

Entwicklung eines Messaufbaus für die Bestimmung der Systemperformance eines UHF RFID-Systems

Diplomarbeit

Armin Kovačević

Institut für Hochfrequenztechnik (IHF)
Technische Universität Graz
Leiter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Bösch



unterstützt durch Infineon Technologies Austria AG

Begutachter:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Bösch

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Erich Leitgeb

Betreuer: Dipl.-Ing. Günter Hofer (Infineon)

Graz, im März 2011



Never stop thinking

Diese Diplomarbeit wurde unterstützt von
Infineon Technologies Austria AG
Development Center Graz
Abteilung Contactless and RF Exploration
Leitung Holweg Gerald

Kurzfassung

Ziel dieser Diplomarbeit war es ein Messsystem zu realisieren, welches die Performance eines UHF RFID Systems (UHF Chip mit entsprechender Antenne + UHF Reader Antenne) bestimmt. Dies umfasst einen kompletten Messaufbau inklusive einer in LabVIEW entwickelten Software über welche das Gesamtsystem angesteuert, so wie die aufgenommenen Daten interpretiert und ausgewertet werden können. Das System ist in der Lage das Backscatter Signal eines UHF RFID Transponders zu detektieren, es auszuwerten und graphisch darzustellen. Die entwickelte Messeinheit wurde auf ihre Funktionstüchtigkeit getestet und einer Evaluierung im Labor unterzogen.

Schlüsselwörter: UHF RFID, Backscatter, Messsystem

Abstract

The goal of this diploma thesis was to develop a measurement system which evaluates the performance of an UHF RFID System (UHF Chip with appropriate antenna + UHF reader antenna). The measurement setup is based on custom software developed in LabVIEW which manages the hardware part. The system detects the backscatter signal of an UHF RFID transponder, collects the measured data and displays it graphically. The developed measurement system was evaluated by practical tests in the laboratory.

Keywords: UHF RFID, Backscatter, Measurement system

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

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.

.....

date

.....

(signature)

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Infineon Technologies Austria AG sowie Herrn Dipl.-Ing. Gerald Holweg ganz herzlich für die Ermöglichung meiner Diplomarbeit bedanken. Mein Dank gilt vor allem meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Günter Hofer für das hervorragende Arbeitsklima, die fachliche Kompetenz sowie sein Engagement während meiner Beschäftigung bei Infineon Technologies.

Ein besondere Dank gilt meinen beiden Betreuern an der Technischen Universität Graz Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Bösch und Ao.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. Erich Leitgeb vom Institut für Hochfrequenztechnik (IHF), für die Betreuung und Unterstützung nicht nur im laufe meiner Diplomarbeit sondern auch während meines Studiums an der TU Graz.

Für den seelischen Rückhalt bedanke ich mich vor allem bei meiner Mutter, meinem Vater sowie meiner Schwester, für all die Liebe mit der sie mein Studium unterstützt und diese Danksagung erst ermöglicht haben. Sie waren immer mein Rückhalt und eine große Stütze in meinem Leben. Des Weiteren möchte ich meinen Freunden, Mitbewohnern und Studienkollegen für eine unvergessliche Zeit in Graz danken, sowie meiner Liebe Alma, die mich stets motiviert hat und mir in schweren Zeiten zu Seite stand.

Armin Kovacevic

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Zielsetzung	1
1.2	Gliederung der Diplomarbeit	2
2	RFID-Technologie	3
2.1	Standards	4
2.2	Frequenzbereich	5
2.3	Komponenten eines RFID-Systems	6
2.3.1	Reader	6
2.3.2	Transponder	7
2.3.3	Energieversorgung und Kommunikation	8
2.3.4	Kommunikation	10
3	Entwicklung des Messsystems	13
3.1	Anforderung an das Messsystem	13
3.2	UHF RFID Performance Charakteristiken	16
3.2.1	Tag IC (Integrated Circuit)	17
3.2.2	UHF Tag Antenne	17
3.2.3	Impedanzanpassung	19
3.3	Einflüsse der Umgebung auf die Tag Performance	21
3.4	Messumgebung	23
3.4.1	Die Absorberkammer (Anechoic chamber)	23
3.4.2	Die GTEM-Zelle (Gigahertz Transverse Electromagnetic Cell)	24
3.4.3	Freifeld-Messung	25
3.4.4	Das Labor als Messumgebung	25
3.5	Das UHF RFID Performance Messsystem	27
3.5.1	Der Aufbau	27
3.5.2	Die System Komponenten	30
3.6	Die Ansteuer- und Auswerteeinheit	39
3.6.1	Der Programmaufbau	44
4	Evaluierung des Messsystems	54
4.1	Der Messaufbau	54

4.2	Die Messversuche	56
4.2.1	Messversuch 1	56
4.2.2	Messversuch 2	57
4.2.3	Messversuch 3	62
5	Zusammenfassung und Ausblick	64
	Literaturverzeichnis	65

Abbildungsverzeichnis

1.1	Einsatz der RFID-Technologie in der Logistik Branche	1
1.2	Funktionsprinzip	2
2.1	RFID in der Industrie [17]	3
2.2	Anwendung der RFID-Systeme im e-Pass	4
2.3	Aufbau eines EPC [11]	5
2.4	Landestypische Frequenzbereiche in der RFID-Technologie	5
2.5	Aufbau eines RFID-Systems	6
2.6	Blockschaltbild eines Passiven RFID-Transponders	7
2.7	Antennegeometrie der UHF und HF RFID-Transponder	8
2.8	Antennenfeldregionen	9
2.9	Kommunikationsarten der RFID-Systeme	11
2.10	FDX, HDX und SEQ-Systemen [8]	12
2.11	RFID Line-Codes [8]	12
3.1	Typischer Messaufbau	14
3.2	Zwei mögliche Antennenkonfigurationen eines RFID-Messsystems	15
3.3	UHF RFID Tag	17
3.4	UHF Antennegeometrie [8]	18
3.5	Ersatzschaltbild möglicher Anordnung der Antennen- und Chipimpedanz	20
3.6	Smith Diagramm mit der Chip- und Antennenimpedanz [18]	20
3.7	Tag Performance, simuliert bei verschiedenen Materialien [15]	21
3.8	RFID & GSM Spektrum [2]	22
3.9	Absorberkammer (Anechoic chamber)	23
3.10	Aufbau-GTEM-Zelle	24
3.11	Messaufbau einer Freifeld-Messung	25
3.12	Die Umgebung des Messsystems, Das Messlabor	26
3.13	Der Messaufbau	27
3.14	Vergleich von möglichen Anordnungen R-T eines RFID-Messsystems	29
3.15	Strahlungsdiagramm	29
3.16	R&S SMIQ03B	30
3.17	Query Kommando und die Tag Antwort	31
3.18	R&S ZVL6	32

3.19	Span und Zero Span Modus	33
3.20	Zirkulator	33
3.21	Signalfluss beim Zirkulator	34
3.22	UHF Patch-Antenne	34
3.23	UHF Patch-Antenne	35
3.24	Das Stehwellenverhältnis (SWR) der Feig UHF Antenne	36
3.25	LabVIEW Programmierungsumgebung	39
3.26	Zusammenschaltung der Messsystem-Komponenten	40
3.27	Ein Typisches Backscatter Signal während einer Messung	40
3.28	Flussdiagramm des Messprinzips	41
3.29	Das User Interface	42
3.30	Additional Settings Menü	43
3.31	Der Programmablauf	44
3.32	Auslesen der Eingabeparameter	45
3.33	Initialisierung der Ansteuernden Geräte	46
3.34	Generieren des Query Kommandos im SMIQ	46
3.35	Übernahme und berechnung der Sweep Parameter	47
3.36	Berücksichtigung der Antennen Strahlungseigenschaften	48
3.37	Einstellung zur Darstellung des Backscatter Signals am ZVL	48
3.38	Detektieren des Vorzeichens der Chipimpedanz	49
3.39	Messung bzw. vergleich der Marker Leistungspegelwerte	50
3.40	Auswertung der Markerwerte	50
3.41	Vorgehensweise bei der Detektierung der Tag Rückantwort	51
3.42	Erstellen und Speichern des Graphen und der Excel Tabelle	52
3.43	Das gespeicherte Excel File	52
4.1	Der Aufbau	55
4.2	Die bei der Messung verwendeten Dipolantennen und der Testchip	57
4.3	Messkurven der verschiedenen Dipolantennen	58
4.4	Vergleichskurve der drei Messungen	58
4.5	Der Test-Transponder	59
4.6	Antennenabmessungen	59
4.7	dipole_tmatch_FR4_RFID_v3 (f=864MHz), simuliert in HFSS	60
4.8	Messung mit großer Schrittweite	61
4.9	Messung mit kleiner Schrittweite	61
4.10	Der Test-Transponder	62
4.11	Read Range Kurve des UPM Raflatac Frog [23]	63
4.12	Die Messkurve des UPM Raflatac Frog	63

Tabellenverzeichnis

2.1	Frequenzbereiche und ihre Bezeichnungen in der RFID-Technologie	6
3.1	Berechnete Antennenparameter für 10dBm mit Hilfe der Formeln 3.5.1-3.5.4	38

Kapitel 1: Einleitung

Die RFID (Radio Frequency Identifikation) Technologie bzw. die Identifikation durch Radiowellen hat in den letzten Jahren die Autoidentifikationssysteme revolutioniert. Sie wird wohl in der nahen Zukunft vermehrt die Rolle des beliebten Barcodes einnehmen. Diese Technologie bietet ein viel breiteres Funktionsspektrum im Vergleich zu dem konventionellen Barcodes. Der große Vorteil der RFID-Systeme liegt vor allem in der Speicherfähigkeit sowie in der Lesbarkeit der RFID-Transponder im Lesefeld ohne dass der Sichtkontakt gegeben ist. Dies hat sich in Industrie Branchen mehrfach bewährt so dass die RFID-Systeme mehr und mehr die Oberhand im Bereich Auto-ID gewinnt.

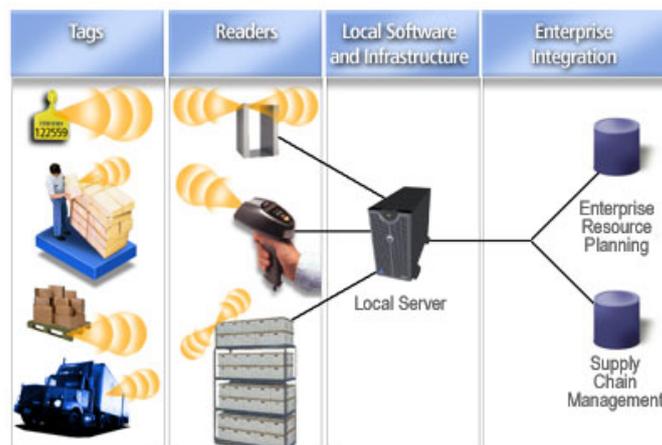


Abbildung 1.1: Einsatz der RFID-Technologie in der Logistik Branche [1]

In diesem Kapitel der Diplomarbeit wird kurz auf die Motivation die zur dieser Arbeit geführt hat eingegangen so wie die Gliederung erläutert.

1.1 Motivation und Zielsetzung

Das RFID-System als solches hat zwei wesentlichen Grundbestandteile. Zum einen den Transponder oder Tag und zum anderen den Reader oder das Lesegerät.

Der Transponder welcher ein Mikrochip mit entsprechender Antenne besitzt bildet den

eigentlichen Datenträger des RFID-Systems und der Reader je nach Ausführung die Lese bzw. Schreib/Lese-Einheit. Für das optimale Zusammenspiel/Kommunikation dieser beiden Komponenten spielt die Leistungsausnutzung des Tags eine entscheidende Rolle. Um dies zu erreichen ist die Anpassung der Impedanzen der Transponderantenne und des Transponderchips von äußerster Wichtigkeit.

Wie gut die Impedanzanpassung dieser beiden Komponenten eines RFID-Tags ist wird in dieser Diplomarbeit behandelt. Es wird ein Messverfahren zur Bestimmung der Systemresonanz bzw. der Resonanzfrequenz eines bzw. mehrerer RFID-Tags im UHF Bereich vorgestellt.

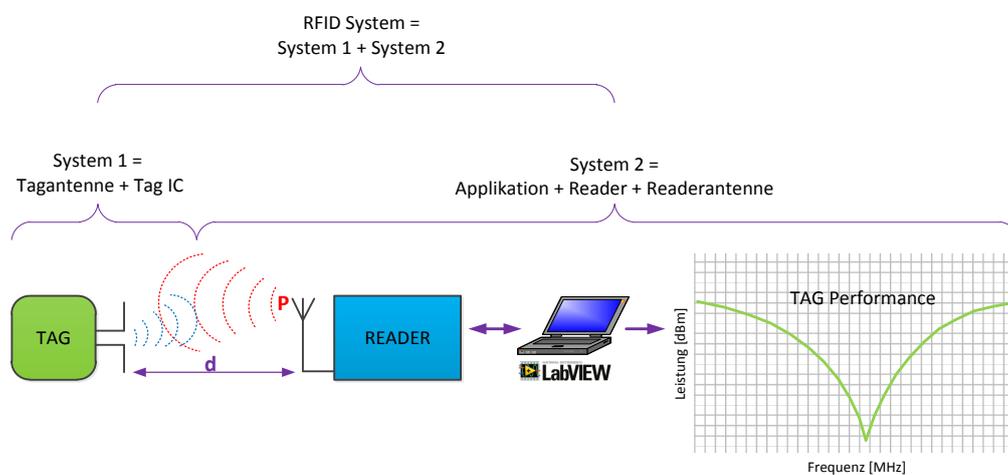


Abbildung 1.2: Funktionsprinzip

1.2 Gliederung der Diplomarbeit

Als Einleitung in diese Arbeit werden dem Leser im Kapitel 2 die wesentlichen Grundlagen im Bereich der Thematik RFID näher gebracht.

Kapitel 3 widmet sich dem praktischen Teil bzw. der Beschreibung, der Funktionsweise und Realisierung des Gesamtsystems. Im Kapitel 4 wird eine Evaluierung des Entwickelten Messaufbaus durchgeführt, sowie die einzelnen Ergebnisse anschließend diskutiert.

Abschließend wird dem Leser im Kapitel 5 ein kurzer Ausblick und eventuelle Einsatzmöglichkeit des Messsystems gewährt.

Kapitel 2: RFID-Technologie

Die Abkürzung RFID steht für Radio Frequency Identification und gehört zur Familie der automatischen Identifizierungssysteme. Mit der RFID Technologie ist es möglich Objekte, Waren, Tiere oder Personen berührungslos und eindeutig per Funk zu Identifizieren. Sie wurde primär Mitte des letzten Jahrhunderts in erster Linie im Militärkreisen als Freund-/Feind-Erkennungssystem entwickelt und konnte sich im Laufe der Jahre immer mehr im kommerzielle Anwendungsbereiche etablieren.

Die Vorreiter der heutzutage verwendeten Technik erschienen bereits in den 60er Jahren auf den Markt (1-Bit-Tags zu Diebstahlsicherung). Der Durchbruch kam jedoch erst in den 80er Jahren als die Technik schon gereift war. Es folgte eine Standardisierungen in den 90ern und damit auch die Etablierung auf dem Weltmarkt.

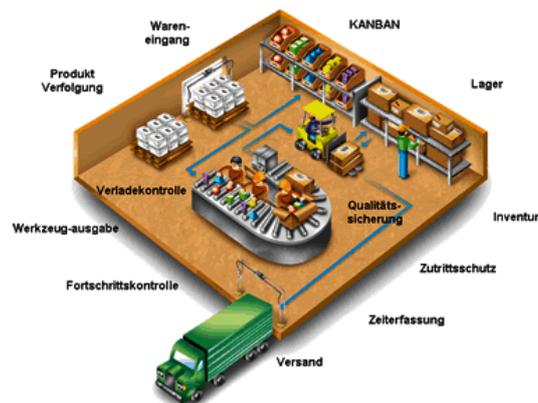


Abbildung 2.1: RFID in der Industrie [17]

Man kann sagen, dass wir von einer relativ jungen Technologie sprechen deren Entwicklung und Verbreitung erst vor kurzer Zeit begonnen hat. In der heutigen Zeit sind RFID Systeme ein fester Bestandteil im Alltag geworden. Ob als Sicherheitssysteme in Autos (Wegfahrsperrern), als Diebstahlschutz in Modehäusern (Warenkennzeichnung) oder zur Identifizierung (z.B. als ePass) konnten sie die ältere Technologien wie Barcode, Magnetstreifentechnik und Chipkarten längst in vielen Bereichen ablösen [19].



Abbildung 2.2: Anwendung der RFID-Systeme im e-Pass [3]

2.1 Standards

Als Folge des Fortschritts kamen im Laufe der Zeit neue Regelungen im Bereich der RFID-Systeme hinzu. Im Zuge ständig neuer Entwicklungen und Anwendungen ergab es sich die Einführung neuer Standards.

Die bekanntesten sind [8]:

- **ISO/IEC 14443** - Proximity coupling Smartcards
Die ISO/IEC-Norm 14443 bezeichnet die Funktionsweise sowie die Betriebsparameter kontaktloser Proximity coupling Chipkarten. Darunter versteht man die sogenannten Smartcards mit einer Reichweite von ca. 7 bis 15cm und der Arbeitsfrequenz von 13,56 MHz. Dieser Standard findet seine Anwendung im Bereich der Ticketing-Systeme.
- **ISO/IEC 15693** - Vicinity coupling Smartcards
Diese Norm beschreibt die Funktionsweise und die Betriebsparameter von kontaktlosen Vicinity coupling Chipkarten. Darunter versteht man Chipkarten, die eine Reichweite von bis zu 1m erreichen und im Frequenzbereich von 13,56MHz arbeiten. Ihr Haupt Einsatzgebiet ist in der Logistik und im Bereich der Zutrittskontrollen.
- **ISO/IEC 18000** - Information technology
Die ISO/IEC 18000 beschreibt die Funktionsweise und die Betriebsparameter für verschiedene Frequenzbereiche der RFID-Systeme. Sie ist in 7 Teile unterteilt, welche die Funkchnittstelle der verschiedenen Frequenzbänder beschreiben.

- **ISO/IEC 18000-6c - EPC Class-1 Generation-2**

Der genannte Standard definiert die Wirkungsweise und die Kenngrößen eines RFID-Systems im UHF Bereich (860MHz bis 960MHz). Der Grundbestandteil der gespeicherten Daten eines jeden Transponders, ist die spezifische Produktnummer oder auch EPC (Electronic Product Code) genannt. Mit Ihrer Hilfe ist es möglich jedes Produkt zweifellos und überall auf der Welt zu identifizieren. Der EPC ist klarerweise aus mehreren Element aufgebaut und in der folgenden Abbildung dargestellt.

	Header	Filter	Partition	EPC Manager	Object Class	Serial Number
Länge	8 bits	3 bits	3 bits	20-40 bits	24-4 bits	38 bits
Wert	0011 0000	000	5 (decimal)	4012345 (decimal)	012345 (decimal)	123456789123 (decimal)

Abbildung 2.3: Aufbau eines EPC [11]

2.2 Frequenzbereich

Wenn vom Frequenzbereich die Rede ist, ist meist die Arbeitsfrequenz des Lesegeräts gemeint. Die Arbeitsfrequenzen erstrecken sich vom Langwellen- bis zum Mikrowellen Bereich. Abhängig davon in welchem teil der Erde man sich befindet, kommt es z.B. im UHF-Bereich zur Abweichung im Frequenzbereich. Eine Veranschaulichung ist in Abbildung 2.4 gegeben.

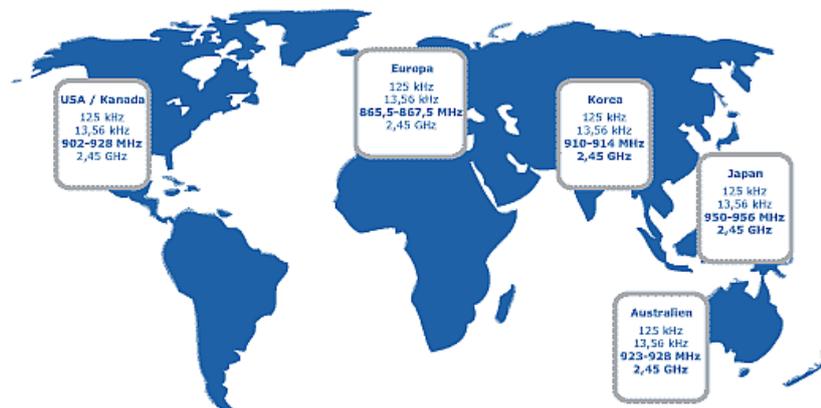


Abbildung 2.4: Landestypische Frequenzbereiche in der RFID-Technologie [24]

Im Prinzip lassen sich die Arbeitsfrequenzen der RFID-Systeme in einem niedrigen-, mittleren- und hohen Frequenzbereich unterteilen. Die Frequenzbereiche und deren Bezeichnungen sind in der Tabelle 2.1 ersichtlich.

KURZBEZEICHNUNG	FREQUENZBEREICH	RFID-Frequenzen
LF (Low Frequency)	30kHz bis 300kHz	<135kHz
HF (High Frequency)	3MHz bis 30MHz	13,56MHz 433MHz
UHF (Ultra High Frequency)	300MHz bis 3GHz	860 bis 960MHz 2,45GHz
SHF (Super High Frequency)	3GHz bis 30GHz	5,8GHz

Tabelle 2.1: Frequenzbereiche und ihre Bezeichnungen in der RFID-Technologie

2.3 Komponenten eines RFID-Systems

Ein RFID-System ist immer aus zwei Grundkomponenten aufgebaut. Zum einen aus dem *Transponder* (Tag) und dem *Reader* (Lesegerät oder Interrogator).

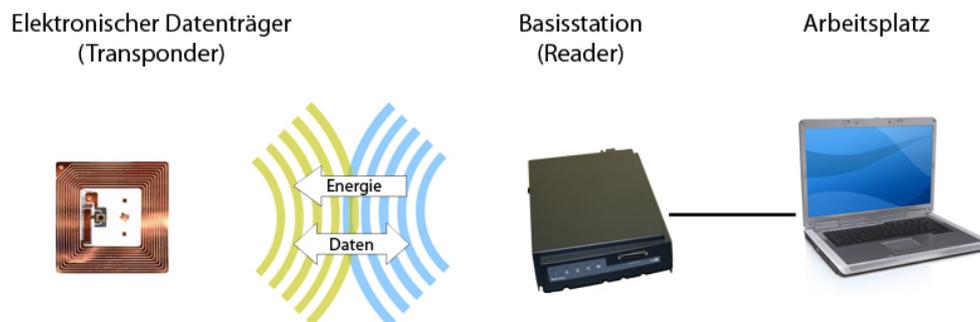


Abbildung 2.5: Aufbau eines RFID-Systems [16]

2.3.1 Reader

Der Begriff Reader oder Lesegerät wird verwendet unabhängig davon ob die Daten zum Lesen oder Beschreiben der Tags verwendet werden. Die Aufgaben eines RFID-Reader

sind vielfältig. Sie reichen von der Herstellung der Kommunikation zum angeschlossenen Informationssystem, Herstellung der Verbindung zum Transponder, Gewährleistung der Authentifizierung und Antikollision bis zum auslesen und Beschreibung der Tags mit Daten oder gar zu Deaktivierung (Kill-Befehl) der RFID-Transponders im Feld [25]. Ein Reader ist typischerweise aus einem Koppellement (Antenne), einem Hochfrequenten Modul (Transmitter/Receiver) sowie einer Kontrolleinheit aufgebaut. Weiteres besitzen die meisten Reader eine zusätzliche Verbindung (Schnittstelle) mittels der man den Reader am PC oder an einem anderen Hintergrundsystem anschließen kann um die erhaltenen Daten möglicherweise weiter zu bearbeiten [8].

2.3.2 Transponder

Der Transponder welcher eigentlich der Datenträger eines RFID-Systems ist besteht aus einem Koppellement (Antenne) und einem Mikrochip welcher wiederum aus analogen und digitalen Schaltkreisen aufgebaut ist.

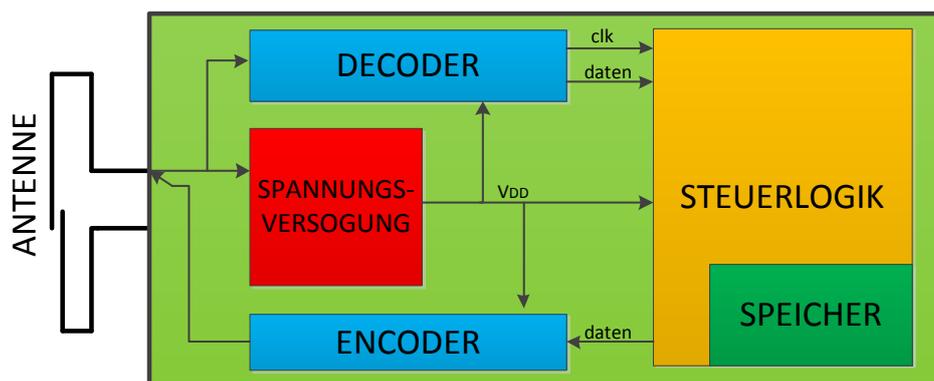


Abbildung 2.6: Blockschaltbild eines Passiven RFID-Transponders

Das Koppellement dient meistens zur Energieversorgung des Mikrochips. Meistens, weil man bei RFID-Transpondern zwischen Aktiven, Semi-aktiven und Passiven Transpondern unterscheidet. Aktive und Semi-aktive Transponder sind mit einer Batterie bestückt und haben so eine eigene Energieversorgung für den Mikrochip. Die Aktiven Transponder nutzen diese Energiequelle sogar für das Modulieren der Rückantwort, während ein Semi-aktiver Transponder die Batterie lediglich zur Versorgung des Mikrochips nutzt. Passive wiederum, versorgen sich rein aus dem Feld des Readers und sind außerhalb des Feldes vollkommen inaktiv. Diese Unterschiede ergeben sich also lediglich durch die verschiedene Energieversorgung. Das Prinzip der Kommunikation ist jedoch Versorgungs-unabhängig.

Wie erwähnt ist der Mikrochip die zweite Komponente eines RFID-Systems. Aufgebaut aus analogen und digitalen Schaltkreisen zu dem noch ein Speicher dazukommen kann. Der analoge Teil ist für die Energieversorgung verantwortlich und zum Modulieren und Demodulieren der Daten.

Im digitalen Teil ist die Funktionalität definiert. Dieser Teil hat die Aufgabe die ankommenden Daten zu dekodieren und eine kodierte Antwort bereit zu stellen. Des Weiteren werden hier der Algorithmus zur Antikollision und weitere Funktionen festgelegt.

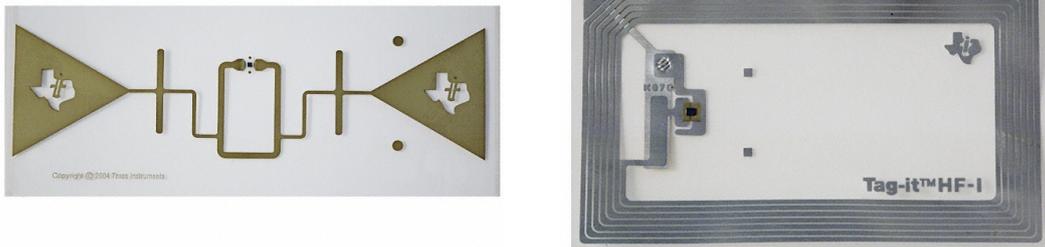


Abbildung 2.7: Antennegeometrien der UHF und HF RFID-Transponder [5]

Je nach Anwendung und entsprechenden Frequenzbereich kommen bei RFID-Transpondern verschiedene Typen bzw. Bauweisen der Antennen zum Einsatz. Dabei unterscheiden sich die Bauformen entsprechend der Felder die sich im jeweiligen Frequenzbereich ausbreiten. Bei HF-Transpondern kommen Resonanz-Spulen als Antennen zum Einsatz während im UHF Bereich Dipole als Antennen dienen.

2.3.3 Energieversorgung und Kommunikation

Um vom Reader angesprochen und kommunizieren zu können braucht ein Passiver RFID-Transponder Energie. Diese Energie wird vom Reader selbst geliefert. Der Tag wird je nach Frequenzbereich die Energie aus dem Magnetischen oder Elektromagnetischen Feld entnehmen. Die Energieversorgung (passive Tags), Kommunikation und die Datenübertragung zwischen Reader und Transponder finden je nach Abstand (Reader → Tag) und Frequenzbereich mit Hilfe von Magnetischer oder Elektromagnetischer Kopplung statt. Das Magnetfeld erzeugt durch eine Leiterschleife beginnt sich unmittelbar an der Antenne auszubreiten. Mit der Ausbreitung der magnetischen Welle kommt es durch Induktion zur Bildung eines elektrischen Feldes. Das anfänglich „rein“ ausbreitende Magnetfeld geht so allmählich in ein elektromagnetisches Feld über. Der Bereich von der Antenne bis zur Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes wird als *Nahfeld* bezeichnet. Der Bereich wo sich das elektromagnetische Feld völlig ausgebildet und als elektromagnetische Welle im Raum ausbreitet wird als *Fernfeld* bezeichnet [8].

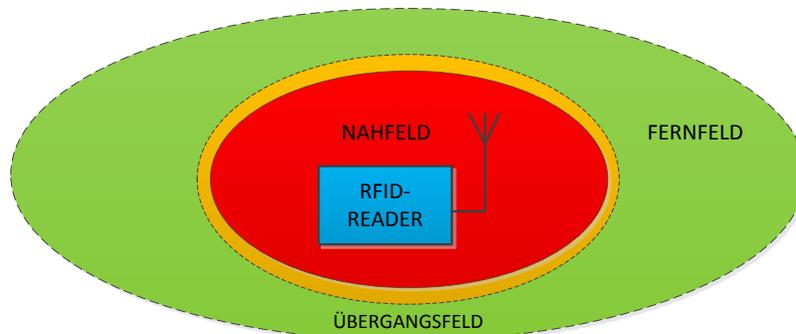


Abbildung 2.8: Antennenfeldregionen

2.3.3.1 Nahfeld

Der Bereich von der Antenne bis zum Beginn der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle wird als Nahfeld bezeichnet. Vom Nahfeld geht man nicht mehr aus wenn eine elektromagnetische Welle nicht mehr durch induktive Kopplung auf die Antenne, von der sie erzeugt wurde zurückwirkt. Man kann also sagen das für die RFID-Systeme die induktiv gekoppelt werden mit dem Beginn des Fernfeldes durch das Feldverhalten die Kopplung nicht mehr möglich ist [8]. Zusammengefasst heißt, dass sich im Nahfeld das magnetische Feld ausbreitet und die RFID-Systeme induktiv gekoppelt werden.

Induktiv gekoppelte Transponder werden hauptsächlich passiv betrieben. Bestehend aus einem Mikrochip mit einer Spule die als Antenne dient. Sie müssen also die gesamte Energie die für den Betrieb benötigt wird, aus dem Feld des Lesegeräts beziehen. Bei der Induktiven Kopplung kommt es zum Aufbau eines Magnetfeldes durch den Reader. Das Feld durchdringt die Antenne (Spule) des Transponders, dieser kann dann über Induktion Leistung aus dem Feld abgreifen um den Mikrochip mit Energie versorgen [9].

Die Grenze wo das magnetische in das elektromagnetische Feld übergeht lässt sich mit verschiedenen Methoden bestimmen. Abhängig von der Antennenabmessung D , über den Abstand d (Tag - Readerantenne) usw. gibt es eine vielfältige Auswahl an Methoden in der Literatur. In Abhängigkeit der Antennenabmessung D zur Wellenlänge ist das Nahfeld definiert als:

$$d \leq 0,63\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.3.1)$$

2.3.3.2 Übergangsfeld

Das Übergangsfeld oder auch strahlendes Nahfeld genannt, stellt die Grenze zwischen den beiden Feldregionen dar bzw. ist die Übergangsregion zwischen Nah- und Fernfeld. In diesem Bereich ist sowohl die magnetische als auch die elektromagnetische Komponente vorhanden. Diese Region wird definiert in Abhängigkeit der Antennenabmessung D zur Wellenlänge zwischen:

$$0,63\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq d \leq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.3.2)$$

2.3.3.3 Fernfeld (Fraunhofer-Region)

Der Bereich wo sich die Elektromagnetische Welle von der Antenne völlig abgelöst hat wird als Fernfeld bezeichnet. In dieser Region liegen die elektrischen und magnetischen Feldkomponenten in Phase zu einander und stellen eine ebene Welle dar. Im Fernfeld oder auch Fraunhofer-Region genannt ist also keine Induktive Kopplung mehr möglich da die abgestrahlte Welle nicht mehr auf die Antenne zurückwirken kann.

In Abhängigkeit der Antennenabmessung D zur Wellenlänge ist das Fernfeld definiert als:

$$d \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.3.3)$$

2.3.4 Kommunikation

Die Kommunikation wie schon im Laufe der Arbeit erklärt wird in zwei Richtungen unterteilt. Wir unterscheiden zwischen einem Downlink und einem Uplink. Die Datenübertragungsrichtung Reader \rightarrow Tag wird als *Downlink* und Tag \rightarrow Reader als *Uplink* bezeichnet. Im Uplink erzeugt der Reader ein elektromagnetisches Feld und detektiert die Rückantwort des Transponders indem er Feldänderungen erkennt, die durch den

Transponder hervorgerufen werden.

Ein Verfahren das im UHF-Bereich Anwendung findet ist das *Backscatter-Verfahren*. Hier wird durch Impedanzänderung und der Transponder Antenne ein Rückstreueffekt an einem Teil der ankommenden Elektromagnetischen Welle verursacht. Erfolgt diese Impedanzänderung im Takt des ankommenden Datenstroms so entsteht ein amplitudenmoduliertes Signal das vom Reader wieder aufgenommen und demoduliert werden kann [10].

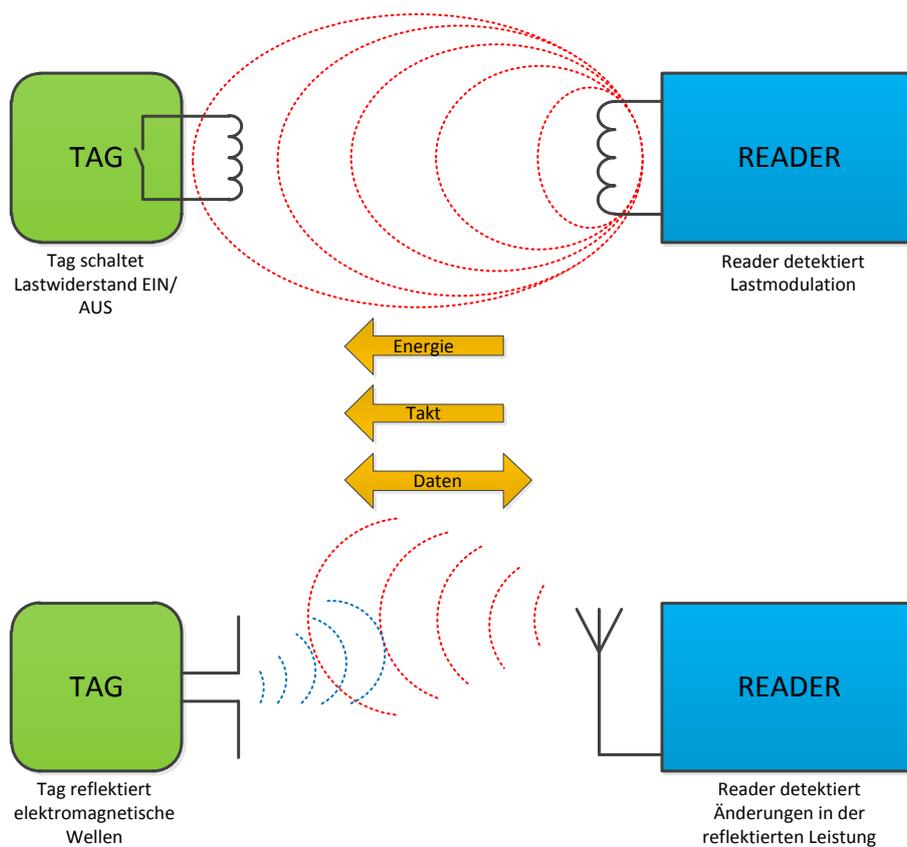


Abbildung 2.9: Kommunikationsarten der RFID-Systeme

Ein weiteres Verfahren durch welches die RFID-System miteinander Kommunizieren ist die sog. *Lastmodulation*. Diese Art der Kommunikation wird im HF-Bereich angewandt. Kommt ein Transponder in das Magnetfeld eines Readers, findet die Kommunikation bzw. der Datenaustausch so statt, indem der Transponder das Feld welches vom Reader konstant gehalten wird, durch zuschalten eines Widerstandes schwächt. Weil aber der

Reader und der Tag aufeinander abgestimmt sind, nimmt der Reader diese Feldänderung als Information wahr. Auf diese Weise werden entsprechend dem Protokoll dann Daten ausgetauscht. Um eine Verbindung zu einem bestimmten Tag im Feld aufbauen zu können muss der Reader den Tag ansprechen, besser gesagt aktivieren. Dies geschieht mit einem bestimmten Binärcode bzw. definierten Protokoll und durch verändern der Signalparameter (Leistung, Phase, Frequenz) eines Hochfrequenten Trägers (Modulation). Der Träger kann dem nach ASK (Amplitude Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying) oder FSK (Frequency Shift Keying) moduliert sein.

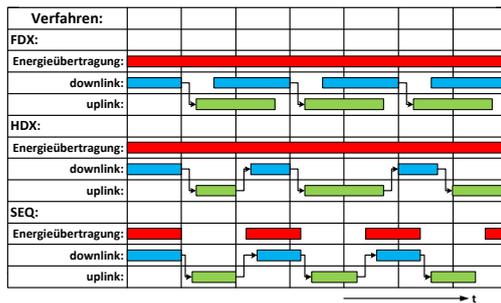


Abbildung 2.10: FDX, HDX und SEQ [8]

ständig im Bereitschaft wacht, ist bei SEQ-Systemen der Chip während des Ladevorgangs in einer Art Standbymodus [8]. Die genauen Unterschiede werden hier nicht weiter behandelt. Die Grundverschiedenheiten sind in der Abbildung 2.8 dargestellt.

Um eine Nachricht möglichst optimal an den Übertragungskanal anpassen zu können und somit eine Optimierung der Nachricht gegen Störungen oder gar Kollisionen zu erreichen, braucht es eine Signalcodierung. Um eine geeignete Signalcodierung für ein RFID-System auszuwählen, müssen einige Eckpunkte beachtet werden, wie das Signalspektrum nach der Modulation, Übertragungsfehler, sowie die Kombination von Signalcodierung und Modulationsverfahren damit es nicht zur Unterbrechung bei der Energieversorgung (passive RFID-Tags) kommt [8]. Ein Paar gängige Codierverfahren der RFID-Technologie sind in der Abbildung 2.11 dargeboten.

Sprechen wir vom Uplink, das heißt von der Datenübertragsrichtung Tag \rightarrow Reader so kommen zwei bzw. drei Verfahren zum Einsatz. Auf der einen Seite sind dies das Vollduplex (FDX)-und das Halbduplexverfahren (HDX) und auf der anderen das Sequentialverfahren (SEQ). Der Unterschied ergibt sich in der Energieversorgung während der Datenübertragung. Während beim FDX & HDF die Datenübertragung und die Energieversorgung (R \rightarrow T) gleichzeitig stattfindet und somit der Mikrochip

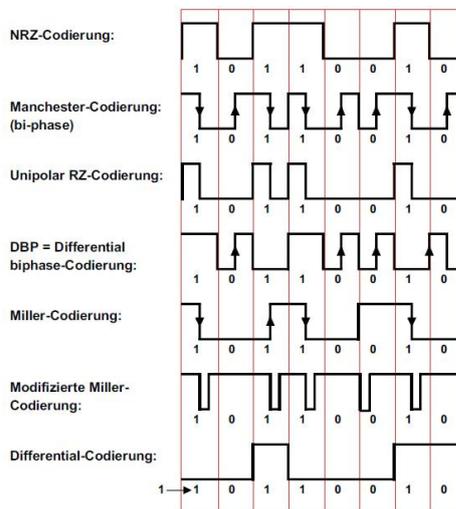


Abbildung 2.11: RFID Line-Codes [8]

Kapitel 3: Entwicklung des Messsystems

Das Einsatzgebiet der RFID-Systeme hat sich im Laufe des letzten Jahrzehnts enorm gesteigert. Der Anwendungsbereich solcher Konzepte wuchs immer mehr und mit ihnen auch die Anforderungen an die Transponder als eigentliche Datenträger.

All diesen Forderungen gilt es nachzukommen mit individuell konzipierten Tags, die je nach Einsatzgebiet oder Umgebung ihren Dienst möglichst gut erfüllen sollen. Das es Unterschiede zwischen RFID-Transpondern gibt ist allgemein bekannt. Jeder neu entwickelte RFID-Tag ist je nach Einsatzgebiet kostenoptimiert, auf Vielseitigkeit ausgelegt oder hat anwendungsspezifische Eigenschaften.

Wie gut oder schlecht ein Transponder in der gegebenen Anwendung funktioniert hängt von ein paar für ihn entscheidenden Faktoren ab die im Laufe dieses Kapitels näher gebracht werden.

3.1 Anforderung an das Messsystem

In dieser Arbeit wird ein RFID-Messsystem vorgestellt. Die Motivation zur Entwicklung eines solchen Messsystems ergab sich aus der Dringlichkeit zur genauen Bestimmung von Eigenschaften und Betriebsverhalten der Parameter die für ein RFID-System von höchster Wichtigkeit sind. Dies kommt besonders der Industrie zu Gute die auf RFID-Systemen aufbauen, den Unternehmen die anwendungsspezifische Lösungen bieten oder denen die Tags als Teil eines RFID-Systems implementieren.

Hergestellte Produkte die zur Kennzeichnung gedacht sind müssen hinsichtlich ihrer Performance evaluiert werden um sicher zu gehen das sie genau die Anforderungen und Wünsche erfüllen die an sie im Vorfeld gestellt worden sind. Dies ist ohne entsprechende Evaluierung kaum möglich.

Die Charakterisierung eines RFID-Transponders erfolgte in den Anfängen dieser noch relativ jungen Technologie empirisch unter Verwendung Standardmäßiger Reader betrieben in einem einzigen Frequenzband. Diese Methode ist auch weiterhin sehr beliebt, jedoch erkannte man mit der Zeit die Notwendigkeit speziell rekonfigurierbarer Breitbandsysteme [21]. Aus diesem Grund beschäftigen sich immer mehr Forscher und Ingenieure mit der angesprochenen Thematik und dieser Art von Messkonzepten.

Im Prinzip gibt es zwei verbreitete Methoden mit dem man die Performance messen kann. Bei beiden Methoden ist der Tag im Abstand d vom Reader entfernt und wird mit Leistung P versorgt.

In der Ersten Methode wird eine konstante Leistung vom Reader abgestrahlt. Es wird der Abstand zwischen Reader und Tag verändert bis dem Tag nicht mehr genug Leistung zur Verfügung steht, um Antworten zu können. Die Leistung wird also konstant gehalten während der Abstand variiert wird. In dieser Arbeit beschäftigen

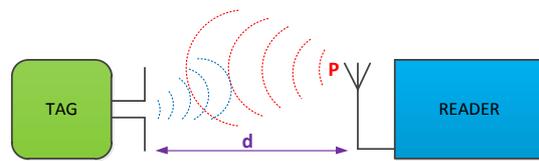


Abbildung 3.1: Typischer Messaufbau

wir uns zwar nicht mit dieser Methode jedoch ist sie sehr nützlich um die Leserreichweite des Transponders bei diversen Einflüssen in verschiedenen Umgebungen zu bestimmen. Die Zweite Messmethode, nach welcher auch das System in dieser Arbeit funktioniert, ist genau reziprok zu dem oben genannten Verfahren. Hier wird die Leistung variiert während man den Abstand konstant hält. Der Tag wird in einem fixen Abstand zum Reader platziert welcher die übertragende Leistung variiert. So kann die minimale Leistung bestimmt werden bei welcher der Tag noch antwortet. Diese Methode erlaubt es wissenschaftliche Beweise über die Charakteristik der Tag Eigenschaften bei wiederholten Messversuchen zu geben. Man kann anschließend die Ergebnisse vergleichen und entsprechend dem Wunsch oder Einsatzgebiet Veränderungen am Gesamtsystem oder einzelnen Teilen vornehmen. Das Messverfahren wird vorwiegend in einer sogenannten Anechoic Chamber, einer TEM (Transverse Electromagnetic Cell) Zelle oder einer anderen reflexionsfreien Umgebung durchgeführt.

In dieser Arbeit, wird jedoch der Messaufbau in einem nicht optimalen Umfeld veranschaulicht, besser gesagt es herrschen keine reflexionsfreien Bedingungen bei der eigentlichen Evaluierung. Gerade diese Tatsache macht das hier entwickelte System interessant. Wie, weshalb und welche Vorteile bzw. Nachteile so ein Messversuch mit sich bringt wird im Laufe des Kapitels vorgestellt.

Ein weiterer Faktor bei der Entwicklung so eines RFID-Performance Messsystem ist die Wahl der RF Front-end Antennenkonfiguration. Generell unterscheiden wir zwischen einer sogenannten *monostatic* und einer *bistatic* Konfiguration die aus der Abbildung 3.2 ersichtlich ist. Bei einer *monostatic* Konfiguration wird ein RF Isolator wie z.B ein Zirkulator und eine Antenne verwendet die gleichzeitig als Sende- und Empfangsantenne fungiert. Eine *bistatic* Konfiguration verzichtet hingegen auf einen Isolator und hat dem entsprechend eine separate Sende- und Empfangsantenne [21].

Im Messsystem welches im Laufe vorgestellt wird haben wir uns für eine *monostatic* Konfiguration entschieden. Der Grund ist der einfachere und Kostengünstige Messaufbau. Die *bistatic* Konfiguration bietet zwar generell eine bessere transmit/recv isolation, jedoch „kämpft“ man hier mit dem hohen Preis einer zweiten UHF-Antenne und mit einem etwas aufwändigeren Messsetup. Auf die ausführliche Beschreibung des Aufbaus und der verwendeten Komponenten des Messsystems wird eingegangen.

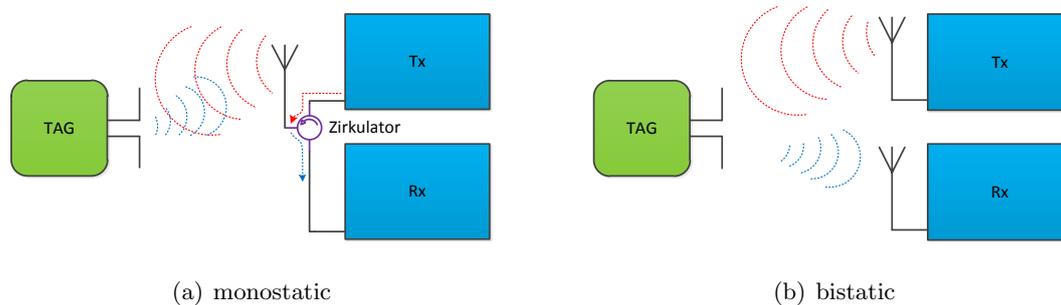


Abbildung 3.2: Zwei mögliche Antennenkonfigurationen eines RFID-Messsystems

Die Messeinheit bietet unter anderem die Möglichkeit verschiedene Tags von verschiedenen Herstellern zum Vergleich heranzuziehen. Der große Vorteil das so eine Messeinheit bietet liegt auf der Hand. Man bekommt ein relativ genaues Bild vom Verhalten des Transponders im Feld. Durch den Vergleich der Ergebnisse mehrerer Messungen eines Tags, lässt sich sein Ansprechverhalten bestimmen. Dies kann ausgenutzt werden um ihn noch besser in die Zielumgebung zu integrieren. Mit Hilfe des Messsystems ist es auch möglich das Matching zwischen Tag-IC und Tag-Antenne zu optimieren. Somit lässt sich die Energieaufnahme des Transponders verbessern so wie auch die Justierung auf die genaue Arbeitsfrequenz vornehmen. Abhängig davon im welchen Frequenzbereich die zu testenden Transponder operieren, muss auch das Messsystem darauf ausgelegt und geplant werden.

Bei der Entwicklung wurden folgende **Anforderungen an das UHF RFID-Messsystems** gestellt:

- *Breitbandiges System* (Das System sollte ein Bereich von 800-1000MHz abdecken)
- *Voll automatisiert* (Minimieren der manuellen Operationen)
- *Zuverlässig* (Minimale Messabweichungen)
- *Empfindlich* (Detektieren von kleinsten Feldänderungen im Zielgebiet)
- *Benutzerfreundlich* (Einfache Bedienbarkeit und intuitive Benutzeroberfläche)
- *Kostengünstig* (Einmaliger Investition)
- *Flexibel* (Einfacher Aufbau)

3.2 UHF RFID Performance Charakteristiken

Aus der Einführung wissen wir schon das der Reader ein elektromagnetisches Feld produziert. Dieses Feld ist der Energie- als auch Datenträger für ein passiven UHF RFID Tag. Bei dieser Kommunikation sind einige wesentliche Leistungsmerkmale bekannt die bei UHF RFID-Systemen entscheidend für Ihre Performance sind. Einige spielen eine wichtige Rolle für den sogenannten Down Link (Reader \rightarrow Tag) während andere für den Up Link (Tag \rightarrow Reader) maßgeblich sind. Diverse Störungen die aus dem Umfeld kommen, können großen Einfluss beim Datenaustausch zwischen Reader und Transponder haben. Ein weiterer Faktor der die Funktionsfähigkeit eines UHF RFID Tags beeinflusst ist die Fähigkeit der maximale Energieaufnahme und das Vermögen ein Teil dieser Energie zu reflektieren (Backscatter). Die Beeinträchtigung des Lese- oder Schreibvorganges des Tags durch den Reader ergibt sich auch unter anderen durch die sogenannte Tag Ausrichtung (Orientierung zum Reader), das Material an dem er angebracht ist oder gar durch die Umgebung in welcher er sich befindet.

Manche der Tag Eigenschaften sind nur vom Tag allein abhängig, während andere wiederum vom Reader und vom Umfeld bedingt sind. Im folgenden werden wir uns mit ein paar Schlüsselbegriffen beschäftigen die für die Performance eines UHF RFID Tags ausschlaggebend sind.

Beim Forward-Link bzw. dem Tag \rightarrow Reader Kommunikationspfad ist die *Tag Empfindlichkeit* und der *maximale Lesbarkeitsbereich* sehr wichtig. Mit der Tag Empfindlichkeit ist die minimale auftretende Leistung in Tag näher gemeint mit welcher der Tag angesprochen, gelesen oder gar beschrieben werden kann. Unter dem maximale Lesbarkeitsbereich versteht man den maximalen Abstand bei welchem der Tag vom Reader noch zur Kommunikation herangezogen werden kann.

Im Return-Link (Reader \rightarrow Tag) sind die Begriffe *Tag Rückstreu-Effizienz* und der *Tag Rückstreu-Reichweite* von Bedeutung. Die Tag Rückstreu-Effizienz ist eine Eigenschaft die zeigt wieviel der im Tag Bereich auftretenden Leistung umgewandelt werden kann um noch eine Rückantwort durch den Transponder erzeugen zu können. Die Rückstreu-Reichweite ist die Entfernung, bei welcher der Reader mit einer bestimmten Empfangsempfindlichkeit das Tag Backscatter-Signal noch decodieren kann. All diese Eigenschaften lassen sich auch relativ unkompliziert messen als Funktion der Frequenz bei verschiedenen Anwendungsfällen wie z.b verschiedene Tag Ausrichtungen, auf verschiedene Materialien angebrachte Transponder oder des gleichen [21].

Um besser die Ursachen zu verstehen die für Performance-Eigenschaften eines UHF RFID Tags ausschlaggebend sind, werden im weiteren Verlauf einige Parameter die dazu beitragen Tags besser oder schlechter funktionieren zu lassen näher betrachtet.

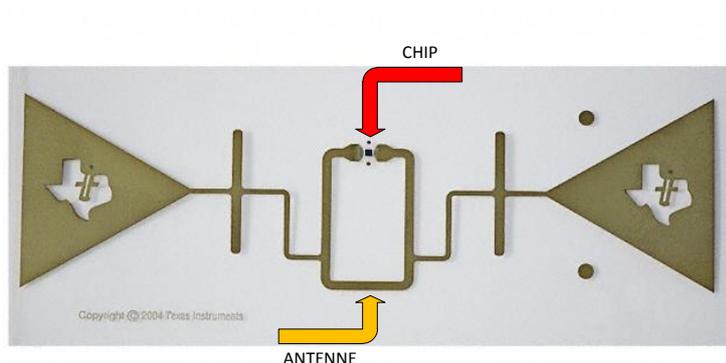


Abbildung 3.3: UHF RFID Tag

3.2.1 Tag IC (Integrated Circuit)

Wenn man sich die Entwicklung eines UHF RFID Transponders näher betrachtet und die dazugehörigen Komponenten, stößt man als erstes auf den *Tag IC (Integrated Circuit)* welcher gemeinsam mit der Tag Antenne eines der wesentlichen Glieder des Transponders bildet. Die Entwicklung eines robusten Tag IC's ist eine Kunst für sich. Es erfordert viel Know-How und technisches Verständnis. Der Schwerpunkt eines UHF RFID Tag IC ist ohne Zweifel sein Power Management. Die Integrierte Schaltung des Tags bezieht Energie über eine Antenne aus dem Feld und sorgt so für die Versorgung des Chips. Der so gewonnene Gleichstrom ist nötig um die digitalen Schaltkreise betreiben zu können. Je weniger die Schaltkreise Energie benötigen, umso beständiger ist der Chip für mögliche Feldlöcher oder Resets die durch ein schwaches Feld in Transponder Nähe verursacht werden können [4].

3.2.2 UHF Tag Antenne

Neben den Tag IC welcher eine sehr große Rolle in der Performance des Tags spielt, ist besonders die *UHF Tag Antenne* als zweite Hauptkomponente hervorzuheben. Da die Entwicklung von Tag Antennen besonders anspruchsvoll, komplex und bedeutend ist, werden wir uns des weiteren mit ihr eine Weile beschäftigen.

Als das grundlegende Problem oder besser gesagt der Drehpunkt bei der RFID-Technologie ist die Leistungsübertragung vom Reader zum Transponder. Auf Grund der vielfältigen

Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie ist es sehr wichtig zu verstehen das die Antennenentwicklung maßgeblich an der optimalen Performance des Tags beteiligt ist. Egal ob der Tag an ein Paket, an einem anderen Medium oder Material angebracht ist, muss die Antennecharakteristik so beschaffen sein das der Tag IC bestmöglich versorgt ist um einen einwandfreien Ablauf des Datenaustausches zu ermöglichen. Wegen dieser Tatsache ist es erforderlich zu wissen, wie verschiedene Tag Antennen funktionieren und vor allem wie sie die Leistung reflektieren (Backscatter) um die Kommunikation zwischen Tag und Reader aufrecht zu erhalten.

Wie erwähnt ist die Antennenentwicklung für den UHF Bereich eine anspruchsvolle Aufgabe. Dies ist hauptsächlich dadurch bedingt das Einflüsse in unmittelbarer Umgebung Auswirkung auf die Eigenschaften der Antenne haben können. Typischerweise ist man bemüht sehr breitbandige Antenne zu bauen, so das die Umwelteinflüsse welche die Resonanzfrequenz der Antenne versetzten nur in geringen Massen auf ihre Charakteristik Einfluss haben. Eine Tag Antenne hat auch entsprechende Koppeleigenschaften. Sie besitzen ein kapazitives und induktives Element, welche die Impedanz darstellen. Abhängig davon ob man eine bestimmte Frequenz erreichen möchte oder der Tag an einem stark reflektierenden Material, wie Metall oder anderen derartigen Medium angebracht ist, kann die Antenne durch Anpassung auf die gewünschte Frequenz angepasst werden.

Um einen passiven UHF Tag entsprechend zu Aktivieren muss der Strom einer hochfrequenten Welle nach dem Gaußschen Gesetz senkrecht auf die Antenne eintreffen. Dazu gibt es eine stark vereinfachte Regel. Je größer die Antennenabmessungen umso größer ist die leitende Fläche. Wenn diese noch orthogonal zur Reader Antenne ausgerichtet ist bedeutet das eine höher Leistungsaufnahme, der Ansprechbereich wird größer und damit auch die Performance des Transponders.

Die Formgestaltung einer UHF Antenne ähnelt manchmal mehr an einem Kunstwerk, als einem Ingenieurwerk. Tatsächlich ist diese Aufgabe eine Herausforderung für jeden Ingenieur. Lässt man einige einfache Designs außer Acht, erfordert die Entwicklung vieler Tag Antennen reichlich Finger-spitzengefühl, Wissen, aufwendige Computerprogramme und vieles mehr. Heutzutage werden fast ausschließlich mächtige Softwarepakete für das Design und die Simulation verwendet. Man spart dadurch Zeit und Kosten für die Herstellung sowie Vermessung mehrerer Prototypen. Dabei bedient man sich aus geläufigen Formen und Mustern bekannter Tag Antennen.



Abbildung 3.4: UHF Antengeometrie [22]

3.2.3 Impedanzanpassung

Ein RFID Tag besteht aus einem Chip und der zugehörigen Tag Antenne. Abhängig davon ob die Impedanzen dieser zwei Komponenten aufeinander angepasst ist oder eine Fehlanpassung herrscht, verbessert sich bzw. verschlechtert sich die Performance des Transponders. Wie wir schon wissen entnimmt ein passiver UHF Tag die Leistung aus dem Readerfeld. Herrscht jedoch Fehlanpassung zwischen Chip und der Tag Antenne so wird die Leistung reflektiert. Wir sehen also wie wichtig die *Impedanzanpassung* oder auch *Impedance Matching* genannt für die Performance eines RFID Transponders ist. Wegen diverser Einschränkungen bei der Entwicklung eines Tag IC's kann die Eingangsimpedanz nicht willkürlich gewählt werden, also muss die Tag Antenne so beschaffen sein das sie auf die Impedanz des Chips angepasst ist. Die Tag Antenne ist optimalerweise an den IC bei eine bestimmte Frequenz angepasst. Der Transponder ist dann entsprechend auf diese Frequenz abgestimmt und zeigt ein nicht optimalen Wirkungsgrad bei anderen Frequenzen. Laut Literatur wurde festgestellt dass es für ein Transponderchip zwei unterschiedlich optimale Antennenimpedanzen gibt. Die eine Maximiert die verfügbare Leistung für die Chip interne Schaltung was die Leistungsoptimierung des Forward Links bedeutet. Die andere maximiert das Signal welches in Richtung Reader zurückgestrahlt wird was Leistungsoptimierung des Return Links bedeutet. Die Voraussetzung für eine optimale Leistungsanpassung ist durch die folgende Beziehung gegeben:

$$Z_{Ant} = Z_{Chip}^* \quad (3.2.1)$$

Z_{Ant} Antennenimpedanz
 Z_{Chip} Chipimpedanz

Die Chipimpedanz Z_{Chip} ändert sich entsprechend dem Zustand des Shuntwiderstandes welcher sich je nach Betriebsart ein- bzw. ausschaltet. Bei ausgeschaltetem Shunt wird die Chipimpedanz als „absorbierende Impedanz“ bezeichnet, während sie im eingeschalteten Zustand als „reflektierende Impedanz“ gedeutet wird. Ist diese Voraussetzungen erfüllt so kann sich der Chip die gesamte verfügbare Leistung an der Tag Antenne zu Nutze machen.

In der Abbildung 3.5 ist ein Ersatzschaltbild einer möglichen Anordnung (Antennen- und Chipimpedanz in Serie) der Antennen- und Chipimpedanz dargestellt, wobei sich dieser Aufbau als besonders gut in der Praxis bewährt. Generell verhält sich die Antennenimpedanz annähernd linear, während die Chipimpedanz von der Eingangsleistung oder vom aktuellen Betriebszustand abhängig ist.

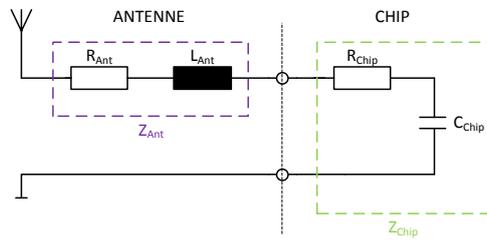


Abbildung 3.5: Ersatzschaltbild möglicher Anordnung der Antennen- und Chipimpedanz

$$\begin{aligned}
 Z_{Ant} &= R_{Ant} + jX_{Ant} \dots\dots\dots \text{Antennenimpedanz} \\
 X_{Ant} &= \omega L_{Ant} \dots\dots\dots \text{Blindanteil der Antennenimpedanz} \\
 Z_{Chip} &= R_{Chip} - jX_{Chip} \dots\dots\dots \text{Chipimpedanz} \\
 X_{Chip} &= \frac{1}{\omega C_{Chip}} \dots\dots\dots \text{Blindanteil der Chipimpedanz}
 \end{aligned}$$

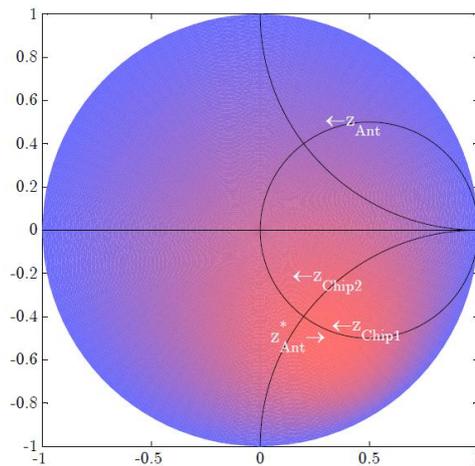


Abbildung 3.6: Smith Diagramm mit der Chip- und Antennenimpedanz [18]

In der Abbildung 3.6 ist ein Smith Diagramm mit den Chip- und Antennenimpedanzen dargestellt. Z_{Chip1} und Z_{Chip2} sind die Chipimpedanzen im angepassten und reflektierenden Fall. Z_{Ant} und Z_{Ant}^* ist die Antennenimpedanz bzw. konjugiert komplexe Antennenimpedanz. Der rote Bereich des Graphen markiert eine gute Anpassung, während der blaue Bereich die Reflexion darstellt. Je mehr die Chipimpedanzen von der konj. komplexe Antennenimpedanz abweicht, desto mehr Leistung ist reflektiert und übertragen.

3.3 Einflüsse der Umgebung auf die Tag Performance

Wie bereits erwähnt hängt die Performance eines UHF RFID Tags von so einigen Faktoren ab. Abhängig davon wo sie eingesetzt werden, müssen UHF Tags an die Umgebung angepasst werden. Aus der Forschung und alltäglichen Umgang mit RFID-Systemen ist hervorgegangen das Umwelteinflüsse und die Beschaffenheit der Objekte an denen Transponder angebracht werden eine wesentliche Rolle bei ihrer Performance übernehmen. UHF RFID-Systeme kommen häufig dort zum Einsatz wo mehrere Objekte in einem bestimmten Gebiet oder Räumlichkeit identifiziert und auch unterschieden werden müssen. Zum Beispiel ist die Logistik Branche einer der größten Abnehmer der RFID-Systeme. Man verwendet sie für Paketverfolgung, bei Kennzeichnung von Paketen, Paletten oder gar ganzen Containern. All diese Objekte sind aus unterschiedlichen Materialien gefertigt. Es hat sich gezeigt das die Beschaffenheit des Objektes an den ein Transponder angebracht ist von hoher Bedeutung bei der Lesbarkeit bzw. Performance ist.

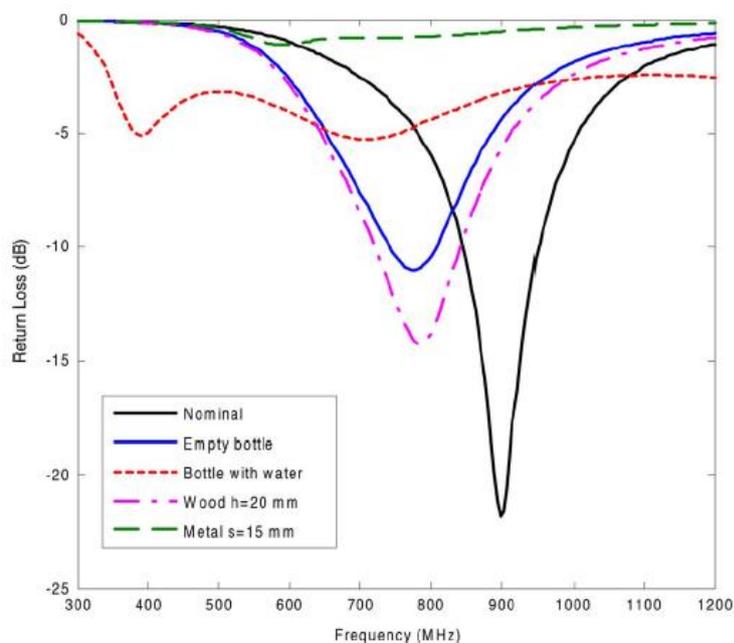


Abbildung 3.7: Tag Performance, simuliert bei verschiedenen Materialien [15]

Metalle oder Fluide wie z.B. Wasser wirken sich besonders negativ bei hohen Frequenzen auf die Eigenschaften der Transponder im Einsatzgebiet aus. Ein solches Phänomen ist die sog. Tag Verstimmung oder aus der Literatur bekannt als *Tag Detuning*. Von Tag Detuning

sprechen wir dann, wenn sich die Antennen Charakteristik aufgrund der Beschaffenheit des Materials an den zu identifizierendem Objekt ändert. Die Verstimmung der Antenne bzw. des Tags muss nicht zwingend vom zu identifizierendem Objekt hervorgerufen werden. Es hat sich gezeigt das auch allein die Anwesenheit solcher Objekte in Tagnähe Auswirkung auf die Performance nehmen kann. So wurde bewiesen das die Anwesenheit von metallischen Objekten erheblich die Lesereichweite beeinflussen kann. Als Folgerung kann man sagen das die Performance eines UHF RFID Transponders bei Anbringung an verschiedene Dielektrika weitgehend kritisch ist. Diesem Problem wirkt man Heutzutage auf verschieden Weise entgegen. Ein wichtiges Instrument das bei auffinden von Lösungen zu Minimierung oder gar Beseitigung dieses Problems hilft sind ohne Zweifel Messsysteme wie in dieser Diplomarbeit beschrieben. Als Beispiel einer äußerst effizienten Methode zur Eliminierung dieser Störquellen bietet das European EPC Competence Center oder kurz EECC genannt, welches gegründet worden ist ums sich gerade mit dieser Thematik zu beschäftigen. Die Ingenieure von EECC haben ein System entwickelt zur Klassifizierung von Objekten die häufig mit RFID Tags gekennzeichnet werden. So bieten sie denjenigen Unternehmen die sich die RFID-Technologie zu nutze machen wollen eine Möglichkeit den geeignetsten Transponder für ihre jeweilige Anwendung zu bestimmen [2].

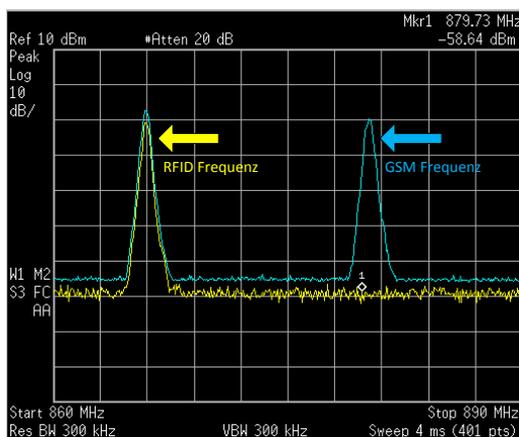


Abbildung 3.8: RFID & GSM Spektrum [2]

entscheidend stören und so zur Minderung der Performance führe. Deshalb wird seit geraumer Zeit an der Entwicklung robuster Antennen und Chips gearbeitet die eine bestimmte Störfestigkeit in Nähe Metallischer Objekte zeigen, so wie Kollisionen mit dem GSM 900MHz Band vermeiden sollen. In dieser Messeinheit wirkt man mittels einiger Methoden die in der Software integriert sind diesem Problem entgegen.

Ein weiteres Phänomen das unter Umständen zu Beeinträchtigung der Systemperformance eines RFID-Systems führt ist das sog. *Jamming Signal* oder das auftreten von Störsendern. JAM Signale können dort auftreten wo Anwendungen nah zum RFID UHF Band betrieben werden. Ein Beispiel dafür ist das GSM 900MHz Band welches sich im unmittelbarer Nähe zum RFID UHF Band befindet. Anwendungen betrieben im genannten Bereich können Einfluss auf die Performance von UHF RFID-Systemen nehmen. Wellen die von z.B. Handys gesendet oder empfangen werden, können entsprechend die Kommunikation zwischen UHF RFID-Systemen

3.4 Messumgebung

Das Designen und die Konstruktion von RFID Transponder kann man heutzutage als sehr ausgereift bezeichnen. Das die Umgebung eine entscheidenden Rolle bei der Performance spielt wurde ja schon behandelt. Gerade aus diesem Grund ist eine zuverlässige Messung der Tag Performance ein bedeutender Faktor bei der Tag Implementierung und Performance-Verifikation. Um die Performance des gewünschten Tags ohne Störquellen zu ermitteln bzw. zu Verifizieren werden Messungen in Umgebungen durchgeführt die nahezu frei von Störern sind. Zwei solcher Räumlichkeiten werden wir kurz vorstellen.

3.4.1 Die Absorberkammer (Anechoic chamber)

Eine Absorberkammer ist ein Raum oder Kammer ausgelegt für Messungen ohne Reflexionen oder Störeinflüsse von Außen. Sie sind also von äußeren Rauschquellen isoliert. Mit anderen Worten, sie stellt eine optimale Messumgebung dar wenn man die exakten Eigenschaften eines RFID-Systems ohne Einflüsse der Außenwelt messen möchte.

Absorberkammer gibt es in Vielen Varianten und Größen. Sie Reichen von knapp 1m bis zu der Größe einer ganzen Lagerhalle. Die Größe hängt zum einen vom messenden Objekt und dem Frequenzband des Nutzsignals ab. Absorberkammern für Messungen von UHF RFID Transpondern sind meistens nicht so Groß dimensioniert. Sie überschreiten üblicherweise kaum die Länge von einigen Metern und werden zur Vermessung von Tags genutzt, deren Dimension bekanntlicherweise maximal einer Tafel Schokolade gleichkommen.



Abbildung 3.9: Absorberkammer (Anechoic chamber) [20]

Der Aufbau einer Absorberkammer ist recht interessant. Sie besteht aus insgesamt 3 Schichten. Die Außenschicht ist eine vollverzinkte Metallhülle. Sie schützt das Innere der Kammer vor elektromagnetischer Strahlung und verhindert das Eindringen von eventuellen Störquellen ins Innere. Die verbleibenden zwei Schichten sorgen für die Absorption innerhalb der Kammer. Sie verhindern die Reflexionen die von den Wänden kommen und so das Messergebnis beeinflussen können. Die erste Innere Schicht ist aus Ferritkacheln aufgebaut um niedere Frequenzen bis ca. 1GHz zu absorbieren. Die letzte und Dritte Schicht besteht

aus Strahlungsabsorbierendem Material oder kurz RAM (radiation absorbent material) in Pyramidenform aufgebaut. Dieser pyramidenförmige Schaumstoffabsorber absorbiert die elektromagnetische Strahlung bis ca. 20GHz. Ein Vorteil den diese Messkammer bietet ist sicherlich die Gewährleistung der Reproduzierbarkeit von Messungen [20]. Das heißt, man kann mehrere Messungen vergleichen die in unterschiedlichen Entwicklungsstadien unter identischen Bedingungen durchgeführt worden sind, um entsprechende Vorkehrungen für die Verbesserung des Produkts zu treffen.

3.4.2 Die GTEM-Zelle (Gigahertz Transverse Electromagnetic Cell)

Eine erheblich kostengünstigere Variante als die der Absorberkammer zur Messung der Performance eines Transponders ist wohl die TEM- bzw. für den UHF-Bereich die GTEM-Zelle. Rein Physikalisch stellt die TEM/GTEM-Zelle ein Koaxialleiter dar, der sich zu einem Rechteckhohlleiter ausweitet. Unterhalb des Septum (HF-Innenleiter), bilden sich transversale elektromagnetische Felder, mit denen beispielsweise ein Transponder bestrahlt wird [7]. Die herkömmliche TEM-Zelle hat im Gegensatz zur GTEM-Zelle zwei Anschlüsse. Ihr Ausgang ist immer mit einem 50Ω Widerstand versehen während die GTEM-Zelle mit einem Absorber abgeschlossen wird. Die GTEM-Zelle besitzt auch ein Anschluss zur Messung von niedrigen Frequenzen jedoch sind auch hochfrequente Messungen möglich was durch den Aufbau gegeben ist (siehe Abbildung 3.10).

Die GTEM-Zelle ist aus vielerlei Hinsicht sehr nützlich für Leistungsbezogene Messungen von RFID-Systemen. Mit ihrer Hilfe lassen sich akkurate Ergebnisse in Hinsicht auf die Performance von UHF RFID Tags gewinnen ohne das die Messung von Störquellen aus der Umgebung manipuliert wird. Der Vorteil von Zellen gegenüber von Absorberkammern liegt auf der Hand, der Preis. Jedoch wird als Nachteil das Nutzvolumen angesehen was die Größe des Prüflings begrenzt. Nichtsdestotrotz ist auf Grund der relativ kleinen Abmessungen der meisten Transponder wohl dieser Nachteil zu vernachlässigen. Die kompakte Bauweise hat aber auch ihre Kehrseiten. Wenn man die Lesbarkeit von UHF RFID Transpondern im Abstand von einigen Metern Prüfen will, so stößt man Verständlicherweise bei dieser Messumgebung an ihre Grenzen.

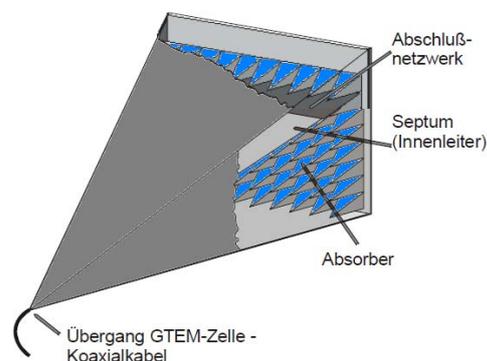


Abbildung 3.10: Aufbau-GTEM-Zelle [14]

3.4.3 Freifeld-Messung

Eine etwas aufwändigere Variante Performance-Messungen an RFID-Systemen durchzuführen, ist das Messen im Freiem. Bei dieser Art der Messung wird der Aufbau wie in der folgenden Abbildung gewählt.



Abbildung 3.11: Messaufbau einer Freifeld-Messung

Die Reader Antenne wird in einem fixen oder variablen Abstand zum Prüfling angeordnet, so das sich hinter dem Prüfling bzw. Transponder nur Freiraum befindet. Auf diese Weise wird gewährleistet dass Reflexionen keinen Einfluss auf die Messung nehmen können. Diese Art der Vermessung von Transpondern ist relativ selten geworden, da sie auf Grund des Fortschritts der genannten Messumgebungen (Absorberkammer und GTEM-Zelle) überflüssig geworden ist.

3.4.4 Das Labor als Messumgebung

Als vierte und wohl einfachste Umgebung wo Messungen durchgeführt werden können und sollten ist das Messlabor. Im Vergleich zur oben genannten Messumgebungen ist das Labor als solches alles andere als optimal. Aus der Abbildung 3.9 erkennt man auch schnell wie man zur dieser Aussage kommt. Das Labor ist überfrachtet mit allerlei technischen Hilfsmitteln und Gerätschaften. Die verschiedenen Instrumenten und technischen Utensilien tragen natürlich auch dazu bei den Prüfling (Transponder) zu beeinflussen. Sie stellen verhältnismäßig einen geringeren Anteil der Störquellen dar, tragen aber unter anderem dazu bei die zu messenden Tags zu stören. Eine weiterer Störer der aber von außen wirkt ist das Mobilfunknetz GSM 900MHz. Da es auf den Frequenzen um den UHF Bereich agiert und ausreihend stark ist kann es sich sehr unvorteilhaft auf die Messung auswirken. Der Bärenanteil der Störquelle als die Summe aller Störer im Labor gesehen, entfällt in so einer Umgebung an die Reflexionen und Interferenzen der sich ausbreitenden Welle im Raum. Sie sind wohl die Hauptursache, wenn von Feldlöchern, Messverzerrungen und weiteren Nebeneffekten die Rede ist.



Abbildung 3.12: Die Umgebung des Messsystems, Das Messlabor

Als Reflexionen in diesem Zusammenhang bezeichnet man das Rückstrahlen einer elektromagnetischen Welle an einer Grenzfläche bei welcher sich der Wellenwiderstand des strahlenden Mediums ändert. Im Labor gibt es ja unzählige Gegenstände die elektromagnetischen Wellen reflektieren können. Allein die Wände die nicht gerade als reflektionsresistent ausgelegt sind, könnten den Reader verwirren bzw. ihn beim empfangen stören. Man stellt sich einen Messaufbau vor, wo der Tag in einem Abstand d zum Reader angeordnet ist. Unmittelbar hinter dem Tag steht eine Mauer. Versucht nun der Reader den Tag mit Energie zu versorgen bzw. mit ihm zu kommunizieren, so wird ein Teil dieser Strahlung von der Wand rückreflektiert und vermischt sich mit dem Backscatter (Rückantwort) Signal des Transponders im Empfänger des Readers. Dies kann dazu führen das die Rückantwort des Tags als schwach oder gar überhaupt nicht gedeutet wird obwohl der Transponder einwandfrei funktioniert. Wäre diese Mauer, Person, Metallischer Gegenstand oder ein sonstiges reflektierendes Medium weiter weg oder mit einem Absorber versehen, wäre die reflektierte Welle wohl zu schwach um eine entscheidende Rolle beim Messergebnis zu spielen. Wie dem Problem entgegen gewirkt wurde um diese Störungen zu minimieren wird im Laufe des Kapitels verdeutlicht.

Ein weiterer Nebeneffekt bei der Wellenausbreitung im geschlossenen Raum stellt die sog. Interferenz dar. Interferenzen werden meistens unmittelbar von Reflexionen hervorgerufen und führen oftmals zu einer unabhäufigen Ausbreitung der Wellenenergie. Es kann nämlich vorkommen das zwei gleiche Wellen aufeinander treffen, ihre Amplituden sich während der Durchdringung addieren und so die Kommunikation Tag-Reader entscheidend stören können. Im schlimmsten Fall können sie sich ganz auslöschen was zum Reset des Tag IC's führen kann und das Vorhandensein der Rückantwort undetektierbar macht. Es kann auch vorkommen das sich die Amplituden verstärken was sich wiederum

störend auf die Kommunikation auswirkt. Man sieht also das eine hochfrequente Messung im Labor vielen Störfaktoren ausgesetzt ist. Genau diese Probleme stellen die Herausforderung dieser Diplomarbeit dar. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird das Entwickelte Performance-Messsystem detailliert erklärt und die Funktionsweise näher gebracht.

3.5 Das UHF RFID Performance Messsystem

In diesem Abschnitt des Kapitels wird der eigentliche Schwerpunkt dieser Arbeit behandelt. Das Entwickelte UHF RFID Performance Messsystem wird beschrieben und die Funktionsweise erklärt. Es wird der genaue Messaufbau vorgestellt, sowie näher auf die einzelnen Komponenten eingegangen, ihre Funktionalität und Rolle im Gesamtsystem erläutert. Außerdem wird auf die einzelnen Verluste die bis zum Anfang der Übertragung entstehen können aufmerksam gemacht, wie auch ihre Berücksichtigung beim Kalibrieren bzw. endgültigen Justierung des Messsystems verdeutlicht. Zum Schluss stellen wir ein Mathematisches Modell auf, mit dessen Hilfe die Richtigkeit der Messung überprüft werden kann.

Zur Erinnerung, fasse ich hier noch einmal die Motivation für die Entwicklung eines solchen Messsystems zusammen bevor ich näher auf das genannte eingehe.

Unser Ziel war es, eine Messeinheit zu entwickeln welche die Performance eines UHF RFID Transponders bestimmt. Das Gesamtsystem soll als eine RFID-Einheit (Reader+Tag) agieren, die Kommunikation zwischen Reader und Tag simulieren und schließlich das Backscatter Signal des Transponders bestmöglich detektieren und entsprechend auswerten.

3.5.1 Der Aufbau

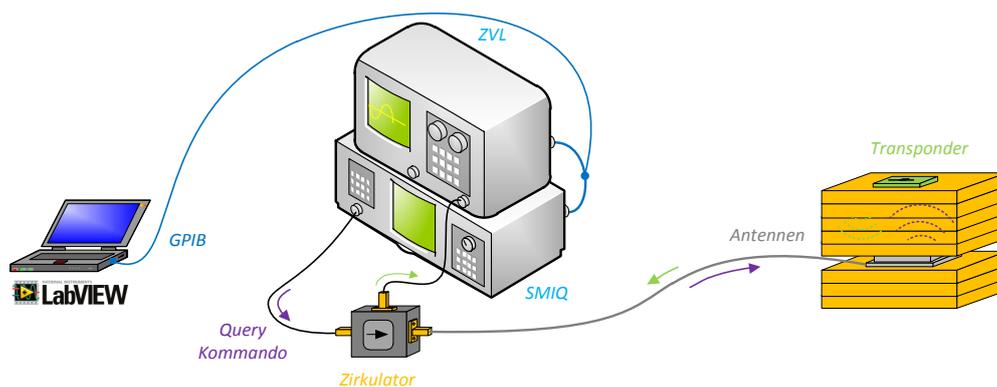


Abbildung 3.13: Der Messaufbau

Die Komponenten, der Aufbau oder die Konstellation eines einfachen RFID-Systems dürfte bis hierhin hinreichend bekannt sein. Es besteht aus zwei wesentlichen Hardwarekomponenten. Aus dem Reader (Lesegerät, Interrogator) und dem Transponder (Tag), deren Kommunikation über eine Luftschnittstelle gegeben ist. Die Forderung war, die Performance dieses Systems zu messen. Es sollte ein geeignetes Messsystem Konzipiert werden das zum einen Präzise agiert, aber andererseits auch so wenig wie möglichen manuellen Aufwand erfordert.

Als erstes musste man sich Gedanken darüber machen welche Geräte bzw. Apparatur man zu Verfügung hat, und wie man wohl die einzelnen Komponenten zur einer Einheit zusammenschaltet. Zunächst betrachteten wir ein typischen Kommunikationsprozess eines RFID-System der Reihe nach und versuchten auf diese Art eine optimale Lösung aus uns verfügbaren Geräten für jede Komponente zu finden. Um überhaupt eine Verbindung zu einem passiven UHF Tag zu bewerkstelligen braucht es einen Reader der die nötige Energie bzw. Daten für eine Interaktion mit dem Tag liefert. Als einfachste Lösung, um ein RFID Reader durch ein „herkömmliches“ Laborgerät zu Simulieren, bot sich ein programmierbaren Signal Generator (SMIQ) an, der sowohl Daten generieren kann als auch klarerweise die benötigte Energie für die Kommunikation produziert. Um das Backscatter Signal welches vom Tag ausgestrahlt wird auswerten zu können, haben wir uns eines Spektrum Analyzers (ZVL) bedient. Mit dessen Hilfe ist es möglich das Signal sichtbar zu machen und entsprechende Methoden zur weiteren Verarbeitung zu entwickeln. Damit das generierte Signal den Transponder überhaupt erreicht ist selbstverständlich eine UHF Antenne von Nöten.

Nun war die Frage wie man das Backscatter Signal aus dem Feld abgreift damit man es am ZVL sichtbar machen kann. Wie schon im 3.1 erklärt hatte man zwischen zwei Antennen Konfigurationen die Wahl. Der monostatic (eine Antenne über Zirkulator verbunden für Tx und Rx) und der bistatic (separate Antennen für Tx und Rx) Anordnung. Da wir nur eine breitbandige UHF Antenne zur Verfügung hatten viel die Entscheidung auf die monostatic Antennen Konfiguration. Um die Antenne für beide Geräte (SMIQ und ZVL) nutzbar machen zu können, setzten wir einen Zirkulator ein über welchen das Signal sowohl vom SMIQ an die UHF Antenne gelangt, als auch das Backscatter Signal von der Antenne abgegriffen wird und an den RF Eingang des ZVL geführt werden kann. Auf diese Weise erhielten wir eine relativ simple und schnelle Verschaltung der einzelnen Komponenten.

Nummehr musste eine geeignete Positionierung der Antenne überlegt werden damit der Messaufbau schnell und einfach zu jeder Zeit reproduzierbar ist. Viele ähnliche Systeme die man in der Literatur findet, werden in einer GTEM-Zelle oder einer Apsorberkammer ausgemessen, aber kein System wurde für den täglichen Gebrauch und in einer suboptimalen Umgebung entwickelt wie in dieser Arbeit beschrieben. Nach längerer Erforschung und Studieren von einigen Papers die sich mit dieser Thematik auseinandergesetzt haben entschieden wir uns für eine ganz andere Anordnung zwischen Antenne und Tag.

Bei Freiraum Messungen die bei einigen Papers durchgeführt worden sind, ist der Tras-

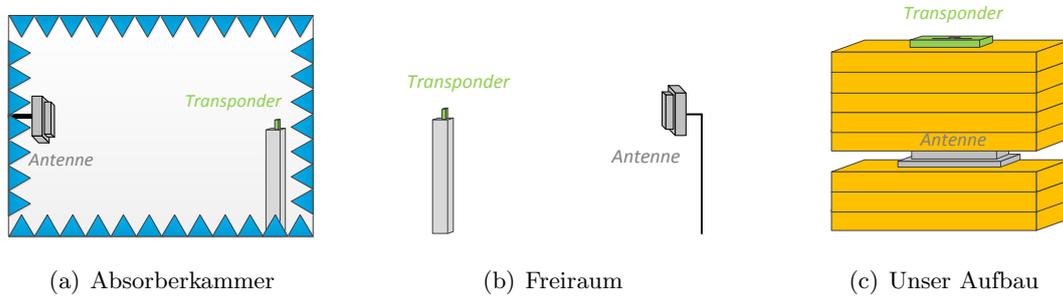


Abbildung 3.14: Vergleich von möglichen Anordnungen R-T eines RFID-Messsystems

ponder so zu Antenne ausgerichtet wie bei Versuchen in der Absorberkammer bzw. GTEM-Zelle. Das bedeutet, die Antenne ist an einem Stiel angebracht und befindet sich in einem fixen Abstand zum Transponder hinter welchem nichts als freier Raum ist bzw. ein Absorber befestigt ist, womit ein Freiraum simuliert wird. Dies ist sehr wichtig wie im Vorherigen Abschnitt erklärt, um die Reflektionen fernzuhalten welche die Ursache für Interferenzen und andere Störungen sind.

Da unsere Umgebung alles andere als so ein Messaufbau wie im Freiraum/Absorberkammer erlaubt, kam die Idee, die Anordnung in vertikale Richtung auszulegen, anstatt horizontal wie das üblicherweise der Fall ist. Aus der Abbildung 3.14 sieht man auch den Unterschied zwischen der in dieser Arbeit verwendeten Anordnung und der aus vorher recherchierten Systemen.

Man setzte einen ca. 20cm dicken Schaumstoffpolster zwischen UHF Antenne und Auflagefläche welcher denn Abstand zwischen den beiden gewährleistet. Dies tut man deshalb weil sich ein kleiner Teil der Strahlung der UHF Antenne auch in Vertikaler Richtung nach unten Ausbreitet (siehe Abbildung 3.15). Ein fernbleiben des Schaumstoffes könnte zur Verfälschung bei der Messung führen da sich der nach unten abgestrahlte Teil der Welle leicht an der Auflagefläche reflektieren könnte und sich auf das Messergebnis wohlmöglich negativ auswirken täte. Auf die Antenne wird schließlich ebenfalls ein Polster aus Schaumstoff gesetzt, damit auch der Abstand Antenne-Tag gegeben ist. Schaumstoff,

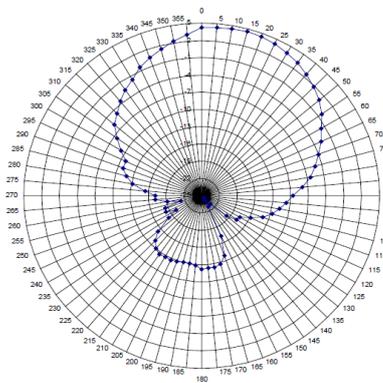


Abbildung 3.15: Strahlungsdiagramm

deshalb weil die Permeabilität von Schaumstoff nahe der von Luft kommt. So wird der Freiraum zwischen Antenne und Prüfling simuliert und der jetzt freiwählbare Abstand gewährleistet. Schließlich wird der Transponder auf dem Schaumstoffpolster so ausgerichtet das die Antenne des Tags unter einem möglichst rechten Winkel von der Elektromagnetischen Welle durchsetzt wird. Es ist natürlich auch möglich den Tag in willkürlicher Richtung zu drehen um seine Eigenschaften in Bezug auf die Orientierung festzustellen.

Durch so eine Anordnung der Erregerantenne zum Transponder dürfte man ähnlich gute Resultate wie bei eine Messung in eine Absorberkammer oder im Freiraum bekommen da auf Grund der Deckenhöhe (ca. 3m) im Labor die Reflexionen weitgehend als schwach angenommen werden können.

Man erkennt also das dieses Konzept relativ einfach reproduzierbar ist und auch kein großen Aufwand beim Aufbau erfordert was es sicherlich sehr nützlich in der Praxis macht. Wir werden uns nun mit den einzelnen Komponenten dieses Systems beschäftigen, damit der Inhalt im späteren Verlauf der Arbeit besser verständlich wird.

3.5.2 Die System Komponenten

Im weiteren Verlauf wird versucht die einzelnen Komponenten die wichtig für den Messablauf sind näher zu bringen, so das der Leser ein besseres Gefühl für den Messablauf als ganzes bekommt. Es werden die Charakteristiken, Funktionsweise und die Betriebsart von einzelnen Komponenten verständlich gemacht.

3.5.2.1 Signalgenerator

Um eine Kommunikation mit einem passiven UHF Transponder herzustellen braucht es Energie. Diese Energie bezieht der Transponder vom Reader der durch die Elektromagnetischen Wellen Energie und Daten zum Tag sendet. Für diese Messung simulieren wir den RFID Reader mittels eines programmierbaren Signalgenerator. Wir verwenden ein

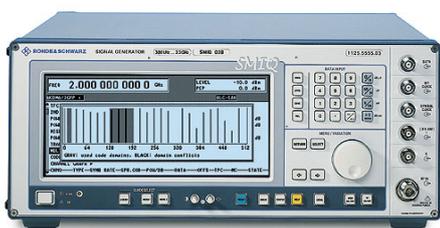


Abbildung 3.16: R&S SMIQ03B [27]

Rohde & Schwarz SMIQ03B Signal Generator 300kHz...3.3GHz. Weshalb wir uns für einen programmierbaren Signal Generator entschieden haben hat mehrere Gründe. Zum einen sind unsere zwei verwendeten Geräte (SMIQ und ZVL) miteinander kompatibel da sie von Gleichen Hersteller kommen, und zum anderen ist der aufwand wesentlich kleiner als einen beliebigen Reader auf unsere Messumgebung zu adaptieren

und in der Auswertesoftware zu integrieren. Der SMIQ03B hat viele verschiedene Funktionen die jedoch bei unserer Messung keine Verwendung findet. Das was für uns an diesem Gerät besonders interessant ist die Digitale Modulation bzw. die Data-Lists. Data-Lists sind vorprogrammierte Sequenzen die per Modulation gesendet werden können. In unseren Fall sind das die Daten mit welchen wir die Performance eines Trasponder bestimmen können. Diese Daten schickt auch ein gewöhnlicher Reader aus wenn er mit einem oder mehreren Tags kommunizieren will. Die Daten legen fest ob nur eine einfaches Query Kommando (wie in unserer Messung-Abfrage der Anwesenheit des Tags im Feld) gesendet wird oder die Kommunikation komplexer ausfallen soll. Data-Lists in unserem SMIQ sind vorprogrammiert und werden in dieser Arbeit nicht weiter behandelt.

Der SMIQ wird über eine LabVIEW Basierende Custom Software (wird im Laufe des Kapitels noch erklärt) gesteuert, welche die Einstellung im SMIQ automatisch vornimmt. Neben der Frequenz und Leistung werden auch im Menü zur Digitalen Modulation einige Parameter verändert. Es wird eine Data-List geladen, die Modulationsart (ASK), Symbolrate, Filtertype und weitere Parameter eingestellt. So ein moduliertes Signal gelangt anschließend vom RF Ausgang des SMIQ über den Zirkulator zur Antenne und von der Antenne zum Transponder. Das durch den SMIQ generierte Query Kommando ist in der Abbildung 3.17 dargestellt.

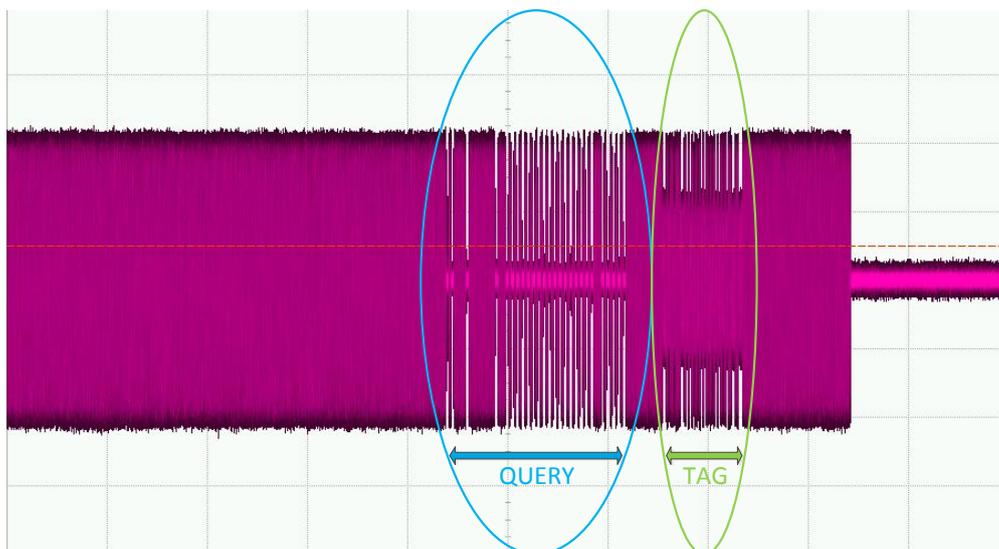


Abbildung 3.17: Query Kommando und die Tag Antwort

3.5.2.2 Spektrumanalysator

Der Spektrumanalysator repräsentiert eigentlich keine Komponente eines RFID-Systems (wie z.B. der SMIQ = Reader) die an der Kommunikation beteiligt ist, jedoch spielt er eine wesentliche Rolle bei unserer Messung. Über die Antenne „fängt“ der Spektrumanalysator das Backscatter Signal bzw. die Rückantwort des UHF Transponders auf und stellt so die Basis für die weitere Verarbeitung bzw. Auswertung dar. Bei dieser Messung wird



Abbildung 3.18: R&S ZVL6 [26]

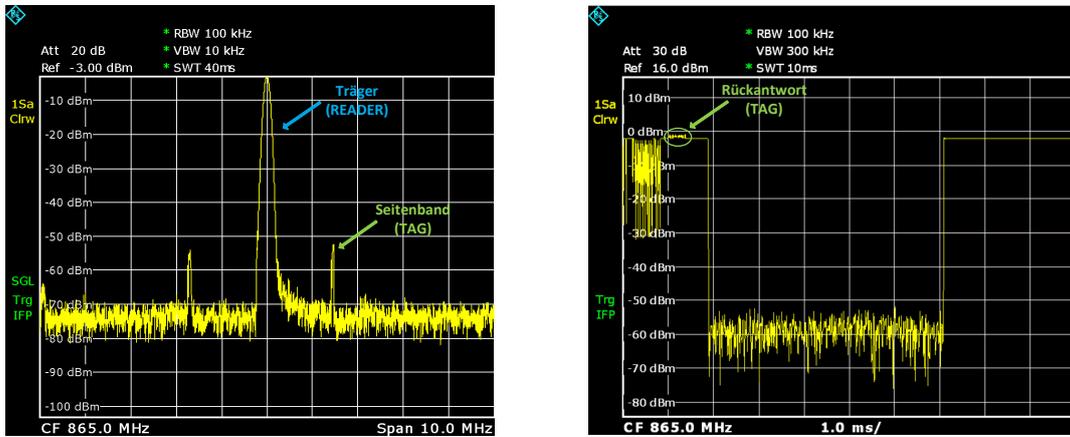
ein R&S ZVL6 Netzwerkanalysator mit der Zusatzoption eines Spektrumanalysators verwendet. Das Gerät ist zwar kein rein Spektrumanalysator, jedoch reicht es für unseren Betrieb völlig aus. Nach dem ausenden eines Kommandos seitens des Readers antwortet der passive UHF Transponder indem er die Wellen des Readers moduliert und seine Daten in dieser Welle zurückreflektiert in Form von Seitenbändern (Siehe Abbildung 3.19a). Diese Seitenbänder

sind das „Objekt der Begierde“ bei dieser Messung. Sie sagen etwas darüber aus wie gut oder schlecht die Performance eines Transponders bei entsprechender Gegebenheit ist. Die Seitenbänder werden in einem besonderen Modus das der ZVL6 zu bieten hat analysiert bzw. detektiert. Es ist der sogenannte *Zero Span Modus*.

Zero Span Modus:

Der Zero Span oder auch „fixed-tuned“ Modus genannt, ist ein spezieller Modus des Spektrumanalysators das Signale im Zeitbereich auswerten kann. Man sagt das der Zero Span eine Fähigkeit des Spektrumanalysators ist, Messungen im Zeitbereich anzustellen, wie das der Fall bei Oszilloskopen ist. In diesen Modus läuft der lokale Oszillator nicht mehr wie beim „swept-tuned frequency“ bzw Span Modus. Er steht bei der Trägerfrequenz, am Display wird die Amplitude in Abhängigkeit der Zeit dargestellt und nicht Amplitude über der Frequenz wie das normalerweise der Fall ist. Der Große Vorteil dieser Funktion das der Spektrumanalysator bietet, ist die schnelle Messung von Amplituden Modulierten Signalen wie bei unserer Messung.

Bei der Messung im Zero Span wird zunächst die Center Frequenz des Spektrumanalysators auf die Trägerfrequenz gesetzt. Die Auflösungsbreite RBW (Resolution Band Width) vom Spektrumanalysator muss man so wählen das die Seitenbänder ungedämpft passieren bzw. dargestellt werden. Nun, setzt man den Span mittels eines Zero Span Befehls (Option beim drücken des Span Knopfes) oder manuell auf 0 Hz. Dies bewirkt das der lokalen Oscillator stehen bleibt, so das die Amplitude nicht mehr in Abhängigkeit der Frequenz, sondern der Zeit am Display abgebildet wird. Mittels dieser Funktion können



(a) Träger + Seitenbänder im Span Modus

(b) Backscatter Signal im Zero Span Modus

Abbildung 3.19: Span und Zero Span Modus

wir den Trigger einfacher definieren und gegen Störungen die auftreten gezielt vorgehen und sie mindern. So kann das Signal für weiteren Auswertungen herangezogen werden um präzisere und akkurate Messergebnisse zu bekommen. Eine Rückantwort des Prüflings (passiver UHF) gemessen im Zero Span Mode ist in der Abbildung 3.19b dargestellt.

3.5.2.3 Zirkulator

Zirkulatoren finden in vielen Bereichen der Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik Verwendung. In der Kommunikationstechnik wurde der Bedarf an solchen passiven Bauelemente schon früh erkannt. Desgleichen nimmt der Zirkulator auch in unserem Aufbau ein sehr wichtiges und tragende Rolle ein. Im Rahmen dieses Projektes verwenden wir einen Zir-



Abbildung 3.20: Zirkulator

kulator der Firma Raditek Inc. mit koaxialen Ports für Frequenzen von 800MHz bis 1GHz bei max 35W Eingangsleistung und mit angegebener Isolation von max 20dB mit einer Einfügungsdämpfung von max 0,4dB. Prinzipiell kann man sagen das der Zirkulator den Fluß der Signale durch seine praktische Beschaffenheit steuert und es möglich macht eine Antenne sowohl als Sende-, als auch Empfangseinheit zu nutzen. Dies erleichtert erheblich zum einen

den Messaufbau, und senkt zum anderen auch noch die Kosten welche für das Messsystem anfallen. Die Funktionsweise dieses passiven Bauteils ist recht simpel.

Mann Betrachte (Abbildung 3.20) dazu einen typischen Ferritzirkulator das bei unserem Messsystem eingesetzt wird. Die Aufgabe unseres Zirkulator ist das Entkoppeln von gesendeten und empfangenen Signalen so das eine Antenne gleichzeitig zum Senden und Empfangen verwendet werden kann. Durch ein Dämpfungsglied am Eingang können die Signale an den anderen Toren nur in eine Richtung „fließen“ da sie in der anderen Richtung stark gedämpft werden. Das heißt, ein Signal am TOR 1 (SMIQ) teilt sich zunächst in zwei gleiche Teile auf, jedoch mit unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten, bedingt durch das Ferritt im Inneren des Zirkulators. Am TOR 3 (ZVL6) liegen die beiden Signalhälften gegenphasig an und heben (löschen) sich so auf, während sich die beiden gleichphasigen Signalhälften am TOR 2 (Antenne) wiederum zum Ursprünglichen Signal addieren. Auf diese Weise und durch den symmetrischen Aufbau (die Ports sind im Winkel von 120° zu einander angeordnet) des Ferritzirkulators ist es möglich mit entsprechender Wahl der Anschlüsse immer die gewünschte Wegrichtung zu definieren [28].

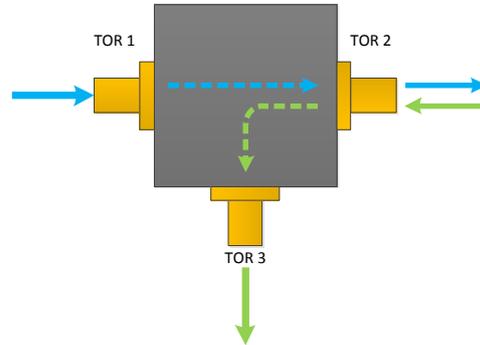


Abbildung 3.21: Signalfluss beim Zirkulator

3.5.2.4 Die UHF Patch-Antenne

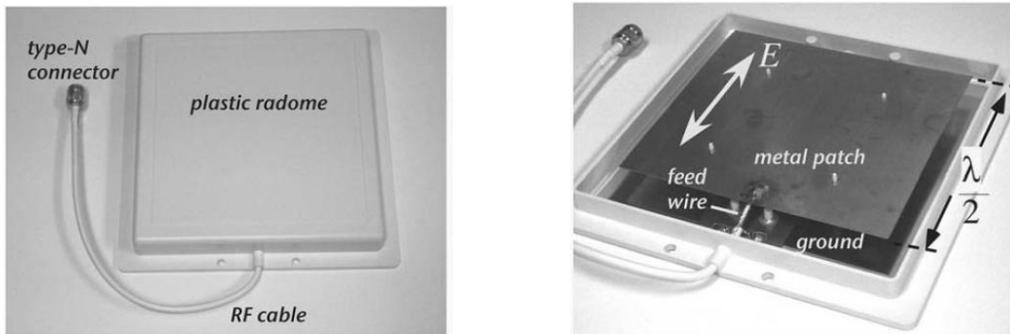
Die UHF Patch-Antenne bzw. Reader Antenne stellt denn Dreh- und Angelpunkt in diesem Messsystem dar. Sie erfüllt zwei wichtige Aufgaben in dieser Einheit. Mit ihrer Hilfe wird der passive UHF Transponder vom SMIQ mit Energie und Daten versorgt sowie das Backscattersignal des Prüflings über den Zirkulator zum ZVL6 weitergeleitet.



Abbildung 3.22: UHF Patch-Antenne

Die Antenne bei unserer Messeinheit ist eine Feig OBID i-scan UHF Antennen (Abbildung 3.22). Sie ist als Patch Antenne aufgebaut und ist weitgehend breitbandig was für unser Messsystem unerlässlich ist, da wir die Performance eines Tags in einem breiteren Frequenzspektrum messen wollen. Was noch wesentlich zu erwähnen ist ist der Antennengewin (Gain) von 9dB, die Betriebsfrequenz welche bei UHF An-

tennen klarerweise zwischen 865MHz und 870MHz liegt und die Tatsache das es eine Zirkularpolarisierte Antenne ist. Die Patch- oder auch Pannel-Antenne ist eine sehr beliebte Antennenausführungsform bei RFID Reader Anwendungen. Ihren Namen verdankt sie der Tatsache das sie aus einer meist rechteckigen $\lambda/2$ langen Metallfläche aufgebaut ist welche auf eine sogenannten Ground Plane liegt. Die Ground Plane ist ebenfalls eine reflektierende Metallfläche die die Strahlungseigenschaften der Antenne verbessert. Die beiden Metallplatten sind meist in einer Plastikbox untergebracht, welche das Innere vor Schäden und Umwelteinflüssen schützt, sowie die Abmessungen und das Know-How verbirgt [6]. Mit dem zuletzt genannten hatten wir auch zu kämpfen, da wir die Antenne nicht selber Entwickelt haben. Die Firma Feig stellte uns einige hilfreiche Parameter zu Verfügung, jedoch verriet sie uns verständlicherweise nicht die genauen Abmessungen des Patches (Metallfläche), was das bestimmen der Fernfeldgrenze (siehe 2.3.3) nicht leicht gemacht hat (wird in Kapitel 4 behandelt).



(a) UHF Patch-Antenne mit Plastikdeckel

(b) Innereraufbau einer UHF Patch-Antenne

Abbildung 3.23: UHF Patch-Antenne [6]

Wie bereits erwähnt ist die verwendete Antenne breitbandig was unserem Messsystem natürlich zu gute kommt. Das Prinzip unserer Messung ist recht einfach. Wir schicken fortlaufend ein Kommando in einem bestimmten Frequenzbereich (z.B. 800MHz - 1GHz) und variieren nach jedem Durchgang die Leistung. Auf diese Weise können wir die Performance eines UHF Transponders in einem breiteren Bereich wiedergeben. Da die Antenne nicht das selbe Strahlungsverhalten bei jeder Frequenz aufweist, muss diese Tatsache in der Messung berücksichtigt werden. Der Antennenhersteller Feig stellte uns in diesem Sinne den VSWR (Stehwellenverhältnis) Graph mit einpaar Eckdaten zu Verfügung (Abbildung 3.24). Anhand dessen haben wir durch Auswertung und Interpolation der Kurve die Strahlungseigenschaften der Antenne bei verschiedenen Frequenzen rekonstruieren können. Ein Beispiel ist in der Abbildung 3.22 dargestellt, sowie einige Werte in tabellarischer Form veranschaulicht.

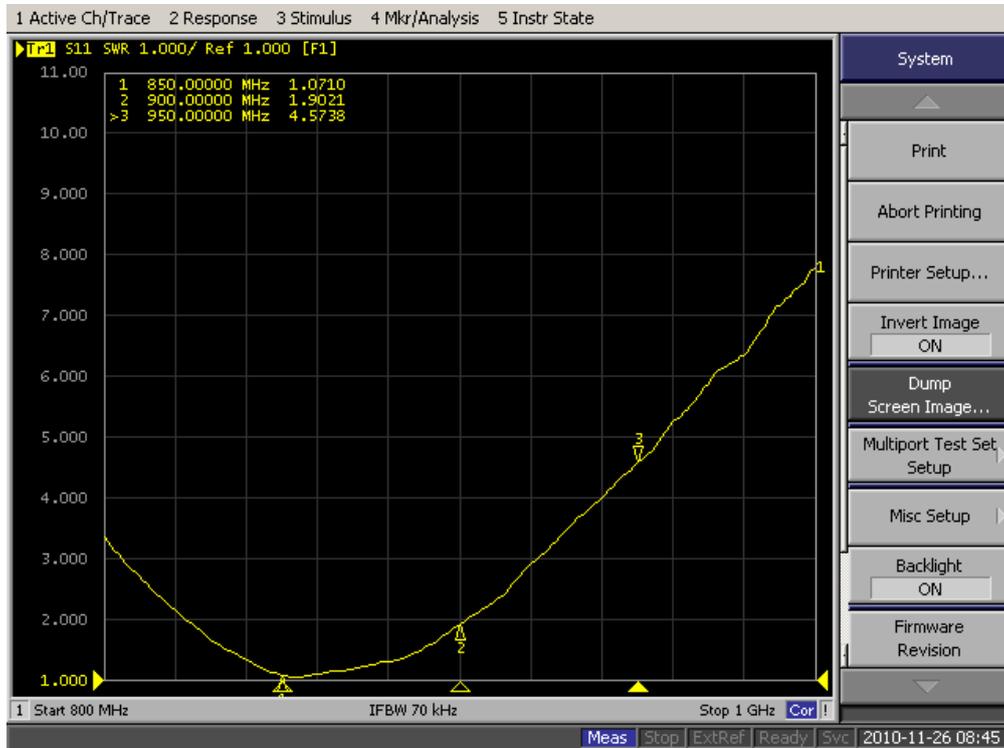


Abbildung 3.24: Das Stehwellenverhältnis (SWR) der Feig UHF Antenne

Wie oben schon angesprochen haben wir anhand des Graphen aus der obigen Abbildung die Strahlungswerte bei den einzelnen Frequenzen ermitteln können. Dies wurde so gelöst in dem wir so viele Werte wie es möglich war manuell von der Skala des Graphen ermittelt haben. Die ausgelesenen Werte wurden dann nach den folgenden Formeln im Text umgerechnet und in die Auswertesoftware (LabVIEW) hinein kopiert. Bei Bedarf ermittelt dann die Software den interpolierten Wert zwischen zwei bekannten Stützpunkten.

$$P_{Ant} = (1 - S_{11}^2) \cdot P_{SMIQ} \quad (3.5.1)$$

- S_{11} S-Parameter
- P_{SMIQ} Leistung die am SMIQ eingestellt wurde
- P_{Ant} Leistung die an der Antenne abgestrahlt wird

Als erstes wurden die bekannten Werte des Stehwellenverhältnis oder auch VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) genannt in die Formel 3.5.2 eingesetzt. Das Stehwellenverhältnis gilt als Maß für den Reflexionsgrad einer Leitung.

$$S_{11} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (3.5.2)$$

VSWR Das Stehwellenverhältnis

Durch das einsetzen der bekannten VSWR Werte kommt man schnell auf die S-Parameter Werte. Mit dem S-Parameter gibt man das Leistungsverhältnis zwischen zwei Ports in einem System an. Die beiden Ziffer (11) nach dem *S* kennzeichnen den Eingangs- bzw. den Ausgangsport. S_{11} bedeutet also das man vom SMIQ an die Antenne Leistung sendet und schaut was zurück reflektiert wird. Schließlich rechnet man die abgestrahlte Leistung vom SMIQ (P_{SMIQ}) in Watt um, so das man schlussendlich die ankommende Leistung (P_{Ant}) an der Antenne bei entsprechender Frequenz in Watt erhält. Am Ende wird noch eine Einheitskonversion von Watt auf dBm durchgeführt so das man die einzelnen bekommenen Werte bei jeder Frequenz berücksichtigen kann. Mit der Gleichung

$$P_{SMIQ} - P_{Ant} = P_R \quad (3.5.3)$$

P_R Reflektierte Leistung

erhalten wir die Reflektierte Leistung (P_R) welche zur P_{SMIQ} dazu addiert werden muss um die benötigte Leistung von der Quelle (P_A) zu bekommen.

$$P_{SMIQ} + P_R = P_A \quad (3.5.4)$$

P_A Benötigte Quellenleistung

Auf diese Weise führt man eine Art der Kalibrierung durch, so dass man sicher gehen kann das die Leistung vom SMIQ , auch wirklich von der Antenne abgestrahlt wird. Was sicherlich auch berücksichtigt werden muss sind die Kabeln die beim vernetzen der einzelnen Komponenten verwendet werden. Alle möglichen Kabeln die zur Messung herangezogen werden können wurden sorgfältig vermessen und in der Software berücksichtigt bzw. zur P_A dazu addiert. Durch bedenken all dieser Faktoren lassen sich schließlich relativ genaue Messungen der Tag Performance durchführen welche zur Optimierung und

Weiterentwicklung des RFID-Systems beitragen können.

Mit Hilfe der obigen Formeln lässt sich die benötigte Leistung die am SMIQ eingestellt werden muss, damit die Reflexionen bei der gegebenen Frequenz kompensiert werden können einstellen. Ein Beispiel in tabellarische Form ist im weiteren Verlauf abgebildet, sowie ein Rechenbeispiel zur der genannten Tabelle, wenn mit einer Frequenz von 868MHz bei 10dBm Leistung gemessen wird.

Rechenbeispiel für 868MHz bei 10dBm:

$$S_{11} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} = \frac{1,0823 - 1}{1,0823 + 1} = 0,0395 \quad (3.5.5)$$

$$dBm \rightarrow Watts = P_{SMIQ} = 10^{10/10} = 0,01W \quad (3.5.6)$$

$$P_{Ant} = (1 - S_{11}^2) \cdot P_{SMIQ}[W] = 0,009984W \quad (3.5.7)$$

$$Watt \rightarrow dBm = 10 \log(0,009984) = 9,9932105dBm \quad (3.5.8)$$

$$P_R = P_{SMIQ} - P_{Ant} = 0,0067894dBm \quad (3.5.9)$$

$$P_A = P_{SMIQ} + P_R = 10,0067894dBm \quad (3.5.10)$$

<i>Freq</i> [MHz]	S_{11}	P_{SMIQ} [dBm]	P_{Ant} [dBm]	P_R [dBm]	P_A [dBm]
800	0,5454545	10	8,4663355	1,5336644	11,533664
.
.
.
868	0,0395236	10	9,9932105	0,0067894	10,006789
.
.
.
1000	0,7727272	10	6,0518924	3,9481075	13,94810

Tabelle 3.1: Berechnete Antennenparameter für 10dBm mit Hilfe der Formeln 3.5.1-3.5.4

3.6 Die Ansteuer- und Auswerteeinheit

Die Anforderung an unser Messsystem war in erster Linie ein automatisierten Ablauf der Messung zu bewerkstelligen, so das der Aufwand der bedienenden Person so gut wie möglich minimiert wird. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden kommt man nicht um eine Lösung ohne eines der gängigen Softwarepakete. Da wir mit programmierbaren Geräten im Labor arbeiten war das geeignete Softwarepaket das die Ansteuerung dieser Geräte unterstützt schnell gefunden. Wir entschieden uns für die grafische Programmierumgebung LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) von der Firma National Instruments.

„LabVIEW ist eine grafische Programmierumgebung, mit der sich anspruchsvolle Mess-, Prüf-, Steuer- und Regelsysteme entwickeln lassen. Dabei werden intuitive grafische Symbole eingesetzt und miteinander verbunden, so dass eine Art Flussdiagramm entsteht. LabVIEW kann mit hunderten von Messgeräten eingesetzt werden und bietet zahlreiche integrierte Bibliotheken für erweiterte Analyse- und Darstellungsfunktionen zur Erstellung virtueller Messgeräte. Die LabVIEW-Plattform hat sich über die Jahre zum Industriestandard entwickelt und kann mit verschiedenen Ziel- und Betriebssystemen eingesetzt werden.“ [13]

Die Programmiersprache in graphischer Form wie von LabVIEW verwendet wird als „G“ bezeichnet und ist nach dem Dataflowmodell strukturiert. Jede LabVIEW Applikation besteht aus einem Blockdiagramm welcher den eigentlichen graphischen Code beinhaltet und einem Frontpanel dass das User-Interface darstellt.

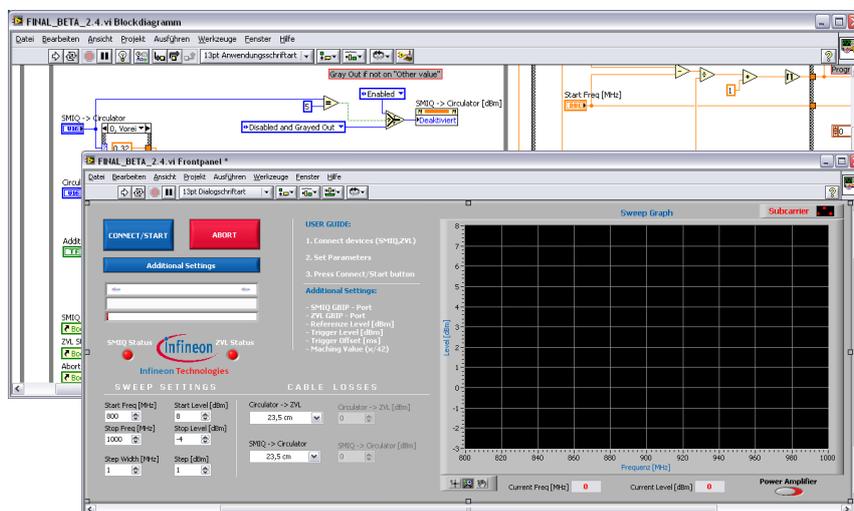


Abbildung 3.25: LabVIEW Programmierumgebung

Am ende dieses Kapitels widmen wir uns den wohl wichtigsten Baustein in unserem Messsystem. Ohne die Softwarekomponente würde das Messsystem als solches kein Sinn machen. Die Steuereinheit bzw. das LabVIEW basierte Programm ist das Herzstück in diesem Projekt. Die meiste Zeit und Mühe wurde gerade in diese Komponente investiert um ein automatisierten und genauen Ablauf der Messung zu erhalten. Das Programm steuert über die GPIB (IEEE 488.2) Schnittstelle den gesamten Mess- und Auswertevorgang und stellt die gesammelten Messergebnisse in Tabellarischer und Graphischer Form zu Verfügung.

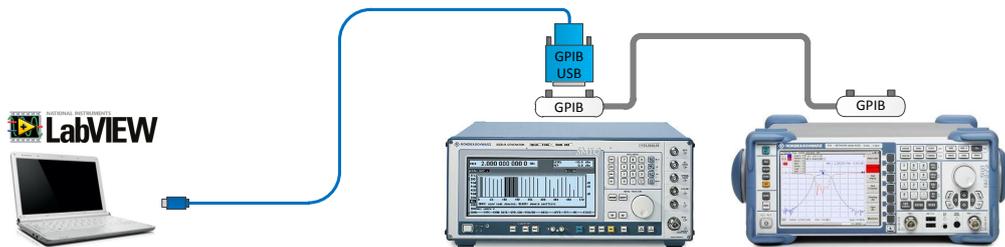
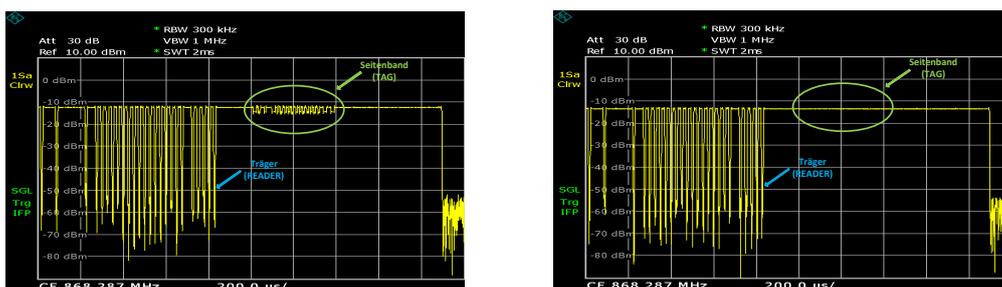


Abbildung 3.26: Zusammenschaltung der Messsystem-Komponenten

Die LabVIEW Software stellt mittels der GPIB Schnittstelle die Verbindung zum Steuerndem Gerät (SMIQ und ZVI) dar. Man ist so in der Lage alle wichtigen Parameter die zu Messung benötigt werden vom User Interface zu steuern. Die Applikation liest die durch den User eingegebenen input Parameter aus der Bedienfläche aus, generiert und sendet das Query Kommando aus dem SMIQ zum Transponder, erfasst durch den ZVI das Backgescatterte Signal und wertet je nach Leistungspegel (bis zur 16dBm am Antennen Eingang ohne Verstärker) und Frequenz (800-1000MHz) die Rückantwort des Transponders aus.



(a) Query mit Tag Rückantwort

(b) Query ohne Tag Rückantwort

Abbildung 3.27: Ein Typisches Backscatter Signal während einer Messung

Prinzipiell ist die Software in der Lage Kommandos zu versenden und die Tag Rückantwort zur empfangen bei verschiedenen Modulationsarten und Codierverfahren abhängig vom verwendeten Protokoll. Des weiteren ist es möglich die Schrittweite sowohl der Frequenz als auch der Leistung im Sweep Modus zu regulieren um ein gegebenenfalls präziseres Ergebnis im bestimmten Frequenzbereich zu erhalten. Wir ermitteln also die maximale Reichweite der Kommunikation zwischen Tag und Reader bzw. Empfindlichkeit des Transponder indem wir ein Query Kommando aussenden und die Rückantwort des Transponders detektieren. Durch das erhaltene Messergebnis lässt sich dann auf das Mismatch zwischen der Tag Antenne und dem Tag IC schließen. Ein Flussdiagramm aus der Abbildung 3.28 verdeutlicht nochmals unser Messprinzip.

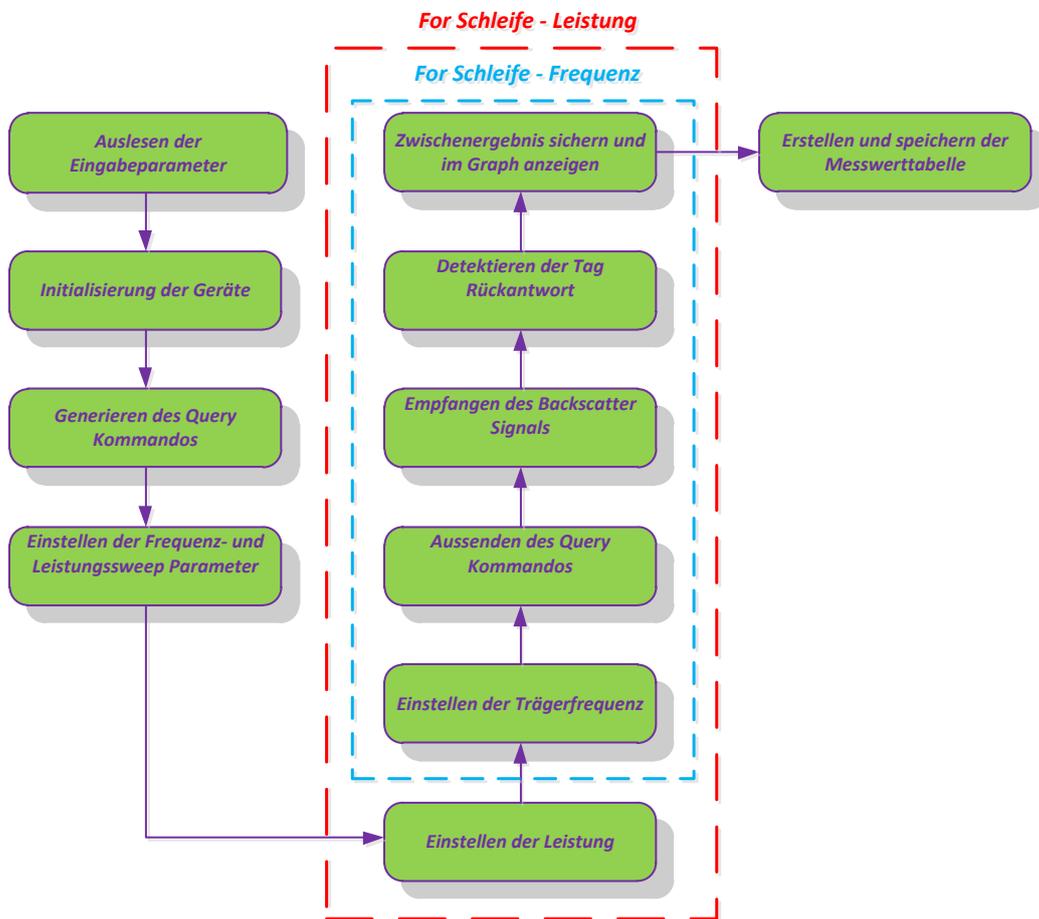


Abbildung 3.28: Flussdiagramm des Messprinzips

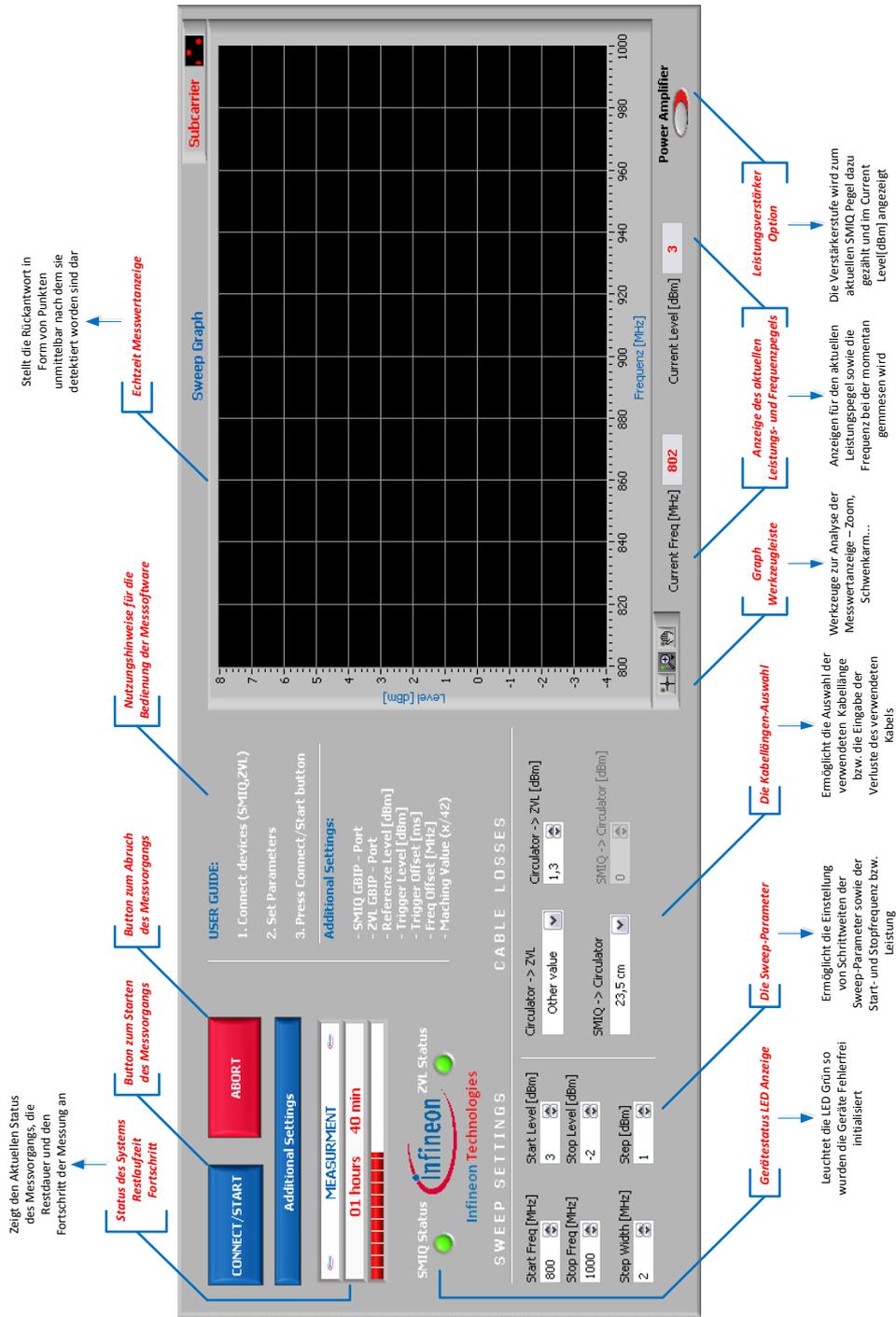


Abbildung 3.29: Das User Interface

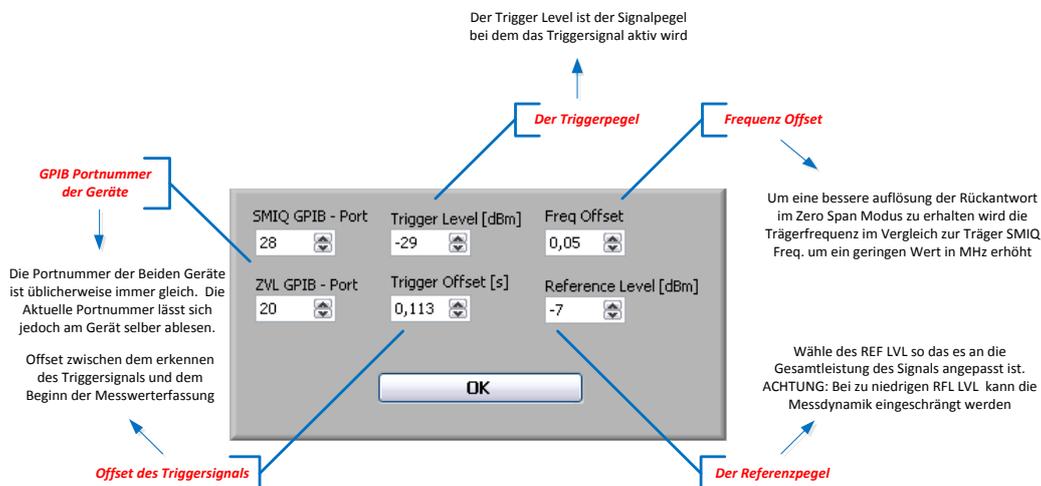


Abbildung 3.30: Additional Settings Menü

Da wir uns nun mit dem eigentlichen Messablauf vertraut gemacht haben, wird im folgenden die Bedienoberfläche der Software näher erläutert und veranschaulicht. Das Graphische User Interface das im LabVIEW entwickelt wurde ist in der Abbildung 3.29 dargestellt, sowie das Zusatzmenü (Additional Settings) mit einigen nützlichen Einstellparametern (Abbildung 3.30) dargeboten. Bei der Benutzeroberfläche setzte man von Anfang auf Einfachheit und Übersichtlichkeit. Es wurde versucht die Plattform möglichst simpel zu halten so das auch ungeübte User intuitiv mit dem Programm tagtäglich umgehen können. Die Bedienelemente versuchte man unkompliziert, übersichtlich und gut lesbar anzuordnen so das sich keine Ungereimtheiten auf tun. Die wichtigsten Eingabeparameter (Grund Bedienelemente) sind wie folgt dargestellt:

- **Bedienschalter:** An der Bedienoberfläche findet man 3 Knöpfe bzw. Buttons. Das sind CONNECT/START, Abort und der Additional Settings Button. Der Start und Abort (Abbruch) Button erklären sich fast von alleine, während der Additional Settings Button ein Menüfenster öffnet das eine Reihe von zusätzlichen Einstellmöglichkeiten bietet. Die genaue Erklärung der einzelnen Parameter in diesem Menü wurden in der Abbildung 3.30 beschrieben.
- **Anzeigen:** Diese Anzeigefelder unter dem Additional Settings Menü informiert den Benutzer über den Aktuellen Stand der Messung während sie aktiv ist. Mit Hilfe der Anzeigefelder lässt sich der Status, die Verbleibende Zeit sowie der Fortschritt der Messung jederzeit mitverfolgen. Des weiteren sind zwei LED-Statusleuchten an

der Bedienfläche angebracht, welche den Status der beiden Geräte Anzeigen, da es vorkommen kann das die Geräte nicht richtig miteinander verbunden sind so das Fehler beim Ansteuern entstehen können. Zusätzlich wurden noch Zwei Anzeigen der Aktuellen Frequenz und des Leistungspegels unter dem Sweep Graphen angebracht so das man stets weiß wo das System gerade Messungen durchführt. Nebenbei ist auch ein Schalter (Power Amplifier) aufzufinden der die Current Level Anzeige gegebenenfalls an diese Option Anpasst.

- **Benutzer Leitfaden:** Hier wurde die Bedienung in einigen Worten erläutert, sowie die Zusatzfunktionen des Additional Settings Menüs aufgelistet.
- **Sweep Parameter:** Dieser Teil des User Interface ist klarerweise zum einstellen der Sweep Parameter gedacht. Hier lassen sich die Start und Stop Frequenzen bzw. die Start/Stop Leistungspegel, sowie die Schrittweiten einstellen.
- **Cable Losses:** Hier lassen sich die Kabellängen angeben, so dass das Programm die Verluste der einzelnen Kabeln berücksichtigen kann. Falls ein Kabel nicht in der Liste angeführt ist, lassen sich durch manuelle Eingabe die Verluste vom verwendeten Kabel eingeben.
- **Sweep Graph:** Im eingebauten Graphen werden die momentanen Messergebnisse nach dem Auswerten angezeigt.

3.6.1 Der Programmaufbau

Da wir die wesentliche Vorgehensweise jetzt kennen, beschäftigen wir uns nun im weiteren Verlauf dieses Unterkapitels etwas detaillierter mit den einzelnen Schritten des Programm Flussdiagramms aus der Abbildung 3.31. Es werden Ausschnitte des graphischen Codes analysiert so wie die Funktionsweise einiger Programmabläufe diskutiert.

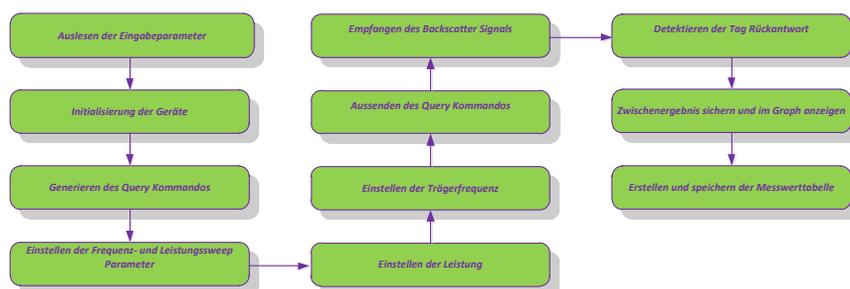


Abbildung 3.31: Der Programmablauf

Auslesen der Eingabeparameter:

Beim Starten des Programms öffnet sich dem Benutzer eine Bedienfläche bzw. das User Interface welches wir gerade beschrieben haben. Der Benutzer hat nun die Möglichkeit die gewünschten Parameter einzustellen die seine Messung erfordert. Nachdem alle Parameter korrekt im User Interface drin stehen, wird der Benutzer intuitiverweise den STRART Knopf betätigen. Nach dem betätigen des Startknopfes kommt es zur eine Kettenreaktion und der Messvorgang wird gestartet. Der Ablauf des Programms startet wie im Flussdiagramm vermerkt mit dem Auslesen der Eingabeparameter.

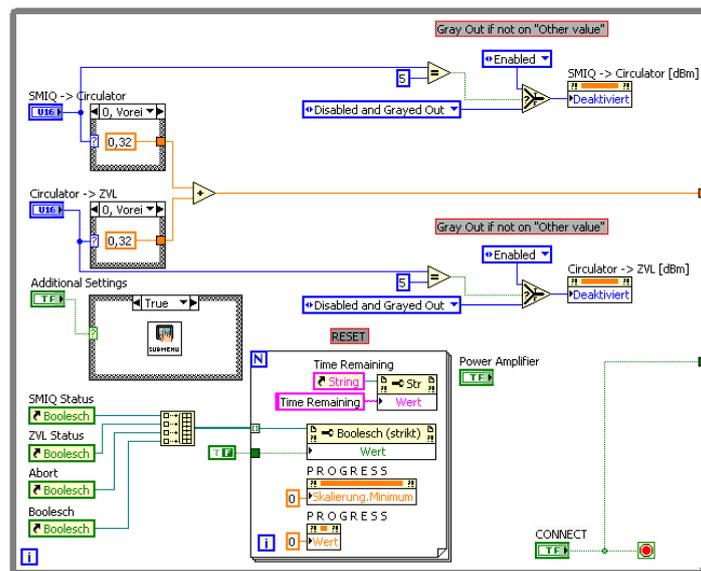


Abbildung 3.32: Auslesen der Eingabeparameter

In diese Phase des Programms werden alle Benutzereingaben übernommen, Anzeigefelder und Indikatoren werden zurückgesetzt, sowie der Sweep Graph gelöscht. Dies geschieht nach jedem Aufruf des Programms, oder nach dem Abbrechen des Messvorgangs mit dem Abort Button. Nach durchführen dieses Vorgangs werden alle eingegebenen Werte zur nächst höheren Instanz weitergeleitet.

Initialisierung der Geräte:

Nach dem alles an der Bedienfläche auf Standardeinstellungen zurückgesetzt wurde, können die Geräte (SMIQ, ZVL) nun angesprochen bzw. Initialisiert werden. Dies geschieht so das die LabVIEW Software eine Abfrage des eingestellten Ports durchführt und eine Rückantwort der Geräte einfordert.

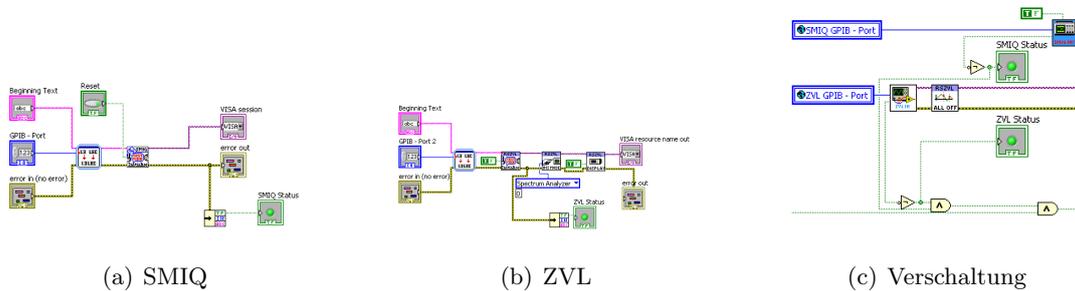


Abbildung 3.33: Initialisierung der Ansteuernden Geräte

Nach dem die Geräte als Aktiv wahrgenommen und ihre Initialisierung durchgeführt wurde, führen sie ein Reset der vorhandenen Parameter und ihre Anzeige durch. Der ZVL schaltet zudem noch zum Spektrumanalysator Modus um, da er wie im 3.5.2.2 beschrieben ein Netzwerkanalysator mit der Zusatzfunktion eines Spektrumanalysators ist. Als letztes wird noch der Status an die zwei LED-Statusleuchten weitergeleitet und die Bereitschaft für weitere Anweisung zur nächsten Instanz signalisiert.

Generieren des Query Kommandos:

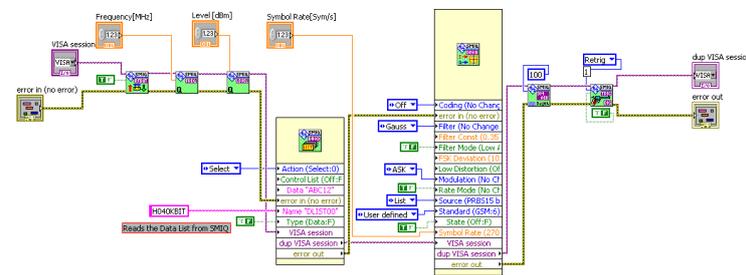


Abbildung 3.34: Generieren des Query Kommandos im SMIQ

Nach dem Ansprechen der Geräte wird im nächsten Zustand des Programmflusses der Query Befehl generiert. Das Query Kommando initialisiert ein Transponder in Reader Nähe für die Rückantwort. Dieser Befehl wird als Datenliste im SMIQ geladen. Nach dem Laden des befehlsatzes, werden alle anderen Parameter eingestellt wie z.B. die Modulationsart und die Modulationstiefe, Filter, die Symbolrate etc.

Einstellen der Frequenz- und Leistungssweep Parameter: Einstellen der Leistung:

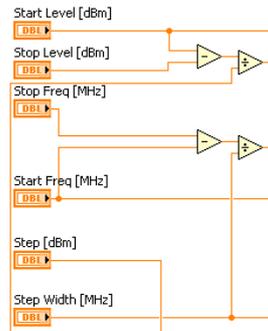


Abbildung 3.35: Übernahme und berechnung der Sweep Parameter

Wurden alle benötigten Einstellungen vorgenommen, stellt der SMIQ die vom User Eingeegebenen Sweep Parameter Werte ein und berechnet die Anzahl der Iterationen der beiden For Schleifen (Leistungs- und Frequenz-For Schleife). Die Leistungs- beinhaltet die Frequenz-For Schleife da in ihr der eigentliche Messvorgang statt findet und die Leistung nur nach jedem Durchlauf des Frequenzspektrums (800MHz bis 1GHz) verringert wird. Die nachfolgenden 4 Programzustände ereignen sich gerade in dieser Frequenz-For Schleife.

Einstellen der Trägerfrequenz:

In diesem Schritt des Messablaufes wird die Startfrequenz je nach Eingabe vom Nutzer (meistens 800MHz) eingestellt. Es wird außerdem nach jeder Erhöhung der Frequenz, die Antennen Strahlungseigenschaften bei den einzelnen Frequenzen berücksichtigt und zur schon eingestellten Leistungspegel dazugezählt (siehe 3.5.2.4). Das heißt nichts anderes als das bei beispielsweise 800MHz eine höhere Leistung eingestellt werden muss damit an der Antenne die gleiche Leistung bei z.B 868MHz (Arbeitsfrequenz der Antenne) abgegeben werden kann um die Performance Eigenschaften beim gefordertem Leistungspegel bestimmen zu können.

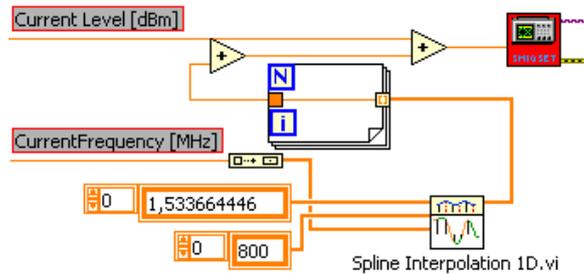


Abbildung 3.36: Berücksichtigung der Antennen Strahlungseigenschaften

In der Abbildung 3.36 ist ein Teil des Graphischen Codes dargeboten. Wir sehen die Werte aus der Tabelle 3.1 wie sie in Arrays gespeichert sind und bei fein eingestellter Schrittweite der Sweep Parameter zwischen den bekannten Werten ein Interpolierter Wert berechnet werden kann.

**Aussenden des Query Kommandos:
Empfangen des Backscatter Signals:**

Sollte bis hierhin alles störungsfrei ablaufen, wird das Modulierte Signal ausgesandt. Synchron zum aussenden des Query Befehls, werden im ZVL die Einstellungen für das Empfangen des Backscatter Signal vorgenommen.

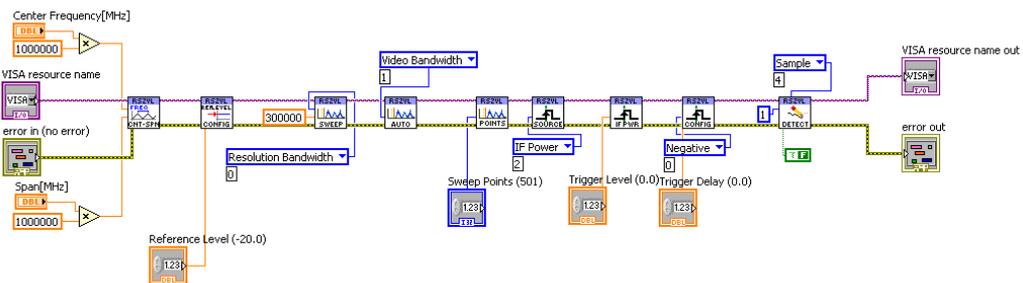


Abbildung 3.37: Einstellung zur Darstellung des Backscatter Signals am ZVL

Detektieren der Tag Rückantwort:

Nun kommen wir zum Kernstück dieses Programms. Das Detektieren der Transponder Rückantwort ist die Phase in welcher die Rückantwort detektiert bzw. als Rückantwort erkannt, verarbeitet und ausgewertet wird. Hier findet eine Vielzahl an mathematischen und logischen Operationen ihren Platz, sowie die eigentliche Messung statt.

Das Grundprinzip wie das Programm die Rückantwort als solche erkennt und später auswertet ist recht simpel, jedoch ist der Weg zum gewünschten Ziel alles andere als einfach. Vereinfacht erklärt, setzen wir den Marker 1 an die Stelle im Signal wo das Seitenband auftreten soll und vergleichen den Leistungspegelwert mit dem vom Marker 2. Der Abstand vom Seitenband zum Träger ist bedingt durch das verwendete Protokoll (Query Kommando) immer gleich. Im folgenden wird nun das Prinzip der Detektierung und Auswertung näher erläutert.

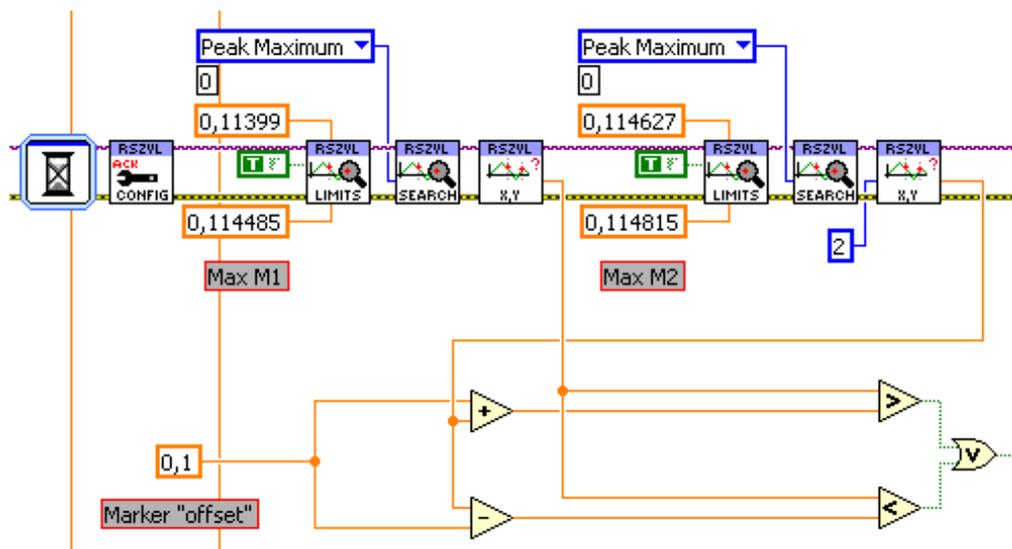


Abbildung 3.38: Detektieren des Vorzeichens der Chipimpedanz

In der Abbildung 3.38 ist der Teil des Graphischen Codes dargestellt mit welchem das Vorzeichen der Chipimpedanz erkannt wird. Das bestimmen des Vorzeichens ist deshalb so wichtig weil wir wie schon angesprochen den Leistungspegel der beiden verwendeten Marker im ZVL vergleichen. Wenn der Marker 1 genau an die Stelle wo die Rückantwort auftritt gesetzt werden kann, so das er den Maximalen oder Minimalen Wert, je nach Vorzeichen der Impedanz anzeigt, kann eine präzisere Aussage über das Vorhandensein der Rückantwort getroffen werden.

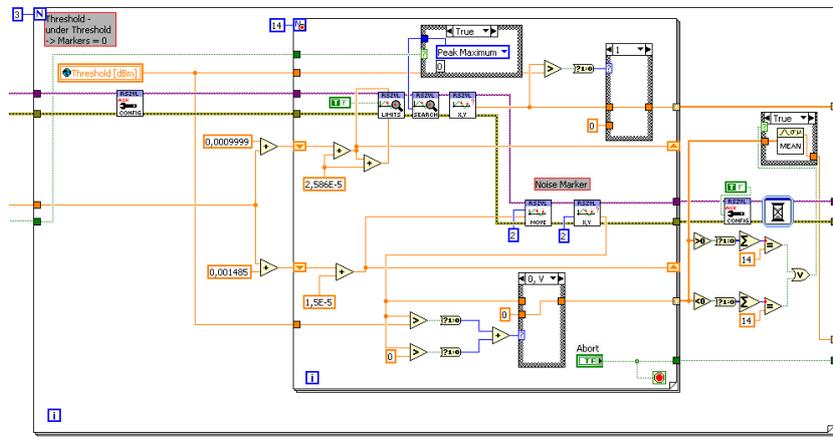


Abbildung 3.39: Messung bzw. vergleich der Marker Leistungspegelwerte

Der oben in der Abbildung 3.39 dargestellte Code ist für das Steuern, Berechnen und Auslesen der Marker bzw. Marker Leistungspegelwerte zuständig. Da Störungen in dieser Phase der Messung am häufigsten sind, werden im diesem Abschnitt des Programms eine Vielzahl an Randbedingungen abgearbeitet und Maßnahmen zur Stabilisierung der Messung getroffen. Auf Grund der „Trockenheit“ der Materie werden diese Maßnahmen nicht weiter diskutiert.

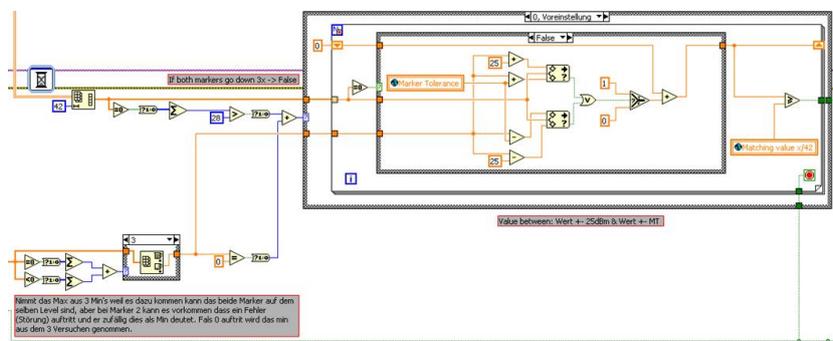


Abbildung 3.40: Auswertung der Markerwerte

Nach dem Auslesen und Verarbeiten der Werte aus dem beiden Marker, werden die Daten vom Marker 1 (Werte der möglichen Rückantwort) nun mit dem Daten vom Marker 2 (Noise Floor - „Rauschteppich“) nach einem recht einfachen entwickelten Verfahren Analysiert, um schließlich das Ergebnis als Rückantwort oder Rauschen einzustufen.

Um nochmals das Messen zur Verdeutlichen ist in der Abbildung 3.40 zu dem Graphischen Code das oben erklärt und dargestellt wurde die Anzeige am ZVL während der Messung Abgebildet.

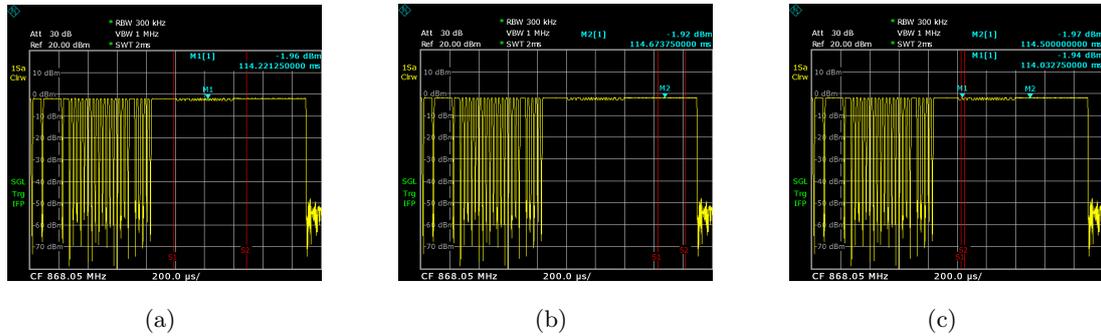


Abbildung 3.41: Vorgehensweise bei der Detektierung der Tag Rückantwort

Die ersten beiden Bilder (a und b) aus der Abbildung 3.41 entsprechen dem Graphischen Code der Abbildung 3.38 welche für die Auffindung des Vorzeichens der Chipimpedanz zuständig ist. Hier werden jeweils die Maxima der Beiden Bereiche gesucht und nach einem Auswahlverfahren das Vorzeichen bestimmt. Anschließend wird der Bereich in dem die Rückantwort des Tags auftritt in 14 gleich große Segmente unterteilt und entsprechend dem detektierten Vorzeichen der Chipimpedanz der Max oder der Min Wert gesucht (Abbildung 3.41c). Dieser Schritt wiederholt sich genau 3 Mal, da es auf Grund von Störungen zum Einbruch des stehenden Signals und somit zur Fehlinterpretation im Messergebnis durch die Software kommen kann.

Auf diese Weise ist gewährleistet das die Fehler beim Detektieren der Rückantwort immer möglichst klein gehalten werden. Außerdem können durch dieses Verfahren auch kleinste Veränderungen im Zielbereich erkannt und verarbeitet werden.

Zwischenergebnis sichern und im Graph anzeigen:

Sind alle Werte aufgenommen und Ausgewertet, wird das Zwischenergebnis in einem Zwischenspeicher abgelegt und im Sweep Graphen je nach momentanen Leistungspegel und Frequenz abgebildet, so das der User eine Art von Echtzeit anzeige zu Verfügung hat.

Alle gesammelten Teilergebnisse werden schließlich am Ende jeder Messung zum Gesamtergebnis zusammengefasst und an die nächst höhere Instanz im Programmablauf weitergereicht.

Erstellen und speichern der Messwerttabelle:

Ist die gesamte Messung Abgeschlossen, so erscheint ein Popup Fenster welches den User auffordert ein Namen und Speicherort für den Graphen und die dazugehörige Excel Tabelle anzugeben. Der Graphische Code ist dazu in der folgenden Abbildung gegeben.

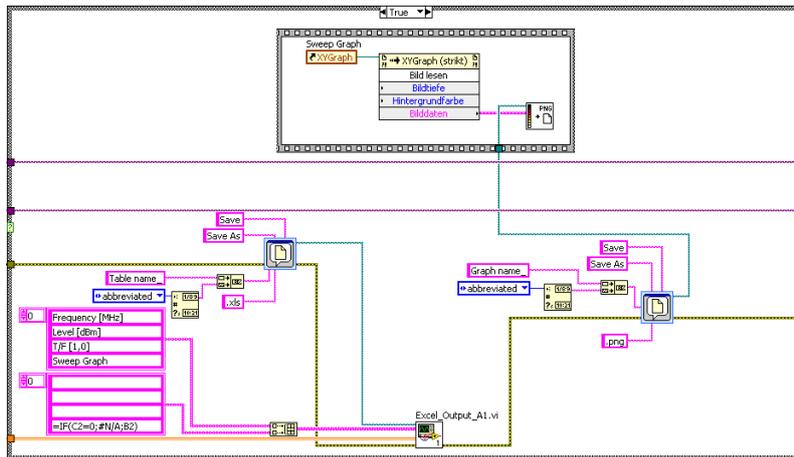


Abbildung 3.42: Erstellen und Speichern des Graphen und der Excel Tabelle

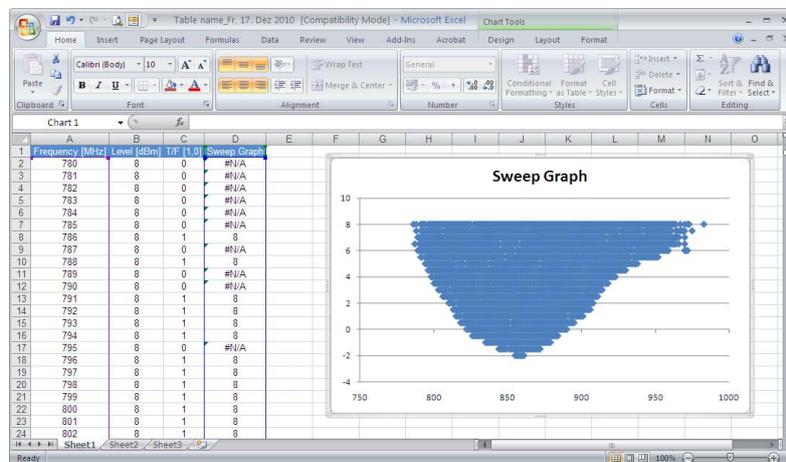


Abbildung 3.43: Das gespeicherte Excel File

Der gesamte Messverlauf wird in einer Excel Tabelle protokolliert mit deren Hilfe das Messergebnis mit einem anderen verglichen werden kann um gegebenenfalls Verbesserungen am Transponder vorzunehmen. In der Tabelle sind alle Frequenzen sowie Leistungspiegel vermerkt, als auch die Einzelergebnisse in binärer Form. Die „1“ bedeutet das eine

3 Entwicklung des Messsystems

Rückantwort bei der gegebenen Frequenz und Leistungspegel detektiert wurde. Die „0“ bezeichnet dann klarerweise das nicht Vorhandensein der Tag Rückantwort. Des Weiteren wurde eine Excel Funktion am Ende jeder Zeile angehängt so dass die Erzeugen eines Graphen Vereinfacht wird.

Kapitel 4: Evaluierung des Messsystems

Im folgenden Kapitel widmen wir uns schließlich der Evaluierung des UHF RFID Performance Messsystems. Das Ziel dieses Kapitels ist es die Vorteile des Messsystems besser zu vermitteln. Es wurden mehrere verschiedene Messungen durchgeführt um die Effizienz und die Nützlichkeit so einer Messeinheit zum Ausdruck zu bringen. Wie erwähnt, detektiert das Messsystem die Systemresonanzfrequenz, außerdem ist es in der Lage auf ein möglichen Mismatch (Impedanzanpassung) zwischen der Tagantenne und dem Tag IC zu verweisen. Ein weiterer nützlicher Nebeneffekt jeder Messung, ist die Darbietung der Bandbreite eines jeden Prüflings.

In weiterer Folge wird nun der Messaufbau, sowie einige der angesprochenen Messversuche veranschaulicht und ihre Ergebnisse diskutiert.

4.1 Der Messaufbau

Die Verschaltung der einzelnen Komponenten in Kapitel 3 beschrieben, sollte möglichst bei jedem Benutzen der Messeinheit übernommen werden. Der alleinige Aufbau für welchen sich die Messenden Person entscheidet ist bis auf einige Elemente Geschmack Sache. Das heißt, dass man einige Dinge möglichst nicht verändern werden sollte.

Die Räumlichkeit der Messanlage lässt sich verändern, die Geräte (SMIQ, ZVL) können anders angeordnet werden, die verwendeten Kabellängen können variieren, es kann sogar ein anderer Zirkulator (mit größerem Arbeitsbereich) eingesetzt werden, jedoch sollte die Aufbauart bzw. die Ausrichtung zwischen der UHF Antenne und des Prüflings beibehalten werden. Dies ist deshalb so wichtig weil bei einer anderen Ausrichtung der UHF Antenne zum Tag bei einem kleinen Raum (wie das verwendete Labor), viele Reflektionen und Interferenzen in Kauf genommen werden müssen. Durch diese Störer würde aller Wahrscheinlichkeit nach das Messergebnis erheblich darunter leiden.

Die einzelnen Komponenten (SMIQ, ZVL, UHF Antenne) der Messeinheit wurden platzsparend übereinander gestapelt. Dies hat denn Vorteil das die Einheit eine kompakte Bauweise aufweist und die Kabellängen die zur Verbindung zwischen SMIQ,ZVL und Zirkulator benötigt werden klein gehalten werden können. Auf diese Weise kann der Zirkulator direkt an den SMIQ angeschlossen werden, sowie der Draht vom Zirkulator zum ZVL klein gehalten werden. Die Verluste verursacht durch die Kabeln können somit nahezu vernachlässigt werden.

In der Abbildung 4.1 ist der praktischste und einfachste Messaufbau mit welchem eine

4 Evaluierung des Messsystems

Messung durch die Messeinheit im Labor durchgeführt werden kann abgebildet. Wie man aus der Abbildung entnehmen kann, wurden Schaumstoffteile sowohl unter, als auch oberhalb der Reader Antenne platziert. Der untere Schaumstoffpolster dient der Vorbeugung von Reflexionen, da auch ein Teil der Strahlung die von der Antenne abgegeben wird an der Unterseite zu detektieren ist. Der Schaumstoff zwischen der Antenne und dem Transponder, stellen eine Art der Luftlinie dar, so dass immer der gleiche Abstand zwischen Antenne und Prüfling garantiert werden kann.

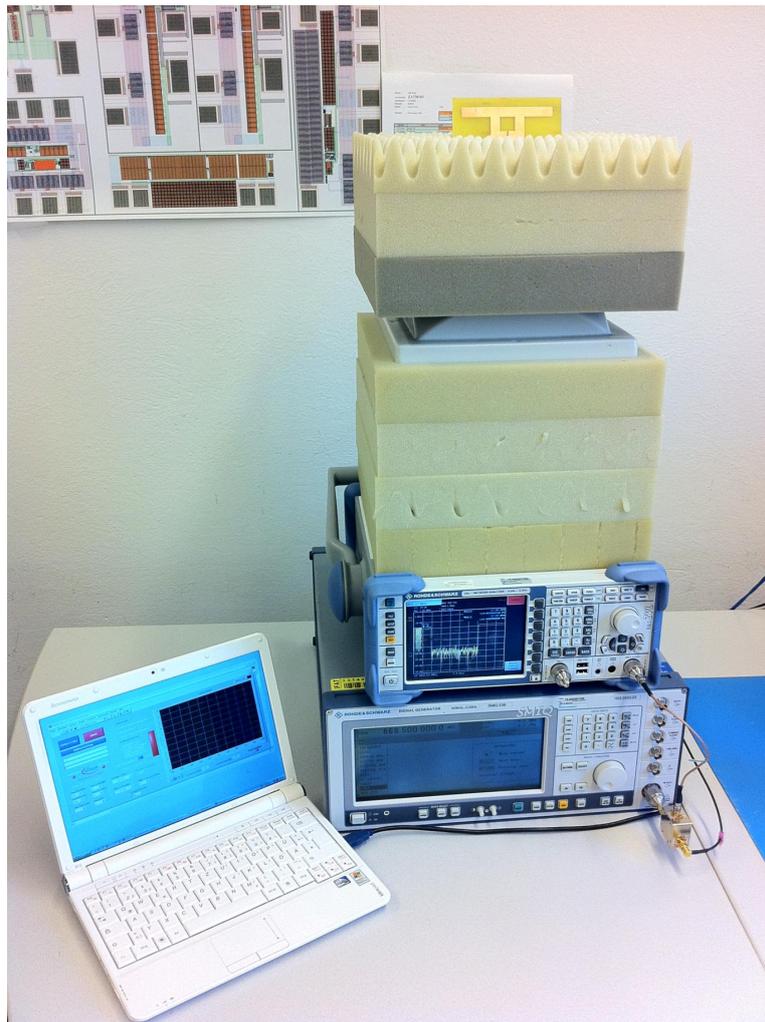


Abbildung 4.1: Der Aufbau

4.2 Die Messversuche

Die Evaluierung des Messsystems wurden mit Hilfe von 3 Messzyklen durchgeführt. Bei der ersten Messung wurden auf ein Infineon UHF RFID Chip, jeweils drei verschieden große Dipolantennen angebracht und die Systemresonanzfrequenz gemessen. Dieser Test soll am besten den Vorteil und das Prinzip so einer Messeinheit verdeutlichen. Durch verändern der Dipolantennenlänge, ändert auch das Tagsysteme seine Systemresonanzfrequenz was wir durch die Messanlage ermitteln liesen.

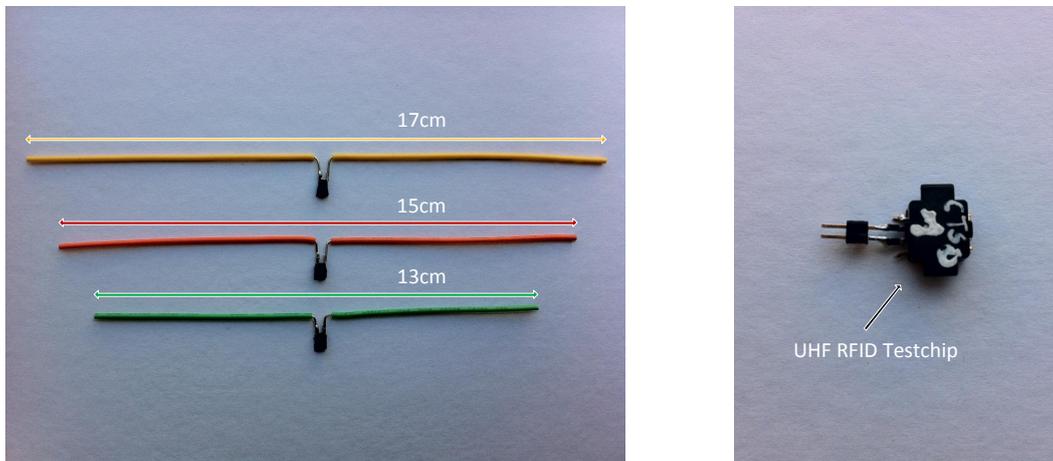
Die zweite Messung wurde ebenfalls mit einem Infineon UHF RFID Chip und einer von unserer Abteilung entwickelten Tag Antenne durchgeführt. Da eine Arbeit über das Matching zwischen der Tagantenne und dem Tag IC besteht, haben wir mittels unserem Systems dies bestätigen wollen.

Der dritte und letzte Test wurde an einem gängigen kommerziellen UHF RFID Transponder ([23]) durchgeführt. Da dieser Prüfling bereits auf die UHF Frequenz ausgelegt ist, sollte unser Messsystem diese Eigenschaften bestätigen und damit die eigene Korrektheit des Messung kontrollieren können. Alle Prüflinge wurden im Abstand von ca. 20cm zur Readerantenne durchgeführt. Die Parameter bei den einzelnen Messungen wurden so ausgelegt um ein bestmögliches Ergebnis zu erzielen.

4.2.1 Messversuch 1

Diese Art von Messung ist besonders interessant im Zusammenhang mit unserem Messsystem. Sie verdeutlicht wie einfach und schnell man ein RFID UHF Transponder auf seine Performance untersuchen kann. In diesem Messversuch haben wir drei $\lambda/2$ -Dipolantennen verwendet. Es ist hinreichend bekannt das die Gesamtlänge eine Dipolantenne idealerweise die Halbe Wellenlänge des Hochfrequenten Signals ist. Verändert man jedoch die Dimensionen der beiden Drähte, so kommt es zur Veränderung der Resonanzfrequenz. Diese Tatsache haben wir uns zum Vorteil gemacht um das entwickelte Messsystem zu Evaluieren. Wir nahmen drei gleich große Dipolantennen und dimensionierten sie so das wir die Drahtlängen um ca. 2cm verkürzten. So bekamen wir drei Unterschiedliche Antennen von 17 bis zu 13cm Länge. Anschließend schlossen wir die Antennen, eine nach der anderen an ein UHF RFID Chip und liesen die Messeinheit die Systemresonanzfrequenz bestimmen. Unser Ziel dabei war es nicht eine passende Antenne für den Testchip zu ermitteln, sondern die Veranschaulichung der Funktionsweise und Nützlichkeit unseres Messsystems.

Wie erwartet, bekamen wir drei unterschiedliche Messkurven bzw. drei verschiedenen Resonanzfrequenzen die aus den folgenden Abbildungen ersichtlich sind.



(a) Dipolantennen

(b) UHF RFID Testchip

Abbildung 4.2: Die bei der Messung verwendeten Dipolantennen und der Testchip

Alle Messungen wurden zwischen 800MHz und 1GHz mit einer Schrittweite von 2MHz durchgeführt, wobei die Leistung ausgehend von 4dBm mit jedem Durchlauf um 0,5 dBm verringert wurde bis der Transponder nicht mehr antwortete. In den einzelnen Messkurven lassen sich auch dort rote Punkte (Vorhandensein der Rückantwort) erkennen wo man sie nicht vermutet. Es sind Fehler die verschiedene Ursachen haben können.

Da das Messlabor ständig im Gebrauch durch Personen ist, können diese Fehler nur schwer vermieden werden. Sie halten sich jedoch im Rahmen, so das man sie vernachlässigen kann. Die Messkurve im Messversuch 3 (4.3) wurde beispielsweise über die Nacht aufgenommen so das solche Folgefehler kaum aufgetreten sind.

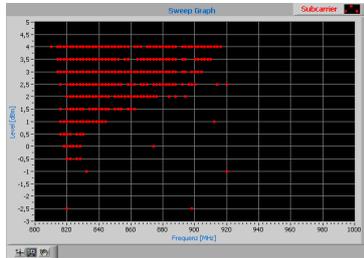
Der Versuch hat gezeigt das prinzipiell große werden $\lambda/2$ -Dipolantennen im niedrigeren Frequenzbereichen verwendet werden, während kleinere Abmessungen der Antennen für die höheren Frequenzen zum Einsatz kommen. Diese Tatsache belegt auch unsere Messung, wo man klar den Zusammenhang zwischen Frequenz und Größe bei Dipolantennen zu erkennen sind.

Das Messergebnis bestätigt wie erwartet die Aussage bezüglich der Verschiebung der Resonanzfrequenzen eines Dipols. Es ist gleichzeitig auch der Beleg für die Funktionstüchtigkeit des Performance Messsystems.

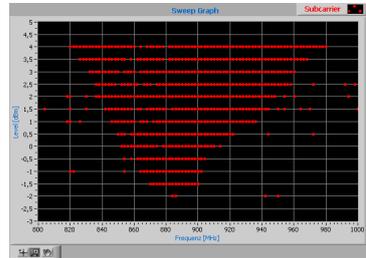
4.2.2 Messversuch 2

Im zweiten Testversuch zur Evaluierung der Messeinheit war das Ziel der Beweis eines Machtings zwischen den Tagsystem-Komponenten (Antenne+Chip) einer bereits erprob-

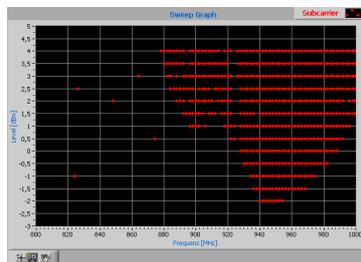
4 Evaluierung des Messsystems



(a) Gelb (17cm)



(b) Orange (15cm)



(c) Grün (13cm)

Abbildung 4.3: Messkurven der verschiedenen Dipolantennen

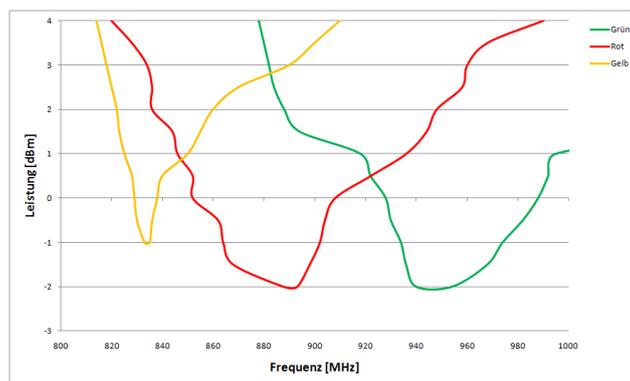


Abbildung 4.4: Vergleichskurve der drei Messungen

ten Arbeit ([12]). Die Idee war es ein bereits wissenschaftlich verifiziertes Ergebnis eines Tagsystems, auch experimentell zu bekräftigen. Auf diese Weise konnte man auch das Messsystem auf seine Richtigkeit und tadellose Funktionstüchtigkeit prüfen.

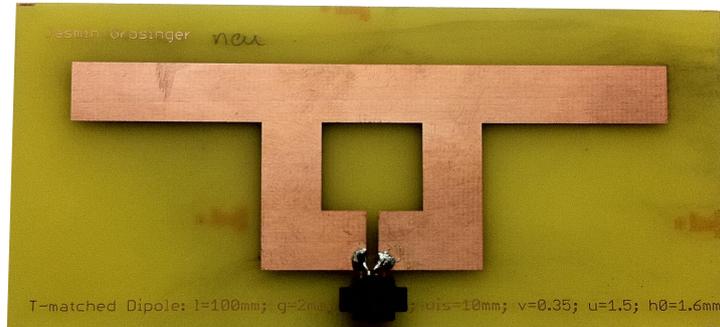


Abbildung 4.5: Der Test-Transponder

Wie erwähnt übernahmen wir das Tagsystem aus einer Arbeit, die im Rahmen des iTire Projektes bei Infineon durchgeführt wurde. In dieser Arbeit führte man ein Matching (Impedanzanpassung) zwischen einem Infineon UHF RFID Chip und eine entwickelten UHF Tag Antenne durch. Die beiden Komponenten wurden auf 864MHz angepasst, mit einem Transmissionskoeffizienten von $\eta_m = 98\% = -0.09\text{dB}$. Dies bedeutet das nur etwa 2% der Leistung an der Antenne reflektiert wird. Die Abmessungen der Antenne sind aus der Abbildung 4.6 zu entnehmen.

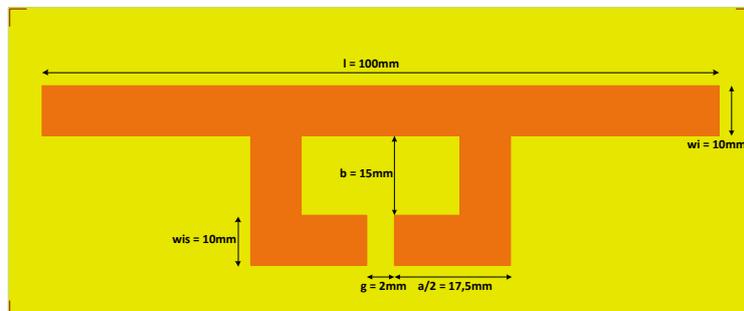


Abbildung 4.6: Antennenabmessungen

Aus der folgenden Abbildung sieht man das Simulationsmodell der Antenne, simuliert mit dem Softwarepaket HFSS. Durch die Simulation konnte man die Optimale Ausrichtung zwischen dem Tag und der Readerantenne schnell ermitteln um ein bestmögliches Ergebnis bei der Messung zu erzielen.

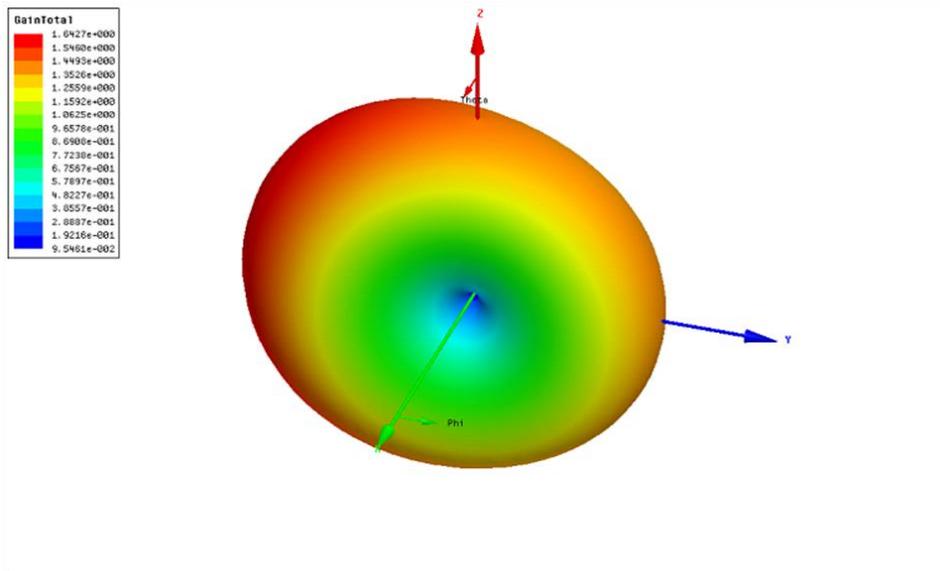
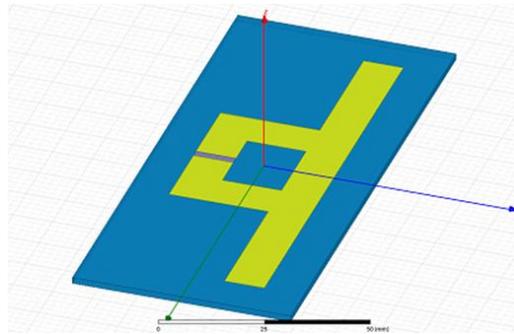


Abbildung 4.7: dipole_tmatch_FR4_RFID_v3 (f=864MHz), simuliert in HFSS

Um die Tagsystem-Resonanzfrequenz bestmöglich ermitteln zu können, führte man gleich zwei Messung durch. Es wurde ein Test mit größeren Frequenz-Schrittweiten realisiert, so das man sich einigermaßen vorstellen konnte mit welcher minimalen Leistung der Transponder noch funktioniert. Danach verringerte man bei der zweiten Messung die

4 Evaluierung des Messsystems

Leistungs-Schrittweite auf 0,1dBm und konnte so relativ genau die Resonanzfrequenz ermitteln. Unsere Ergebnisse, wie aus der Abbildung 4.7 und 4.8 ersichtlich, korrelieren gut mit dem Matching das in [12] erzielt wurde. Sie sind nicht nur ein Beweis der erbrachten Leistungen in der erwähnten Arbeit ([12]), sondern zeigen auch die Ordnungsgemäße Funktionsweise unserer Messanlage.

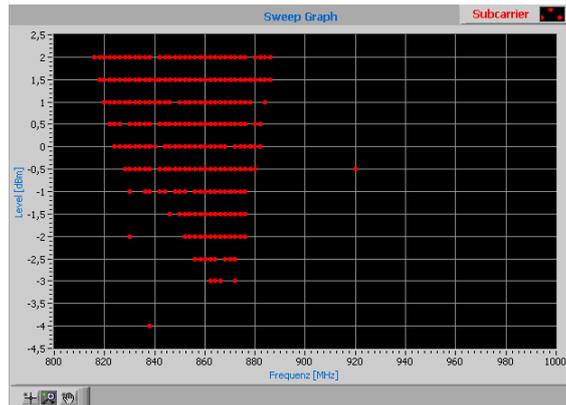


Abbildung 4.8: Messung mit großer Schrittweite

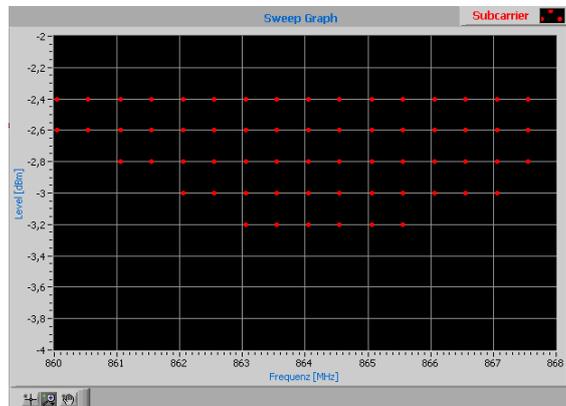


Abbildung 4.9: Messung mit kleiner Schrittweite

4.2.3 Messversuch 3

Bei dieser Messung wurde die Performance eines gängigen kommerziellen UHF RFID Tags bestimmt. Dieser finale Messversuch soll die einwandfreie Bestimmung der Systemresonanzfrequenz durch unser Messsystem bekräftigen. Im Datenblatt des Prüflings ist ein Read Range Graph abgebildet welchen wir versucht haben zu bestätigen. Die Messung wurde mit einem UPM Raflatac Frog EPC Class 1 Gen 2 UHF Transponder durchgeführt. Seine Arbeitsfrequenz ist mit 860-960MHz angegeben.

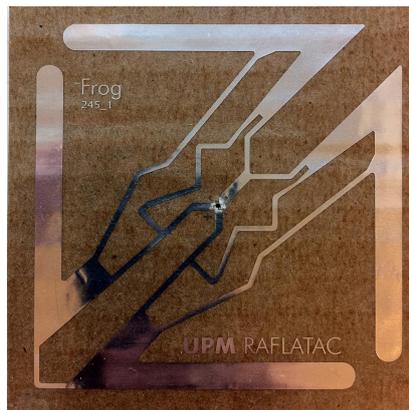


Abbildung 4.10: Der Test-Transponder

Der Messversuch wurde realisiert indem der Transponder auf einem Stück Karton aufgeklebt und im Abstand von 20cm zur Readerantenne ausgerichtet wurde. Man klebte den Tag auf ein Kartonstück um die Systemresonanzfrequenz der erhaltenen Messkurve, möglichst mit der Roten Kennlinie (Rot=Karton, Blau=Plastik) aus der Kurve in Abbildung 4.10 zu vergleichen.

Leider konnten wir die Reichweitenmessung nicht durchführen, um es mit der Read Range Kurve nachzubilden, da die Räumlichen Abmessungen unseres Labors dies nicht erlaubten. Doch, wenn man sich die Mess- und Read Range Kurven anschaut, erkennt man leicht das unser Ergebnis die bessere Performance bei höheren Frequenzen untermauert. Außerdem kann man klar die Rückantworten bei sehr niedrigen Leistungspegeln im höheren Frequenzbereich aus der Messkurve erkennen, was auf eine Lesbarkeit auch bei Reichweiten deutlich über 1m deutet.

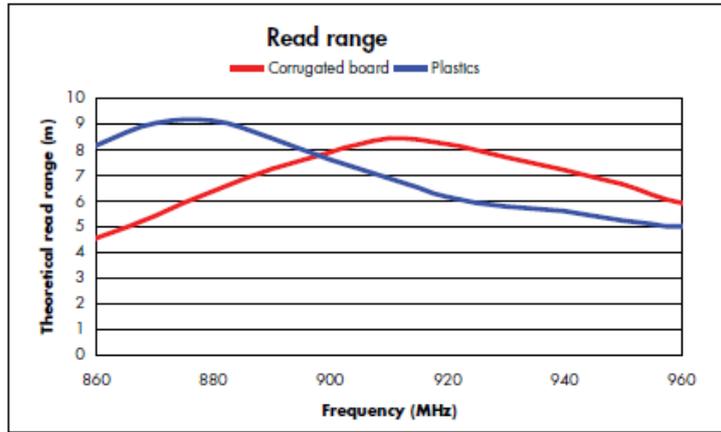


Abbildung 4.11: Read Range Kurve des UPM Raflatrac Frog [23]

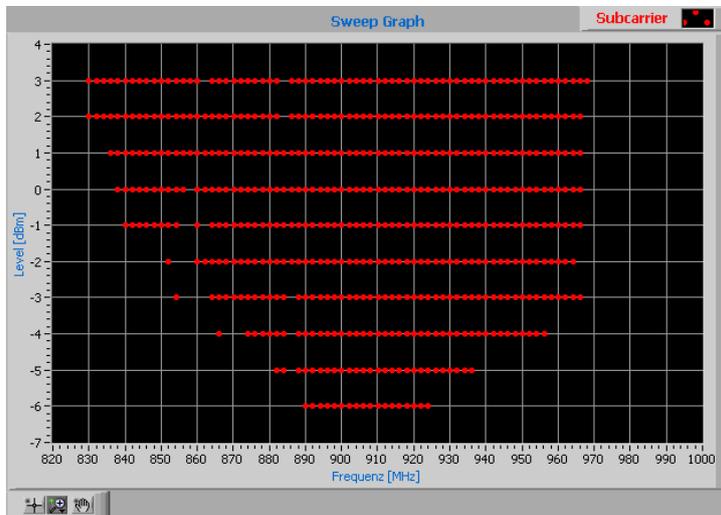


Abbildung 4.12: Die Messkurve des UPM Raflatrac Frog

Kapitel 5: Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es ein Vollautomatische Mess- und Auswerteeinheit zur Bestimmung der Performance eines passiven UHF RFID Transponders zu realisieren. Die Hauptanforderungen die an diese Messeinheit gestellt wurden, war die Zuverlässigkeit bei suboptimaler Messumgebung und die vollautomatische Ausführung der Messung.

Denn o.g. Forderungen wurde nachgekommen und man entwickelte schließlich ein Messsystem das durch seine einfache Bedienbarkeit und Zuverlässigkeit glänzt. Die im Rahmen des Projekts in LabVIEW entwickelte Software zur Steuerung und Auswerten der Messung, wurde sehr simpel gehalten und für die Benutzung im Alltag ausgelegt. Die Einheit ist in der Lage nach einstellen der gewünschten Parameter, Vollautomatisch die Performance des zur testenden Transponders zur ermitteln und Graphisch festzuhalten.

Die Messeinheit findet bei der Entwicklung von RFID UHF Chips und Antenne ihren Einsatzbereich. Durch die gelieferten Tag-Performance Ergebnisse der Messeinheit, lässt sich das Matching zwischen Tag IC und Antenne verbessern oder nachprüfen.

Des weiteren liefert die Messvorrichtung brauchbare Informationen zur Resonanzfrequenz oder Bandbreitigkeit eines Tagsystems die bei der Entwicklung gewünschter UHF Transponder eine wichtige Rolle spielt.

Der Softwareteil der Gesamteinheit ist besonders Wartbar ausgelegt, so das weitere Funktionen zugefügt oder auch andere Geräte ohne großen Aufwand angesteuert werden können. Der Messverlauf lässt sich durch die Versetzung der Messeinheit in eine Absorberkammer oder GTEM-Zelle erheblich festigen, so das Störungen und durch sie auftretende Folgefehler vollkommen eliminiert werden können.

Durch die Gewährleistung einer optimalen Messumgebung und mittels einer geeigneten Relation, könnte die Messeinheit auch zur Tag-Empfindlichkeitsprüfung herangezogen werden. Das bedeutet, das eine Messung zur Ermittlung der maximalen Reichweite bzw. der minimalen Leistung die zum Ansprechen des Transponders nötig ist, möglich wäre.

Eine weitere Idee zur Erweiterung bzw. Ausnutzung der Software die für dieses System entwickelt wurde, wäre die Integration in ein „Contact based system“. Das Bedeutet, durch geringe Umformung oder Weglassen einiger Softwarestrukturen, könnte man mittels direkter Verbindung von Chip und SMIQ eine Vollautomatische Mess- und Auswertevorrichtung (ähnlich wie in dieser Arbeit entwickelt) zur Bestimmung des Arbeitsbereiches eines Chips Konstruieren.

Literaturverzeichnis

- [1] 12manage: RFID-Technologie. online, Januar 2011. http://www.12manage.com/methods_rfid_technology_de.html.
- [2] Arnaud-Cormos, D., T. Letertre, A. Diet und A. Azoulay: Electromagnetic environment of RFID systems. In: Radar Conference, 2007. EuRAD 2007. European, S. 373–376, Oct. 2007.
- [3] beatmag: e-passport. online, Januar 2011. <http://beatmag.com/latest-news/e-passport-cost-is-too-high.html>.
- [4] Derbek, V., C. Steger, R. Weiss, J. Preishuber-Pflügl und M. Pistauer: A UHF RFID measurement and evaluation test system. e&i Elektrotechnik und Informationstechnik, 2007. <http://dx.doi.org/10.1007/s00502-007-0482-z>.
- [5] digikey: RFID Transponder. online, Januar 2011. <http://www.digikey.ca>.
- [6] Dobkin, D. M.: The RF in RFID : passive UHF RFID in practice. Elsevier Ltd, Oxford, Pap/Cdr Aufl., Oktober 2007.
- [7] Elektronik, E.: TEM-Zellen und GTEM-Zellen. online, Februar 2011. <http://www.emco-elektronik.de/de/EMV-Messtechnik/tem-gtem-zellen.html>.
- [8] Finkenzeller, K.: RFID Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. Carl Hanser Verlag, München, 4. Aufl., 2006.
- [9] Fotheringham, Ohnimus, Maaß, Ndip, Guttowski und Reichl: RFID-Theoretische Konzepte und Anwendungsbeispiele. online, Januar 2011. <http://leuze-verlag.eu/gt/heft/aufsatz/201010/GT-2394-2399.pdf>.
- [10] Fransen, J.: Induktion und Backscattering. online, Januar 2011. <http://www.marktplatz-rfid-im-blick.de/201003241889/induktion-und-backscattering.html>.
- [11] Germany, G.: Der Elektronischen Produkt-Code (EPC). online, März 2011. http://www.gs1-germany.de/standards/epc_rfid/der_epc/index_ger.html.
- [12] Grosinger, J. und G. Lasser: iTire Project - Proto Antenna Frontend Characterization Report. Techn. Ber., Infineon Technologies Austria AG, 2010.

- [13] Instruments, N.: Was ist LabVIEW?. online, März 2011. <http://www.ni.com/labview/whatis/d/>.
- [14] Kirchhof, D.-I. J.: EMV-Messverfahren und Grenzwerte. online, Februar 2011. http://www.iset.uni-kassel.de/abt/FB-A/publication/2008/2008_Regensburg-EMV_und_Blitzschutz_Vortrag.pdf.
- [15] Lazaro, A., D. Girbau und D. Salinas: Radio Link Budgets for UHF RFID on Multipath Environments. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 57(4):1241–1251, april 2009.
- [16] LSB-Plattform: Logistik Service Bus (LSB)RFID-Labor. online, Januar 2011. <http://www.lsb-plattform.de/rfid-labor/rfid-innovationslabor>.
- [17] Lösungen, R.: RFID in der Industrie. online, März 2011. <http://www.rfid-loesungen.com/rfid-industrie.htm>.
- [18] Mayer, D.-I. L. W.: Tag antenna feasibility and tag antenna definition. Techn. Ber., Infineon Technologies Austria AG, 2006.
- [19] Michaelis, D.-I. W.: RFID Funktion und Bedeutung. online, Januar 2009. http://www.fgf.de/publikationen/newsletter/einzeln/NL_09-01/FGF-NL-online-1-09_FID.pdf.
- [20] Mikroelektronische Schaltungen, F.-I. für und S. IMS: Hochbetrieb in der Messkammer. online, Februar 2011. <http://www.ims.fraunhofer.de/news/detailansicht/article/hochbetrieb-in-der-messkammer.html>.
- [21] Nikitin, P. und K. Rao: LabVIEW-Based UHF RFID Tag Test and Measurement System. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 56(7):2374–2381, July 2009.
- [22] pingmag: RFID tag. online, Februar 2011. <http://www.notcot.org/post/11477/?action=search>.
- [23] Raflatac, U.: UPM Raflatac Frog. online, März 2011. http://www.upmraflatac.com/europe/eng/images/51_68734.pdf.
- [24] RfidReady: RFID-Lese- und Schreibabstand. online, Januar 2011. <http://www.rfid-ready.de/rfid-lese-und-schreibabstand.html>.
- [25] Tamm, G. und C. Tribowski: RFID (Informatik im Fokus). Springer Verlag, Berlin, 1. Aufl., März 2010.
- [26] testequipmentconnection.com: Rohde & Schwarz Network Analyzers. online, März 2011. <http://www.testequipmentconnection.com/manufacture/Rohde%20Schwarz/191/199>.

- [27] topdogtest.com: Rohde & Schwarz SMIQ03B. online, März 2011. <http://www.topdogtest.com/smiq03b.aspx>.
- [28] Wolff, C.: Ferritzirkulatoren. online, Februar 2011. <http://www.radartutorial.eu/17.bauteile/bt33.de.html#this>.