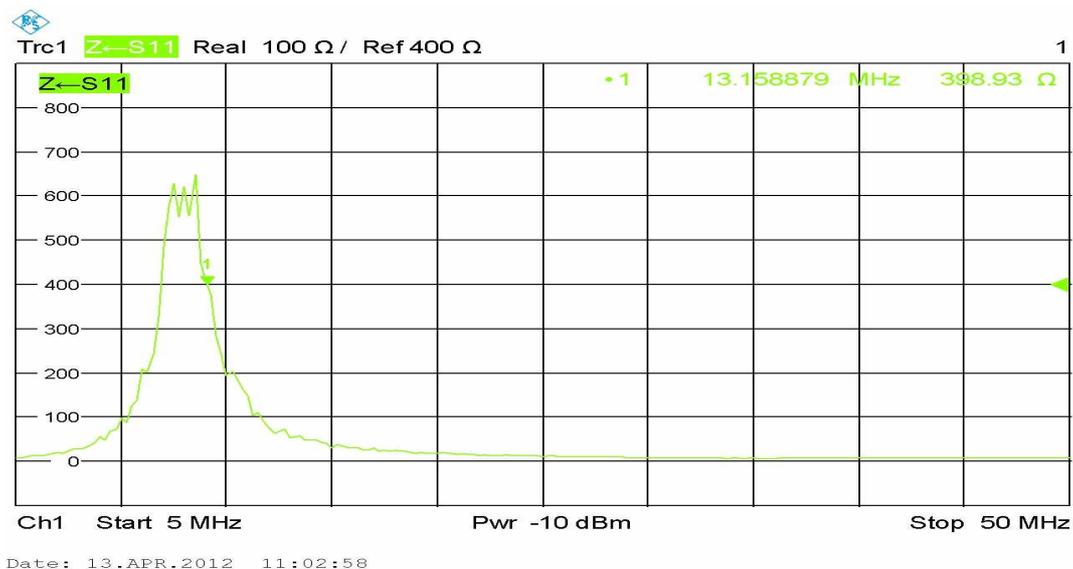
Nach der Kalibrierung wird die Antenne, ohne Chip, über ein 50 Ohm-Kabel mit dem Netzwerkanalysator verbunden. Die Messung wurde jeweils für den 450 MHz und für den HF- und UHF- Frequenzbereich durchgeführt, wobei der Reflexionsfaktor und die Impedanz

für beide Bereiche erfasst wurden. In den Graphen treten auf Grund parallel laufender Messungen kleine Abweichungen auf, jedoch wurden die Messergebnisse dadurch nicht verfälscht.



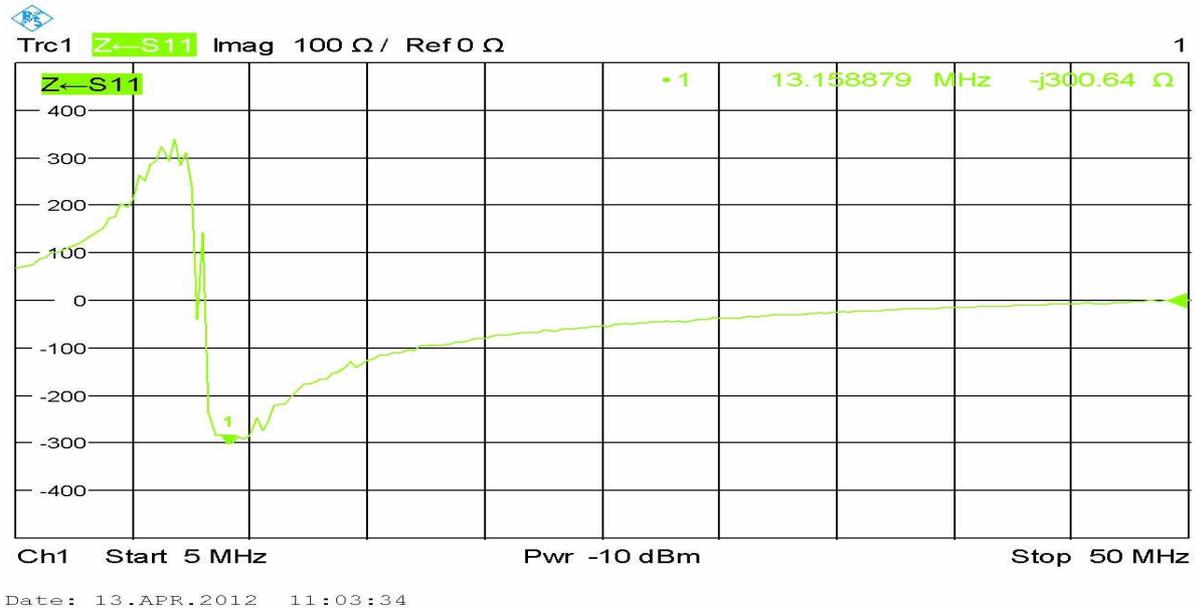
**Abb. 5.3:** Antenne mit dem Netzwerkanalysator mittels 50 Ohm Kabel verbunden

Die folgenden Abbildungen zeigen den Reflexionsfaktor und die Impedanz für den HF-Bereich.



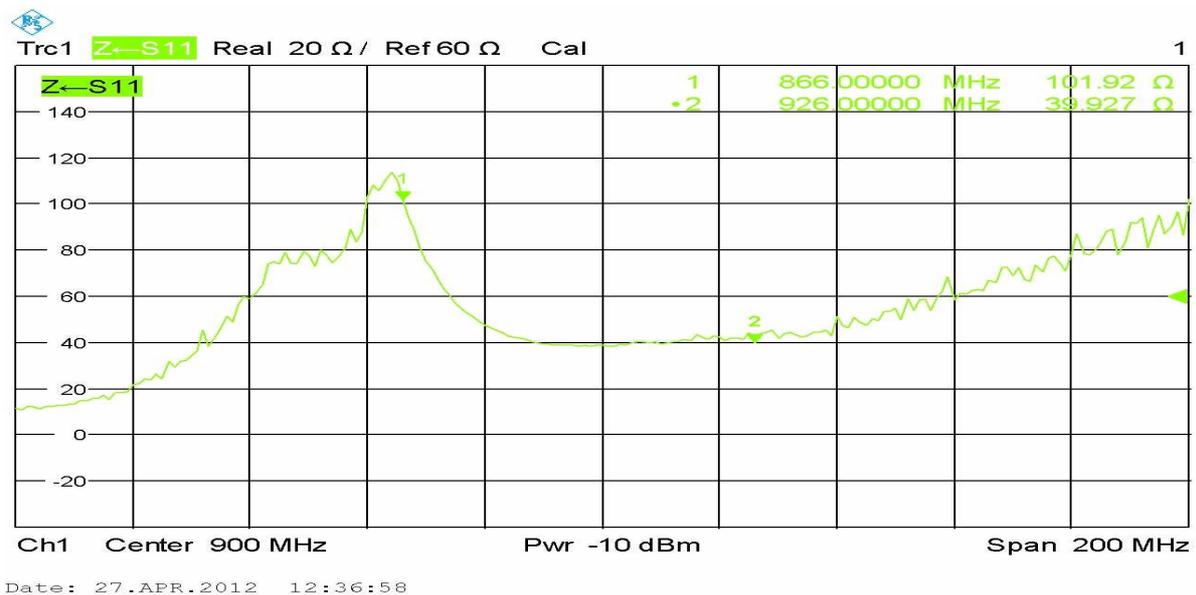
**Abb. 5.4:** Realteil der Impedanz im HF Bereich der HF / UHF Antenne

Der Realteil muss hoch ohmig sein.

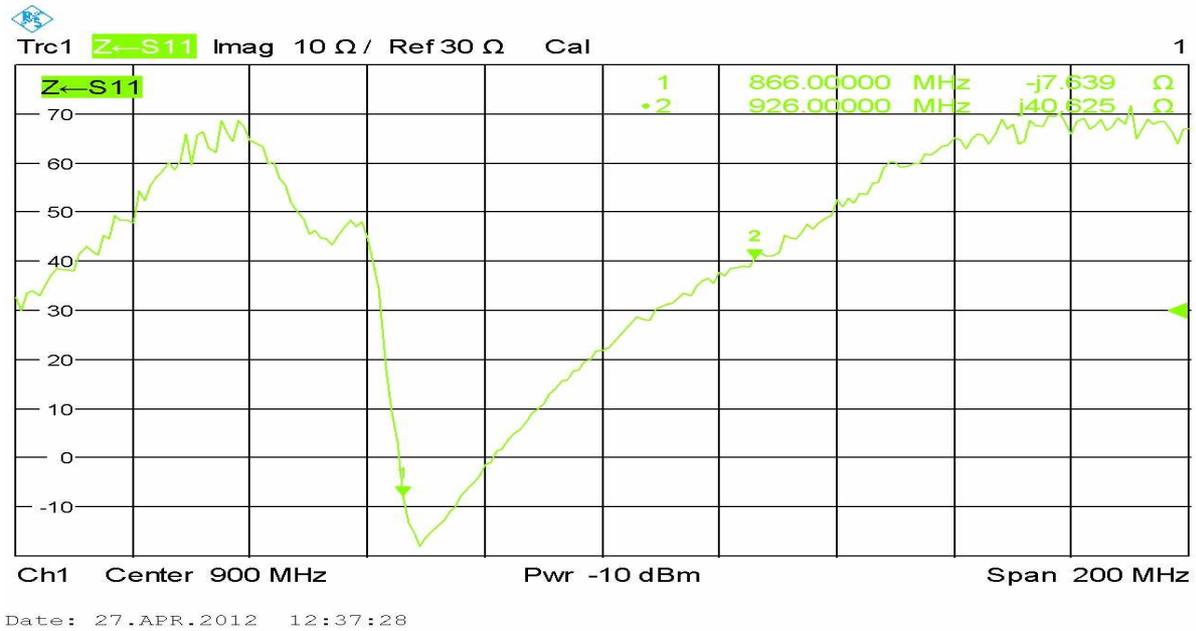


**Abb. 5.5:** Imaginärteil der Impedanz im HF Bereich der HF / UHF Antenne

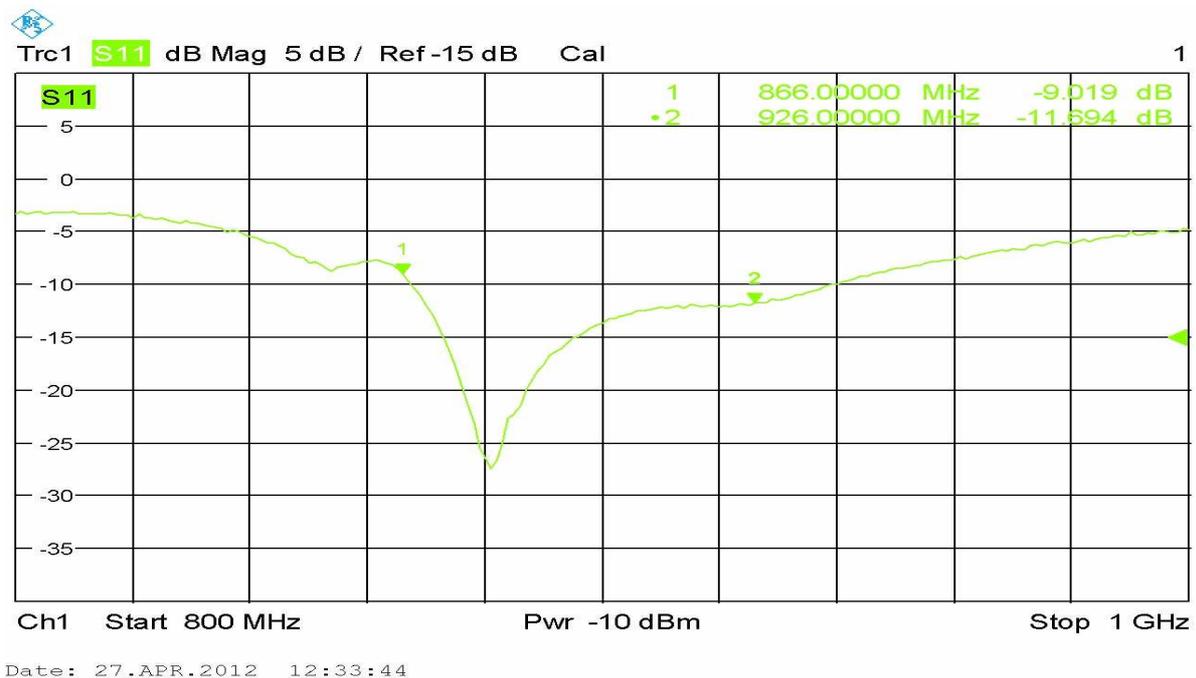
Im Weiteren werden die Ergebnisse im UHF-Bereich dargestellt, jeweils die Impedanz und der Reflexionsfaktor (Smith Diagramm) für den oberen 930MHz und unteren 866 MHz Bereich.



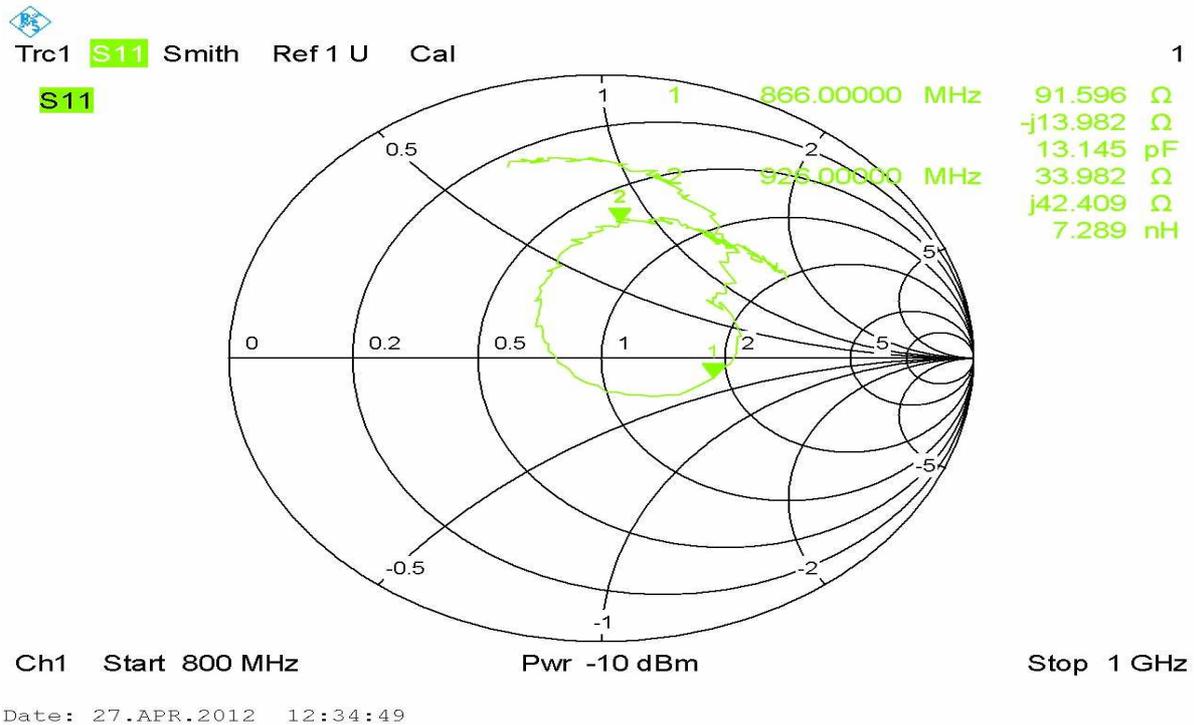
**Abb. 5.6:** Realteil der Impedanz im UHF Bereich (866 – 924 MHz) der HF / UHF Antenne



**Abb. 5.7:** Imaginärteil der Impedanz im UHF Bereich (866 – 924 MHz) der HF / UHF Antenne



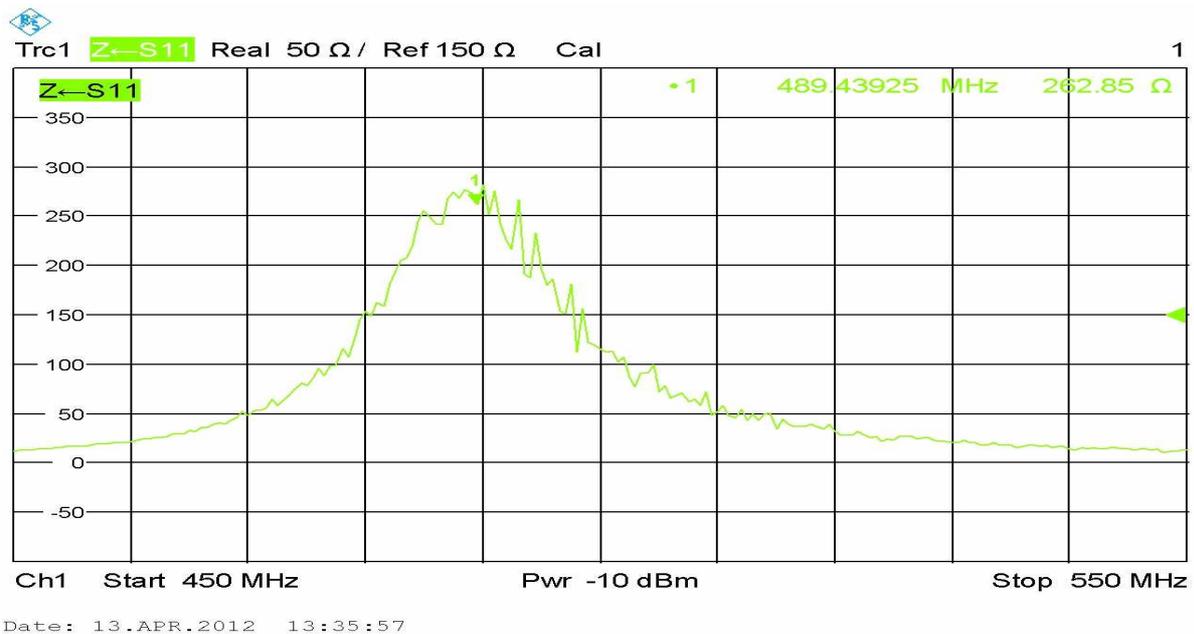
**Abb. 5.8:** Reflexionsfaktor im UHF Bereich (866 – 924 MHz) der HF / UHF Antenne



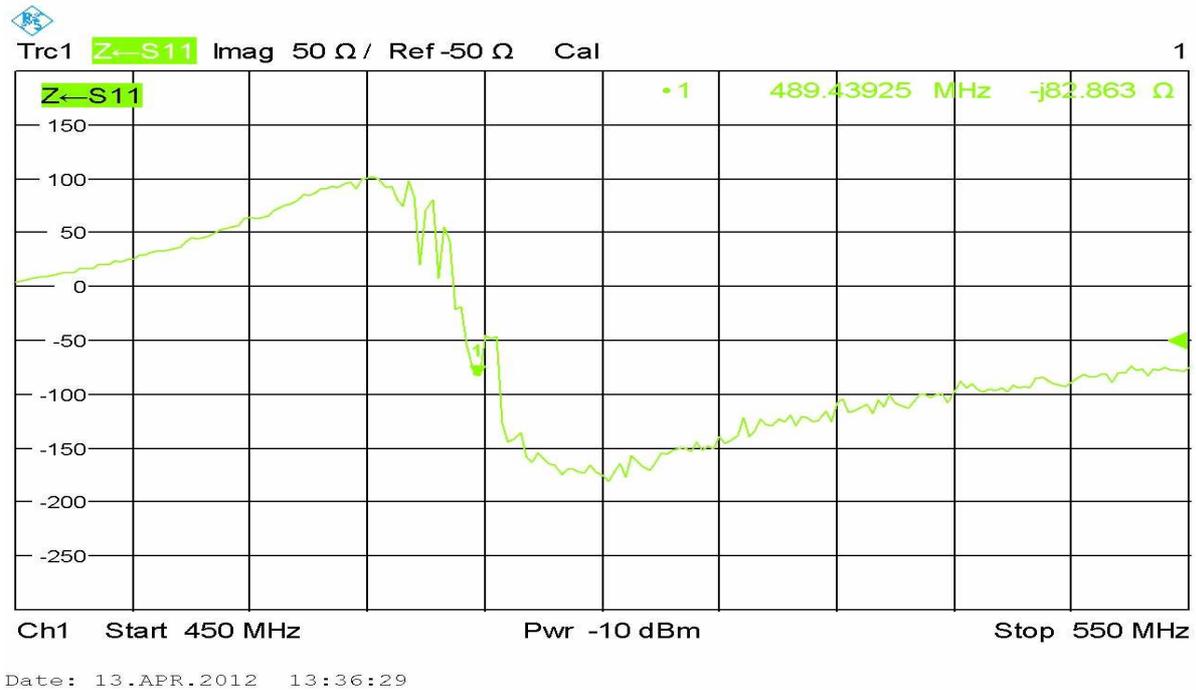
**Abb. 5.9:** Reflexionsfaktor im UHF Bereich (866 – 924 MHz) der HF / UHF Antenne

Im Smith Diagramm ist deutlich zu erkennen, dass die kombinierte HF/UHF Antenne induktiv bleibt.

Da bei der Simulationen auch eine Resonanzfrequenz zwischen 400-500 MHz zur Verfügung stand, wurden auch in diesem Frequenzbereich Messungen für die kombinierte Antenne durchgeführt. Siehe folgende Abbildungen:

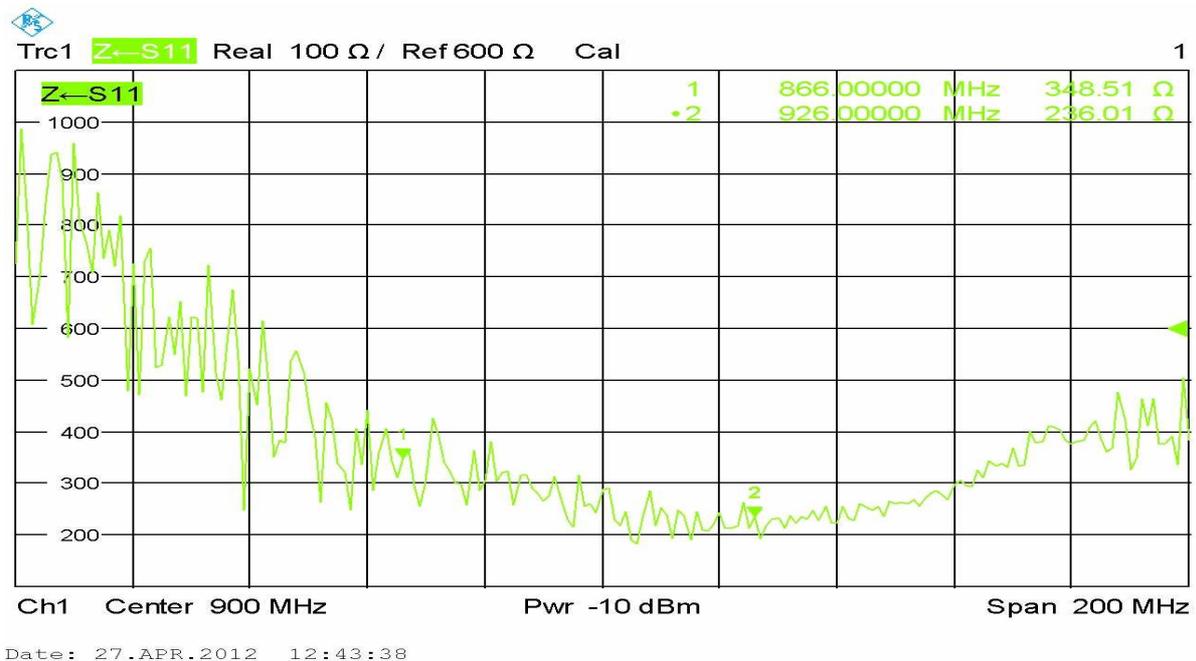


**Abb. 5.10:** Realteil der Impedanz im UHF Bereich (450 – 550 MHz) der HF / UHF Antenne

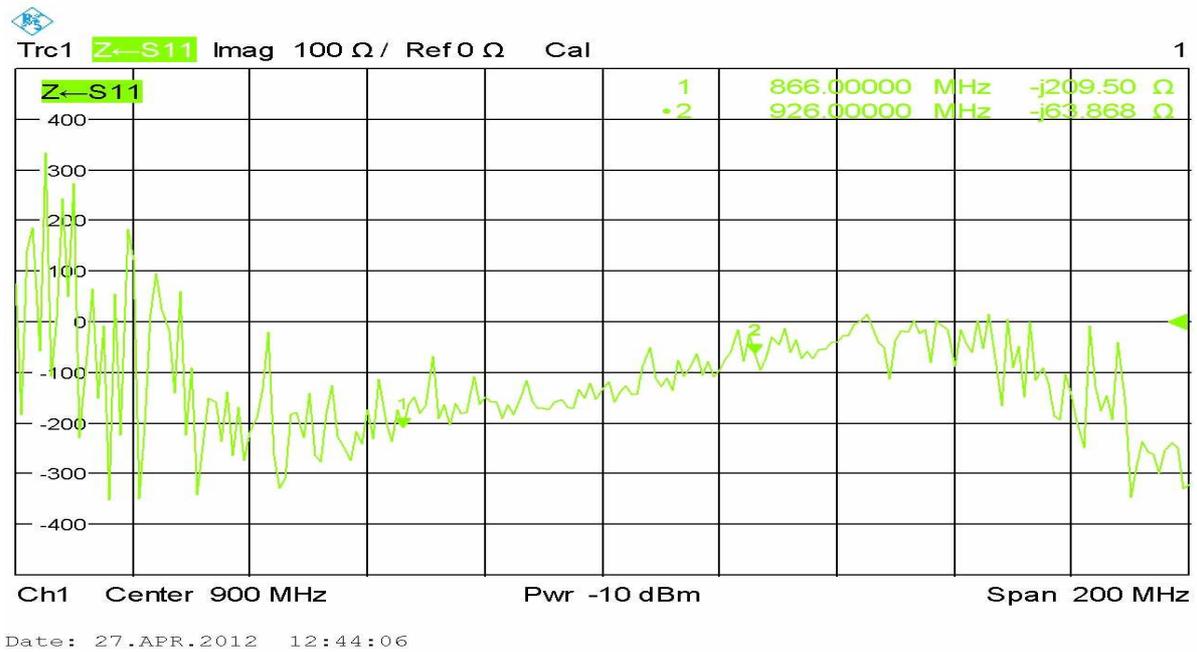


**Abb. 5.11:** Imaginärteil der Impedanz im UHF Bereich (450 – 550 MHz) der HF / UHF Antenne

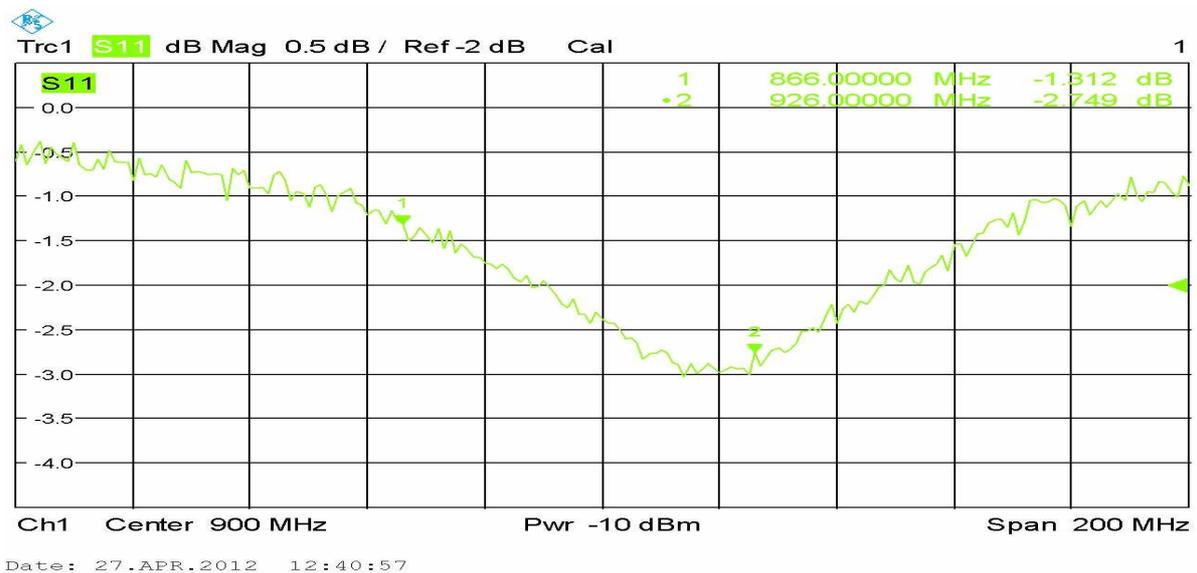
Es wurde nun noch die UHF Dog Bone Antenne gemessen und die Ergebnisse interpretiert. Vergleicht man die Ergebnisse mit jenen der Simulation, so ist daraus ersichtlich dass diese Antenne suboptimal ist.



**Abb. 5.12:** Realteil der Impedanz im UHF Bereich der Dog Bone UHF Antenne



**Abb. 5.13:** Imaginärteil der Impedanz im UHF Bereich der Dog Bone UHF Antenne



**Abb. 5.14:** Refelxionsfaktor im UHF Bereich der Dog Bone UHF Antenne

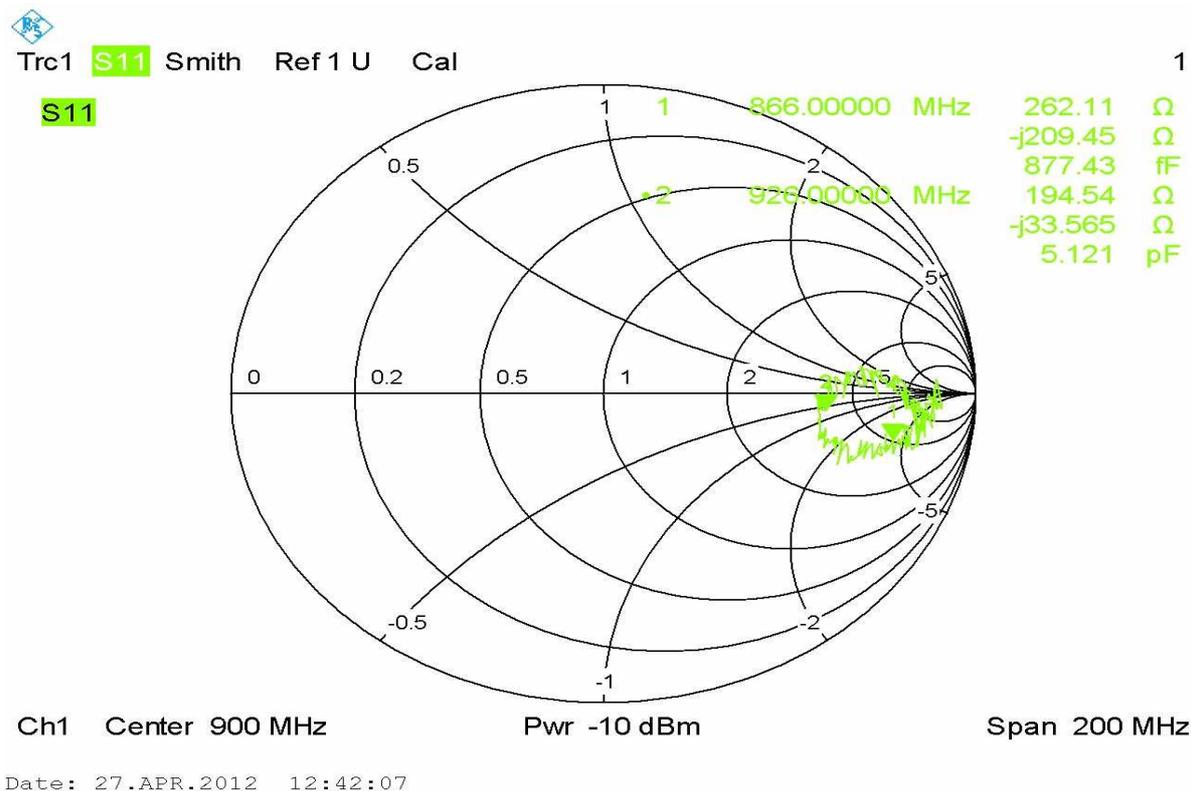


Abb. 5.15: Refelxionsfaktor mit Smith Diagramm im UHF Bereich der Dog Bone UHF Antenne

## 5.1 Reader-Tag-Antennen Messung im HF Bereich

Die Messung wird mit Hilfe eines Lesebefehls über die USB- Schnittstelle zu einem RFID HF-Reader (Feig Reader von OBID) initiiert. Der Reader aktiviert daraufhin das HF Feld und versorgt damit den batterielosen RFID Chip mit Energie. Die gewünschte Antennen Leistung konnte über eine Software im Rechner umgestellt werden. Wird das Tag aus dem HF-Feld entfernt, so bekommt der Reader auf seinen Aufruf keine Antwort und es erscheint eine Fehlermeldung. Der berührungsfreie Abfrageabstand hängt von der Leistung des HF-Readers und der Antennengröße ab und liegt typischerweise im Bereich von 10 – 30 cm.

Kenndaten:

- Übertragungsfrequenz	13.56 MHz
- Sendeleistung HF-Reader	2-3 W
- Lesereichweite typisch	10 cm
- RFID Protokoll	ISO-15693
- RFID Chip	CTS0
- Abmessung Reader Antenne	200x200mm
- Abmessung Tag Antenne	30.2x20.2mm

<sup>1</sup> für angegebene Sendeleistung und Antennengrößen

In der Abbildung 5.16 wird der HF Reader dargestellt.



Abb. 5.16: HF Feig Reader von OBID (Lesegerät)

Die Leistung wurde mit Hilfe einer Software (OBID ID ISO Program) geändert und auf den Reader gesendet. Siehe Abbildung 5.17 für Details.

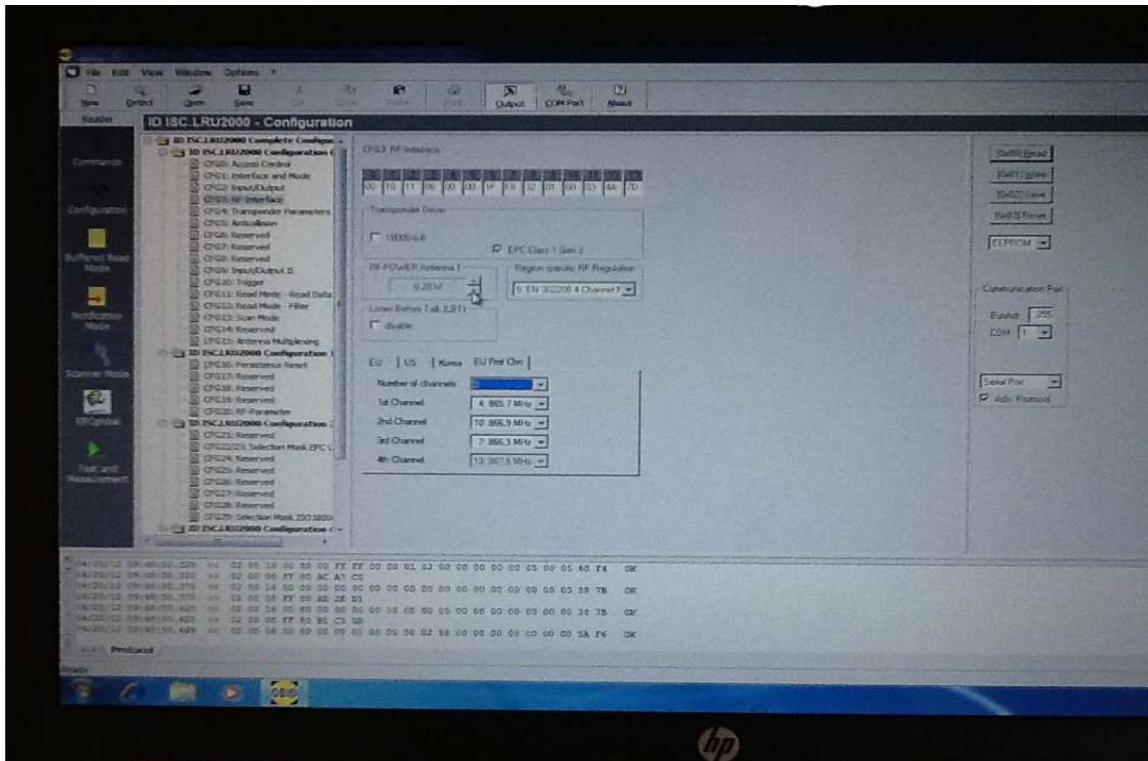


Abb. 5.17: OBID ID ISO Start Programm

An der Stelle des Cursor wird die Leistung verändert.

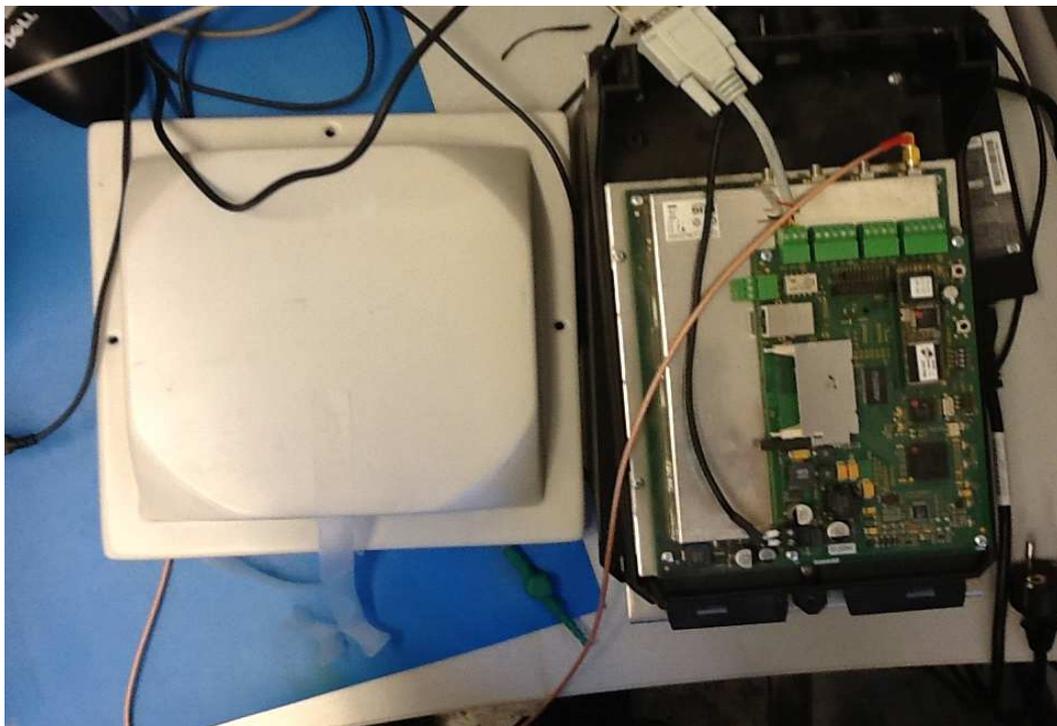
## 5.2 Reader-Tag-Antennen Messungen im UHF Bereich

Gesteuert wird die Abfrage über einen PC, sowie beim Reader im HF Bereich. Der hier eingesetzte Reader, ist ebenfalls ein Feig Reader von OBID. Die Messung wird mit Hilfe eines Lesebefehl über die USB-Schnittstelle zu einem RFID UHF-Reader initiiert. Der Reader aktiviert daraufhin das UHF Feld und versorgt damit den batterielosen RFID UHF Chip mit Energie. Die Daten werden nach dem weltweit verwendeten ISO-18000-6 (EPC Gen2 Class 1) Standard übermittelt, wenn der Reader den Tag ausgelesen hat (siehe Abbildung 5.18 und 5.19). Dann wurde mit einen Maßband die Distanz vom Reader bis zum Tag gemessen.

Kenndaten:

- Übertragungsfrequenz	868MHz
- Sendeleistung HF-Reader	0-3 W
- Lesereichweite typisch	1 m
- RFID Protokoll	ISO-18000-6 (EPC Gen2 Class 1)
- RFID Chip	CTS0
- Abmessung Reader Antenne	200x200mm
- Abmessung Tag Antenne	77.8x28mm

Der berührungsfreie Abfrageabstand hängt von der Leistung des UHF-Readers und der Antennengröße ab und liegt typischerweise im Bereich von 0.5 – 3.0m.



**Abb. 5.18:** UHF Feig Reader von OBID (Lesegerät)

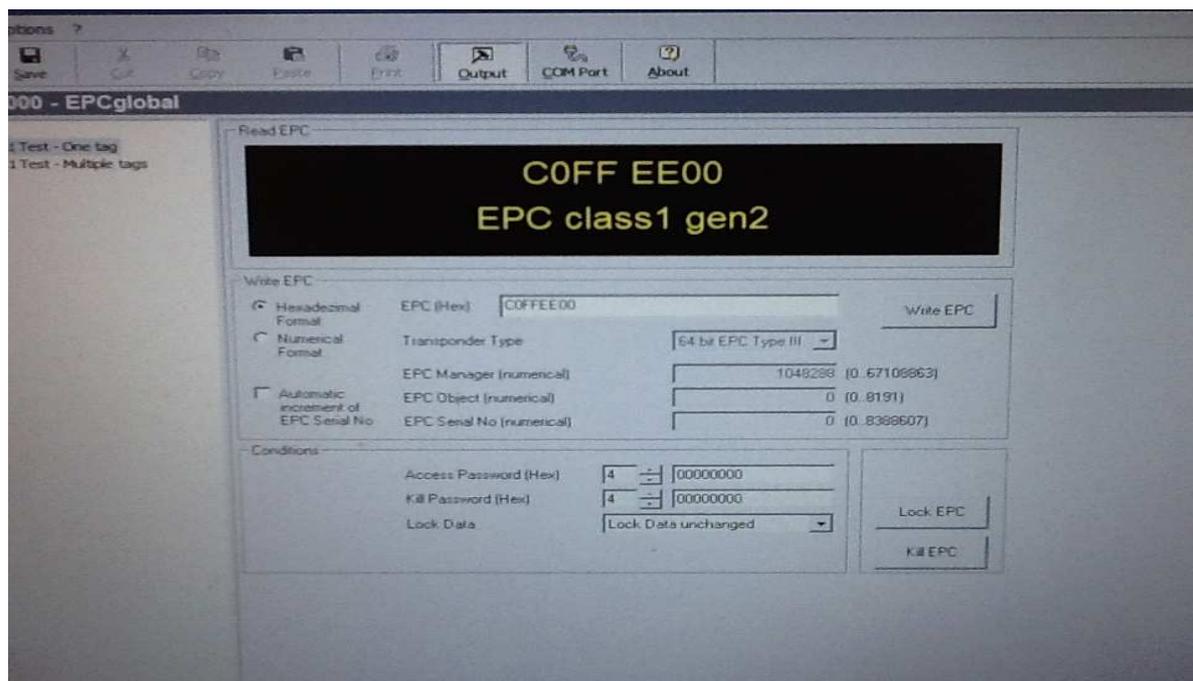


Abb. 5.19: EPCglobal Programm

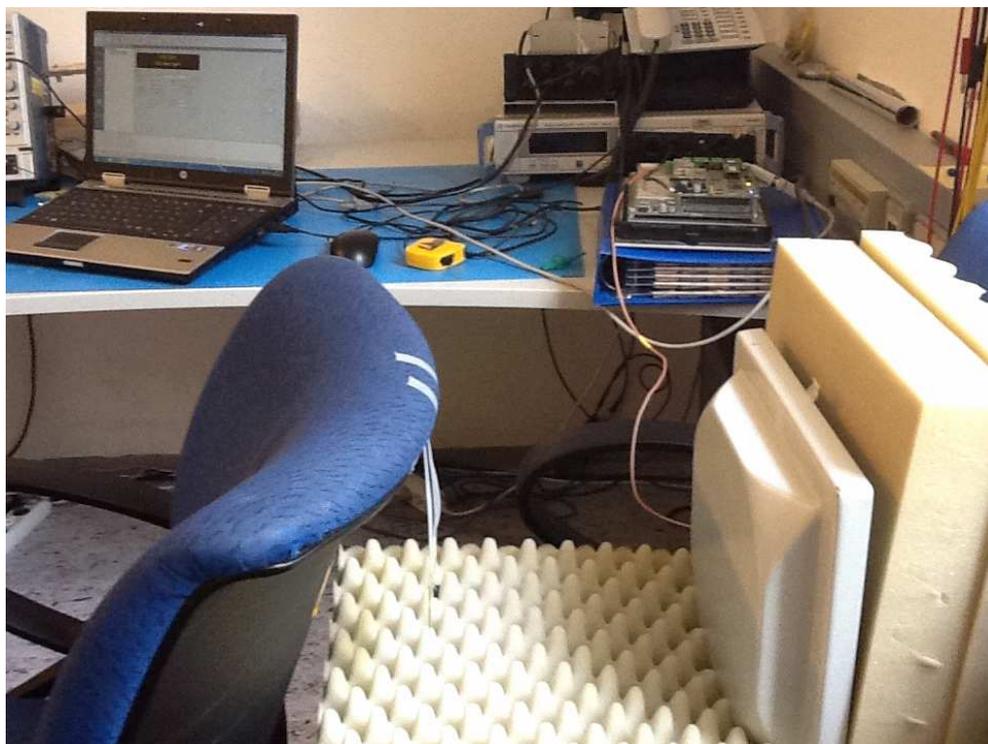
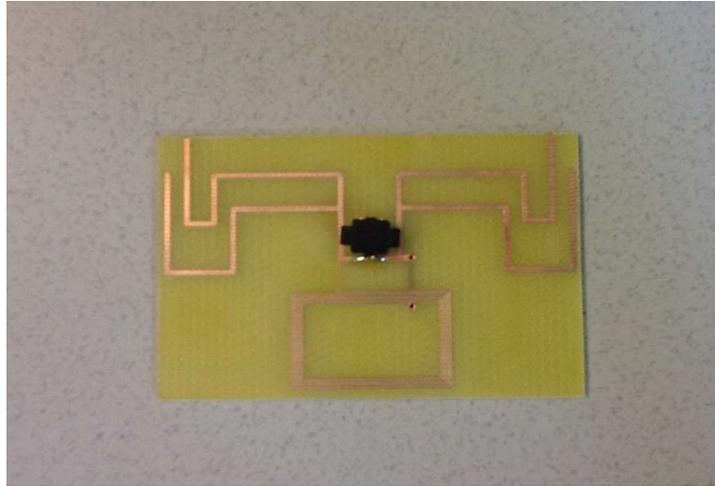


Abb. 5.20: Labor Equipment und Messablauf

Es wurde die Antenne und die Referenz Antenne auf dem Sessel befestigt und mit dieser hin und her bewegt, bis der Reader die Antenne erfasst hat. An der Stelle der Linie wurde gestoppt und der Abstand gemessen.

Folgende Abbildungen zeigen die Prototypen der Antennen, die in den Messungen verwendet wurden.



**Abb. 5.21:** Kombinierte HF / UHF Antenne mit Chip



**Abb. 5.22:** UHF Dog Bone Antenne mit Chip

Abbildung 5.23 zeigt die ideale Dipol-Antenne die als Referenz Antenne verwendet wurde.



**Abb. 5.23:** Ideale Dipol-Antenne mit Chip

### 5.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse im UHF Bereich

In der folgenden Tabelle wurden die Ergebnisse zusammengefasst. Es wurde die kombinierte Antenne und Dog Bone Antenne gemessen. Nebenbei wurde auch eine ideale Dipol-Antenne

und eine NXP UHF Antenne als Referenz Antennen gemessen, um die Ergebnisse vergleichen zu können.

Leistung	UHF idealer Dipol Antenne	NXP Referenz Antenne	Kombinierte HF/UHF Antenne	UHF Dog Bone Antenne
0.3 W	0.54 m	3.50 m	0.60 m	0.20 m
0.6 W	1.26 m	3.50 m	0.80 m	0.40 m
0.9 W	1.50 m	3.50 m	1.10 m	0.45 m
1.2 W	1.65 m	3.50 m	1.40 m	0.50 m
1.5 W	2.00 m	3.80 m	1.60 m	0.60 m
1.8 W	2.00 m	4.20 m	2.00 m	1.00 m
2.1 W	2.10 m	4.60 m	2.30 m	1.20 m
2.4 W	2.20 m	5.60 m	2.50 m	1.50 m
2.7 W	2.30 m	6.60 m	2.70 m	1.50 m
3.0 W	2.50 m	7.20 m	3.00 m	1.70 m

**Tabelle 5.1:** Überblick der Messergebnisse

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Zuge dieser Arbeit wurde ein detailliertes Design für ein hohes Frequenzverhältnis der kombinierten Antenne präsentiert. Simulierte und gemessene Ergebnisse wurden angegeben, um die Funktionalität im HF- als auch dem UHF-Bereich zu bestätigen. Diese Arbeit hat sich mit der Optimierung der Antennengröße auseinandergesetzt. Tests mit einem RFID-Chip an der Antenne wurden durchgeführt. Die entworfene kombinierte Antenne könnte als RFID-Tag zu einem gängigen Produkt werden. Somit wird eine breitere Einführung von RFID-Systemen bestätigt.

HF ist die klassische und sichere Art der Kommunikation in RFID und benötigt daher mehr Strom, woraus die 10 cm Lesereichweite resultiert. Im Gegensatz dazu besitzt UHF eine große Reichweite von ca. 10m. Diese führt zu einer Richtwirkung, sodass man in relativ kurzer Zeit viele Tags auslesen kann. Aufgrund der geringen Leistung hat man wenig Sicherheit, d.h. im Wesentlichen handelt es sich nur um eine Seriennummer.

Im HF-Bereich existiert in der Anwendung Kryptographie, z.B. bei Payment-Anwendungen, eine RSA-Verschlüsselung mit 1200 byte Länge um die Sicherheit zu gewährleisten. Die Größenordnung der Leistung liegt im HF-Bereich bei 5mW. Im UHF-Bereich liegt diese bei einer Größenordnung von 1-50mW. Im HF-Bereich arbeitet normalerweise ein Prozessorchip und im UHF-Bereich eine State-Maschine.

### 6.1 Idee für die Anwendung

Es stellt sich die Frage: Wo könnte die Antenne eingesetzt werden?

Die entwickelte kombinierte Antenne könnte zur gleichzeitigen Zahlungs- und Zugangskontrolle verwendet werden. Wenn eine Person, welche ein Tag mit sich führt, in die Nähe eines Readers kommt, so könnte diese Person registriert werden und deren Daten ausgelesen werden. Dies könnte man als Paymentfunktion realisieren, z.B. als RFID-Uhr oder -Patch für einen Freizeitpark über welche man alle Zahlungen tätigen kann. Die Zugangskontrolle würde über den HF-Bereich erfolgen und der UHF-Bereich würde zur Zugangskontrolle der einzelnen Attraktionen dienen.

## 7 Referenzliste

- [1] **K. Finkenzeller:** *RFID-Handbuch*, Carl Hanser Verlag, Kösel, 3. Auflage, 2002
- [2] **K. Simonyi:** *Theoretische Elektrotechnik*, Bad Langensalza, Johann Ambrosius Barth, 10. Auflage, 1993
- [3] **M. Gebhart:** *RFID System*, Skriptum, 2011
- [4] **C. A. Balanis:** *Antenna Theory*, John Wiley & Sons, Third Edition, 2005
- [5] **K. V. Seshagiri Rao:** *Antenna Design for UHF RFID Tags & A Review and a Practical Application*, Senior Member, IEEE, Pavel V. Nikitin, Member, IEEE, and Sander F. Lam: *Optical fibres, cables and systems*, International Telecommunication Union Manual, 2009
- [6] **V. G. Welsby:** *The Theory and Design of Inductance Coils*, John Wiley and Sons, Inc., 1960
- [7] **F. W. Grover:** *Inductance Calculations Working Formulas and Tables*, Dover Publications, Inc., New York, 1946
- [8] **Lukas W. Mayer:** *Antenna design for future multi-standard and multi-frequency RFID systems*, Juni 2009
- [9] **R. Escovar, S. Ortiz, and R. Suaya:** *An improved long distance treatment for mutual inductance*, IEEE Trans. Computer-Aided Design, vol. 24, no. 5, pp. 783-793, May 2005
- [10] -----, "Mutual inductance between intentional inductors: closed form expressions," in Proc. Circuits and Systems, pp. 2448-2452, Sep. 2006
- [11] **S. Hackl, C. Lanschutzer, P. Raggam, and W. L. Randeu:** *A novel method for determining the mutual inductance for 13.56MHz RFID systems*, in Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, pp. 297-300, Aug. 2008
- [12] Microchip Technology Inc.: *Antenna circuit design for RFID applications*, 2003
- [13] **Der hertzsche Dipol:**  
<http://www.schule-bw.de/unterrichtsfächer/physic/online.htm>, 2007
- [14] **H. Hertz:** *Die Kräfte elektrischer Schwingungen behandelt nach der Maxwellschen Theorie*, Annalen der Physik und Chemie, vol. 36, pp. 1-22, 1889

- 
- [15] **H. A. Wheeler:** *Fundamental limitations of small antennas*, Proceedings of the IRE, vol. 35, no. 12, pp. 1479-1484, Dec. 1947
- [16] -----, "The calculation of the mutual inductance of circular filaments in any desired positions," Proceedings of the IRE, pp. 620-629, Oct. 1944
- [17] *Identification Cards - Contactless Integrated Circuit(s) Cards - Vicinity Cards*, Part 1: Physical Characteristics, ISO/IEC Std. 15693-2:2006, 2000
- [18] *Information Technology - Radio Frequency Identification for Item Management - Part 6: Parameters for Air Interface Communications at 860MHz to 960 MHz AMENDMENT 1: Extension with Type C and Update of Types A and B*, ISO/IEC 18000-6:2004 AMD 1:2006, 2002
- [19] *Using Elektromagnetic Analysis for RFID Antenna Design*, Sonnet Application Note SAN-206A, Design Examples for 13.56 MHz and 900 MHz RFID Antenna. Feb 2006
- [20] **H. Greenhouse:** *Design of planar rectangular Microelectronic*, Parts, Hybrids and Packaging, *IEEE Transactions on* vol. 10, no.2, pp 101-109. 1974
- [21] **RFID Antenna:**  
. [http://survival.sentiencity.net/blog/wp-content/uploads/2010/08/RFID\\_antenna.jpg](http://survival.sentiencity.net/blog/wp-content/uploads/2010/08/RFID_antenna.jpg)
- [22] **L. Josefsson & P. Persson:** *Conformal Array Antenna Theory and Design*, The IEEE Press Series Electromagnetic Wave Theory, Donald G. Dudley, Series Editor
- [23] **UHF Antenna Design:** NXP, AN 1629 UHF RFID Label Antenna Design, Application note, Rev. 1.0 — 05.09.2008
- [24] **Wikipedia:** *HF RFID Tag*, <http://de.wikipedia.org/wiki/RFID>
- [25] **Wikipedia:** *UHF RFID Tag*, <http://de.wikipedia.org/wiki/RFID>
- [26] **AWR Microwave Office (AWRDE):** Getting Started Guide
- [27] **CST Studio Suite:** Getting Started Guide
- [28] **Eagle:** Getting Started Guide