

**Entwicklung und Aufbau eines Messplatzes zur Aufnahme von
Emissionsspektren (bis 40 GHz) in einer EMV-Absorberkammer**

Diplomarbeit

**zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur (FH)
an der
Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (FHTW)**

Band 1 von 2

**Fachbereich Ingenieurwissenschaften I
Studiengang Nachrichtentechnik**

Betreuer: Prof. Dr. Bodo Pieper

**vorgelegt von
Uwe Fischer**

**erstellt bei der Firma
Infineon Technologies AG
Fiber Optics Berlin**

Berlin, 10.01.2000

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand durch die Zusammenarbeit der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (FHTW) mit der Firma Infineon Technologies Bereich Fiber Optics.

In dieser Arbeit sollen notwendige theoretische Grundlagen der EMV-Messtechnik und praktische Arbeiten bei der Entwicklung und dem Aufbau eines Messplatzes zur Aufnahme von Emissionsspektren bei der Firma Infineon Technologies von Lösungsansätzen bis zur Realisierung beschrieben werden.

Die Arbeit gliedert sich deshalb in einen Theorie- und einen Praxis-Teil.

Voraussetzung für die Entwicklung und den Aufbau eines Messplatzes zur Aufnahme von Emissionsspektren ist die Aneignung von theoretischen Grundkenntnissen der EMV-Messtechnik. Diese stellt den Schwerpunkt im Theorie-Teil der Arbeit dar. Dabei wird auch auf Störfestigkeitsmessungen eingegangen, da die hierfür erforderlichen Messanordnungen auch für Emissionsmessungen verwendet werden können und größtenteils ähnliche bzw. reziproke theoretische Zusammenhänge gelten.

Den zweiten Teil der Arbeit bestimmen die Hardware- und Software-Entwicklungen sowie die Kalibrierung und die Erzeugung von Korrekturdaten für den praktischen Aufbau eines teilautomatisierten Messplatzes zur Aufnahme von Emissionsspektren.

Schwerpunkt in der Hardware ist dabei die Entwicklung eines Drehtisch-Motorsteuerungsgerätes von ersten Lösungsansätzen bis zur praktischen Realisierung. Im Mittelpunkt der Software steht die Erstellung eines Programmpaketes zur Steuerung des Messablaufs.

Der zweite Teil dieser Diplomarbeit spiegelt damit in chronologischer Reihenfolge die Vielzahl der praktischen Arbeiten wider, die für die Realisierung dieses Messplatzes notwendig waren. Hard- und Softwarelösungen werden dabei parallel beschrieben.

Da der Messplatz im Verlauf der Diplomarbeit aufgebaut worden und mit deren Abschluss funktionsfähig ist, können am Ende der Arbeit bereits erste Messergebnisse präsentiert werden.

An dieser Stelle danke ich allen Mitarbeitern der Entwicklungsabteilung von Infineon Technologies Bereich Fiber Optics für die freundliche Aufnahme und die Hilfsbereitschaft, besonderer Dank geht dabei an meinen Betreuer Mario Festag und Marcus Sauter. Außerdem danke ich der Firma Segor electronics für die Unterstützung bei der Realisierung von Detaillösungen und der Bauteilebeschaffung.

Inhaltsverzeichnis

Band 1

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
Glossar	10
1 Einführung	11
1.1 Anlass der Arbeit	11
1.2 Aufgabenstellung	11
1.3 Einführung in die EMV	12
1.3.1 Begriffsdefinition	12
1.3.2 Historischer Abriss der EMV	12
1.3.3 Aktuelle Bedeutung der EMV	12
2 Theorie der EMV-Messtechnik	14
2.1 Überblick über die EMV-Messtechnik	14
2.2 Suszeptibilitätsmessungen	14
2.2.1 Leitungsgebundene Störungen	15
2.2.2 ESD-Untersuchungen	15
2.2.3 Störfelderzeugung mit Antennen	17
2.2.4 Suszeptibilitätsmessungen in Absorberkammern	19
2.2.5 Suszeptibilitätsmessungen in Wellenleitern	21
2.3 Emissionsmessungen	25
2.3.1 Messung von Störspannungen und -strömen	25
2.3.2 Messung von Störfeldstärken	26
2.3.3 Antennen für Emissionsmessungen	27
2.3.4 Emissionsmessungen im Freifeld	31
2.3.5 Emissionsmessungen in Absorberkammern	32
2.3.6 Durchführungen durch Absorberkammern	34
2.3.7 Messgeräte für die Emissionsmesstechnik	36
2.3.8 Emissionsmessungen in GTEM-Zellen	37
2.3.9 Richtlinien zur Emissionsmessung	38
2.4 Normen / Grenzwerte / Komitees	40
2.5 PC-Messtechnik	44
2.5.1 Generelles zum GPIB	44
2.5.2 Anschluss von Peripherie an den Computer	46
3 Analyse	47
3.1 Untersuchungsgegenstand	47
3.2 Istanalyse	49
3.2.1 Die Absorberkammer	49
3.2.2 Der Drehtisch	49
3.2.3 Die Messgeräte	51
3.2.4 Warum wird eine Teilautomatisierung angestrebt?	52
3.3 Lösungsansätze	52
3.3.1 Hardware-Lösungsansätze	52
3.3.2 Software-Lösungsansätze	56

3.4 Sollkonzept	57
3.4.1 Allgemeines Hardware-Konzept des Messplatzes	57
3.4.2 Die Hardware-Konzeption im Einzelnen	57
3.4.3 Allgemeines Software-Konzept	63
3.4.4 Software-Konzept im Einzelnen	63
4 Detailentwurf	65
4.1 Detailentwurf Hardware	65
4.1.1 Überblick über die Funktionen des Motorsteuerungsgerätes	65
4.1.2 Entwurf des Netzteiles für den Motor und weitere Komponenten	65
4.1.3 Entwurf des Leistungsverstärkers für die Motorsteuerung	67
4.1.4 Entwurf von Signalübertragung und I/O-Komponenten	70
4.1.5 Entwurf der digitalen Logik zur Signalverarbeitung	71
4.1.6 Entwurf der manuellen Drehtischsteuerung	72
4.1.7 Entwurf einer Ruhelage-Positionserfassung des Drehtischs	73
4.2 Detailentwurf Software	76
4.2.1 Prinzip des Software-Entwurfs	76
4.2.2 Programmieren in G	76
4.2.3 Struktur der zu entwickelnden Software	77
4.2.4 Hardwarezugriff über die Software	81
4.2.5 Modulentwürfe für die Spektrumanalysatoren	83
4.2.6 Modulentwürfe für die Motorkarte	84
4.2.7 Erstellung von allgemeinen Modulen	86
4.3 Kalibrierung und Ermittlung von Korrekturfaktoren	88
4.3.1 Testaufbau bis 40GHz	88
4.3.2 Testaufbau unterhalb 1GHz	90
5 Implementierung	92
5.1 Implementierung der Hardware	92
5.1.1 Stromlaufplan-Erstellung für das Motorsteuerungsgerät	92
5.1.2 Layout-Erstellung für das Motorsteuerungsgerät	94
5.1.3 Leiterplattenfertigung für das Motorsteuerungsgerät	95
5.1.4 Aufbau und Bestückung der Leiterplatte für das Motorsteuerungsgerät	95
5.1.5 Zusammenbau des Motorsteuerungsgerätes	96
5.2 Implementierung der Software	97
5.2.1 Software-Implementierung am Beispiel der Spektrum-Darstellung	97
5.3 Implementierung von Korrekturfaktoren	99
5.3.1 Kalibrierroutine am Beispiel des Verstärkers SHF 88	99
6 Tests und Ergebnisse	100
6.1 Test der Hardware	100
6.1.1 Erste Tests des Motorsteuerungsgerätes	100
6.1.2 Test der manuellen Motorsteuerung	101
6.1.3 Test der Ruhelage-Positionserfassung	103
6.2 Test der Software	104
6.2.1 Test der Ansteuerung der Spektrumanalysatoren	104
6.2.2 Test der Ansteuerung des Drehtischs	104

6.3 Tests des Gesamtsystems und Ergebnisse	105
6.3.1 Messung der maximalen Abstrahlung über eine vollständige Drehung (360°) des Prüfobjektes	106
6.3.2 Messung der Abstrahlung in vier definierten Richtungen des Prüfobjektes (0°, 90°, 180°, 270°)	108
6.3.3 Messung der Abstrahlung in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Prüfobjektes	110
6.3.4 Überprüfung des Messplatzes durch Vergleichsmessung	111
7 Zusammenfassung	112
7.1 Erreichter Stand	112
7.2 Ausblick, Fortführung	114
Literaturverzeichnis	115
Erklärung zur Urheberschaft	118

Band 2 (Anhang)

Anhang A:	Pflichtenheft für die Software
Anhang B:	Probleme und Besonderheiten bei der Software-Erstellung Unter LabVIEW
Anhang C:	Dokumentation der Software
Anhang D:	Kalibrierung von Messaufbau-Bestandteilen
Anhang E:	Fertigungsunterlagen für die Hardware
Anhang F:	Bedienungsanleitung für die Software
Anhang H:	CD-ROM mit Diplomarbeit und Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überblick über EMV-Messverfahren für Geräte und Systeme [Gon92]	14
Abbildung 2: Messaufbau zur Untersuchung leitungsgebundener Störfestigkeit [Schw96]	15
Abbildung 3: Aufbau eines ESD-Simulators [Schw96]	16
Abbildung 4: Messaufbau ESD-Untersuchung - direkte Entladung [Schw96]	16
Abbildung 5: Messaufbau ESD-Untersuchung - indirekte Entladung [Schw96]	16
Abbildung 6: Störfelderzeugung mit Antenne und Regelschleife - mit Feldsensor [Schw96]	17
Abbildung 7: Störfelderzeugung mit Antenne und Regelschleife - mit Richtkoppler [Schw96]	17
Abbildung 8: Helmholtzspulenpaar zur Erzeugung eines homogenen Magnetfeldes [Schw96]	17
Abbildung 9: Transversal-elektromagnetische Welle (TEM) [Mön97]	18
Abbildung 10: Feldwellenwiderstand in Abhängigkeit vom Abstand zur Quelle [Schw96]	18
Abbildung 11: Absorberkammer mit ruhiger Zone [Mön97]	20
Abbildung 12: Parallelplattenleitung - offener Wellenleiter [Schw96]	21
Abbildung 13: Schematische Darstellung einer Koaxialleitung	22
Abbildung 14: Aufbau einer TEM-Zelle nach Crawford [Schw96]	23
Abbildung 15: Feldverteilung in einer TEM-Zelle, unten: Anregung höherer Moden [Mön97]	24
Abbildung 16: GTEM-Zelle [Mön97]	25
Abbildung 17: Blockschaltbild einer Netznachbildung [Gon92]	26
Abbildung 18: Messaufbau zur Messung der Störspannungen mit HF-Stromwandler [Schw96]	26
Abbildung 19: a) Bikonische Antenne b) Konisch logarithmische Antenne, c) Monopol, c) Rahmenantenne [Klo95]	27
Abbildung 20: Rahmenantennen a) mit einer Windung, b) mit mehreren Windungen [Schw96]	27
Abbildung 21: Geometrie einer logarithmisch periodischen Antenne [Mön97]	29
Abbildung 22: Ausführung einer logarithmisch periodischen Antenne [Mön97]	29
Abbildung 23: Abstrahlcharakteristik einer logarithmisch periodischen Antenne [Mön97]	30
Abbildung 24: Aktive Zonen auf einer logarithmisch periodischen Antenne und Abstände zum Prüfvolumen [Mön97]	30
Abbildung 25: Anordnung Antenne - EUT [Sch99]	31
Abbildung 26: Mindestabstände für Freifeldmessungen [Schw96]/[DIN99]	32
Abbildung 27: Emissionsmessung in einer Vollabsorberkammer [Mön97]	32
Abbildung 28: Absorption an Pyramidenabsorbern [Göp95]	33
Abbildung 29: Federkontaktsysteme für Türen von Absorberkammern [Göp95]	34
Abbildung 30: Verhinderung eines Felddurchgriffes durch Kamine (links: E-Wellen, rechts H-Wellen) [Mei97]	35
Abbildung 31: Felddurchgriff bei Durchführung eines Koaxkabels durch einen Kamin [Mei97]	35
Abbildung 32: HF-dichte Wellendurchführung durch Absorberkammern [Göp95]	36
Abbildung 33: Blockschaltbild Messempfänger [Schw96]/[Mön97]	36
Abbildung 34: Prinzipschaltung eines Spektrumanalysators [Schw96]	37
Abbildung 35: Schematische Darstellung des Spitzenwertdetektors [Schw96]	38
Abbildung 36: Schematische Darstellung des Quasi-Spitzenwertdetektors [Schw96]	39
Abbildung 37: Schematische Darstellung des Mittelwertdetektors [Schw96]	39
Abbildung 38: Grenzwerte für leitungsgebundene (terminal) und abgestrahlte Emission (radiated) nach FCC [Mur99]	41
Abbildung 39: Grenzwerte für leitungsgebundene (terminal) und abgestrahlte Emission (radiated) nach CISPR22/EN55022 [Mur99]	42
Abbildung 40: Grenzwerte für leitungsgebundene (terminal) und abgestrahlte Emission (radiated) nach VCCI [Mur99]	43

Abbildung 41: Optischer Transceiver zur Übertragung von Daten (155Mbd) über Singlemode-Glasfaser [Sie99]	47
Abbildung 42: Zeichnung eines optischen Transceivers für Datenraten bis 2,5Gbd (Small form factor) [Sie99]	47
Abbildung 43: Blockdiagramm eines 155Mbd-transceivers [Sie99]	48
Abbildung 44: Schematische Darstellung einer Absorberkammer [Sut94]	49
Abbildung 45: Foto des Drehtischs in der Absorberkammer	50
Abbildung 46: Messsystem HP84125C von Hewlett Packard [HP1/97]	51
Abbildung 47: Schematischer Aufbau des Messplatzes zur Aufnahme von Emissionsspektren	52
Abbildung 48: Ansicht des Spektrumanalysators HP8564E als Teil des Messsystems HP84125C	53
Abbildung 49: Veranschaulichung der zu realisierenden Teilaufgaben der Hardware für die Drehtischsteuerung	54
Abbildung 50: Spektrumanalysator HP8591EM	57
Abbildung 51: Logarithmisch periodische Antenne UHALP9108-A1 [Sch99]	58
Abbildung 52: Verwendung von Hornantennen für die verschiedenen Frequenzbereiche [HP1/97]	58
Abbildung 53: 40dB-HF-Verstärker SFH88	59
Abbildung 54: Funktionsprinzip einer passiven Reflex-Lichtschanke	61
Abbildung 55: Übersicht über die zu realisierenden Softwareaufgaben	63
Abbildung 56: Schematische Darstellung der Komponenten und Funktionen des Motorsteuerungsgerätes	65
Abbildung 57: Welligkeit der Betriebsspannung für einen Elektromotor [Max98]	66
Abbildung 58: Spannungsregler mit parallel geschalteten Leistungstransistoren zur Stromerhöhung	67
Abbildung 59: Schematische Darstellung des Betriebs eines Motors mit PWM [Max98]	68
Abbildung 60: Prinzipielle Darstellung einer Brückenschaltung	69
Abbildung 61: Optischer Sender SFH750V [Sie99]	70
Abbildung 62: Beispiel für einen optischen Empfänger SFH551/V-1 [Sie99]	70
Abbildung 63: Schaltbild der manuellen Drehtischsteuerung	72
Abbildung 64: Komponenten der manuellen Drehtischsteuerung	72
Abbildung 65: Zeichnung der konstruierten Reflexlichtschanke für die Ruhelage-Positionserfassung des Drehtischs	73
Abbildung 66: Prinzipschaltbild eines Operationsverstärkers zur Verstärkung des Fotodiodenstroms [Fis99]	74
Abbildung 67: Schaltbild des zweistufigen Verstärkers zur Ruhelage-Positionserfassung	75
Abbildung 68: Prinzipien des Software-Entwurfs [Met99]	76
Abbildung 69: Hierarchie der Softwareprogramme	77
Abbildung 70: Teilprogramm a) Messung der maximalen Abstrahlung über eine vollständige Drehung (360°) des Prüfobjektes	79
Abbildung 71: Auszug aus dem Struktogramm des Teilprogramms b) Messung der Abstrahlung in vier definierten Richtungen des Prüfobjektes (0°, 90°, 180°, 270°)	80
Abbildung 72: Auszug aus dem Struktogramm des Teilprogramms c) Messung der Abstrahlung in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Prüfobjektes	81
Abbildung 73: Hardwarezugriff über VISA [Ni1/98]	82
Abbildung 74: Vereinfachte Struktur der VISA-API [Ni1/98]	82
Abbildung 75: Prinzip des Hardwarezugriffs auf die Motorkarte unter Windows NT	83
Abbildung 76: Darstellung des Moduls zur Drehtischpositionsberechnung als Icon mit Anschlüssen	86
Abbildung 77: Auszug aus einem LabVIEW-Programm zur Messentfernungsumrechnung	87
Abbildung 78: Darstellung des Messaufbaus oberhalb 1GHz mit zusätzlichem Mikrowellenkabel	88
Abbildung 79: Hardwarekonfiguration für Messungen unterhalb 1GHz	90
Abbildung 80: Stromlaufplan des Motorsteuerungsgerätes	93
Abbildung 81: Layout der Bestückungsseite (Top) der Leiterplatte des Motorsteuerungsgerätes	94

Abbildung 82: Leiterplatte des Motorsteuerungsgerätes mit zu bestückenden Bauelementen.	95
Abbildung 83: Gesamtansicht des Motorsteuerungsgerätes	96
Abbildung 84: Ausschnitt aus einem LabVIEW-Blockdiagramm zum Auslesen der Messdaten (Spektren)	97
Abbildung 85: Darstellung eines Spektrums nach Auslesen der Werte aus einem Spektrumanalysator	98
Abbildung 86: Einsatz des Motorsteuerungsgerätes im Praxisbetrieb	100
Abbildung 87: Emissionsspektrum bei Motorsteuerung mit Drahtdurchführung	101
Abbildung 88: Emissionsspektrum bei Motorsteuerung mit POF-Durchführung	102
Abbildung 89: Foto der manuellen Drehtischsteuerung	103
Abbildung 90: Installation der Reflexlichtschranke unter dem Drehtisch	103
Abbildung 91: Bildschirm nach Programmstart mit generellen Auswahlmöglichkeiten	105
Abbildung 92: Benutzeroberfläche des Teilprogramms zur Messung der maximalen Abstrahlung über eine vollständige Umdrehung	106
Abbildung 93: Protokollausdruck einer Messung der maximalen Abstrahlung	107
Abbildung 94: Protokoll einer Messung der Abstrahlung in vier definierten Ausrichtungen	109
Abbildung 95: Darstellung der Abstrahlung in Abhängigkeit vom Drehwinkel bei vertikaler Antennenpolarisation (Auszug aus einem Test Protokoll)	110
Abbildung 96: Darstellung der Abstrahlung in Abhängigkeit vom Drehwinkel bei horizontaler Antennenpolarisation (Auszug aus einem Test Protokoll)	110
Abbildung 97: Testbox mit zu untersuchendem Transceiver und Glasfaser-Anschlüssen	111
Abbildung 98: Ansicht des Messplatzes außerhalb der Absorberkammer	112

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über internationale Vorschriften und Regelungen der EMV [Mur99]	40
Tabelle 2: Regelungen zur Störfestigkeit in der Europäischen Union (in Klammern: Emissionsmessungs-Richtlinien) [Mur99]	44
Tabelle 3: Übersicht über benötigte Spannungen und Ströme des Motorsteuerungsgerätes	65
Tabelle 4: Ermittelte Dämpfungswerte für ein zusätzliches Mikrowellenkabel bis 40GHz	89

Abkürzungsverzeichnis

AMPCOR	amplitude correction register (Amplituden-Korrektur-Register der Spektrumanalysatoren von Hewlett Packard)
API	application programming interface (im weiteren Sinne: Anwendungsprogramm Schnittstelle)
CENELIC	Comité Européen pour la Normalisation Electrotechnique (Abkürzung für Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung; europäisches Äquivalent für IEC)
CISPR	Comité International Special de Perturbations Radioelectriques (Französisches Normengremium)
DLL	dynamic link library (Bibliothek mit Funktionen für Windows)
DUT	device under test (Gerät, das gerade getestet wird, Prüfobjekt)
EMC	Electro-Magnetic Compatibility (Elektromagnetische Verträglichkeit)
EMI	Electro-Magnetic Inteference (elektromagnetische Störaussendung)
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ESD	Electro Static Discharge (elektrostatistische Entladung)
EUT	equipment under test (Einrichtung, die gerade getestet wird)
FCC	Federal Communications Commission (Amerikanisches Normengremium)
GPIB	General Purpose Interface Bus (Bus, der zur Verbindung von Messgeräten entwickelt wurde)
GTEM	Gigahertz transversal-elektromagnetisch
HF	Hochfrequenz
IEC	International Electrotechnical Commission (Komitee für Elektrotechnische Normung)
ITE	Information Technologie Equipment (Ausrüstung/Branche der Informationsübertragung und -verarbeitung)
POF	Plastic Optical Fiber (Kunststoff-Lichtwellenleiter)
PWM	Pulsweitenmodulation
TEM	transversal-elektromagnetisch
VCCI	Voluntary Control Council for Interference by Information Technology Equipment (Japanisches Normengremium)
VI	virtual instrument (Bezeichnung für ein mit LabVIEW erstelltes Programm)

Glossar

Suszeptibilität	Störfestigkeit, auch Immunität einer Einrichtung gegenüber der Beeinflussung mit elektromagnetischen Wellen
Emission	Aussendung (verwendet auch im Sinne von: Abstrahlung)
Absorber	Bezeichnung für ein Gebilde, aus einem Material mit schlecht reflektierenden Eigenschaften
Absorberkammer	ein reflexionsarmer, geschirmter Raum, dessen Wände mit Absorbern ausgekleidet sind
NMOS-Transistor	Ein spezieller Halbleiter-Transistor mit leitendem n-Kanal, in MOSFET-Technologie aufgebaut (Abkürzung für n-channel metal oxide semiconductor field effect transistor)

1 Einführung

1.1 Anlass der Arbeit

Die Qualifikation elektrischer und elektronischer Geräte erfordert die EMV-technische Untersuchung und Charakterisierung ihres Abstrahlverhaltens. Derartige Untersuchungen sind nur mit einem speziellen Messplatz möglich. Ein solcher Messplatz ist zur Zeit bei der Firma Infineon Technologies noch nicht vorhanden.

1.2 Aufgabenstellung

Entwicklung und Aufbau eines PC-gesteuerten Messplatzes zur Aufnahme von Emissionsspektren (bis 40 GHz) in einer EMV-Absorberkammer

Die Arbeit beinhaltet:

- Automatisierung des Messplatzes durch Konzeption und Realisierung einer PC-Steuerung und Entwicklung einer Software für die Steuerung des Messablaufs
- Entwicklung und Aufbau der Steuerung eines Drehtisches
- Kalibrierung des Messplatzes mit implementierten messaufbauspezifischen Korrekturdaten

Für die Untersuchung der Elektromagnetischen Verträglichkeit wurde im Elektronik-Labor von Infineon Technologies Fiber Optics Berlin eine Voll-Absorberkammer aufgebaut. Für Emissionsmessungen in dieser Kammer wird ein Messsystem von Hewlett Packard eingesetzt, dass die Aufnahme von elektromagnetischen Emissionsspektren von 1 bis 40GHz ermöglichen soll.

Im Inneren der Absorberkammer sollen ein Drehtisch zur Positionierung von Messobjekten und stationäre Strahlungsempfänger (Antennen mit Vorverstärkern) aufgestellt werden. Das Messsystem beinhaltet weiterhin einen Spektrumanalysator und verschiedene Mikrowellenkabel.

Um ein effektives Arbeiten mit diesem System zu ermöglichen, wird eine Teil-Automatisierung des Messablaufs angestrebt.

Sowohl der Spektrumanalysator als auch der Drehtisch sollen von einem Personal Computer gesteuert werden. Der Spektrumanalysator soll außerhalb der Absorberkammer aufgestellt und via GPIB an den PC angeschlossen werden.

Der Drehtisch soll von einem Elektromotor angetrieben werden, der sich außerhalb der Kammer befindet. Er soll das Messobjekt während einer Messung um 360° mit angepasster Geschwindigkeit horizontal drehen. Zusätzlich soll eine manuelle Steuerung des Drehtisches möglich sein. Diese Funktionen sind durch die Entwicklung einer Hardware zu realisieren.

Im Mittelpunkt der Arbeit steht die Entwicklung einer Software für die Steuerung des gesamten Messablaufs. Durch die Software soll die Möglichkeit geschaffen werden, Spektren unter Vorgabe bestimmter Parameter und Randbedingungen vom automatisierten System aufnehmen zu lassen.

Dabei sind Standards wie CISPR 22, FCC 47 Part 15 und EN 55022 zu berücksichtigen.

Die Drehbewegung des Drehtisches soll gesteuert erfolgen und die jeweilige Position konkreten Messwerten zuzuordnen sein. Die für die Messung notwendigen Funktionen des Spektrumanalysators sollen von der Software bedient werden. Messentfernungsabhängige Korrekturdaten sollen durch die Software kalkuliert werden und für die Messung verfügbar sein. Es soll ein die Messparameter dokumentierendes Protokoll mit Ausgabe des gemessenen Spektrums für einen Drucker verfügbar aufbereitet werden.

Die Funktionsfähigkeit des Systems ist anhand von Tests nachzuweisen.

1.3 Einführung in die EMV

1.3.1 Begriffsdefinition

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ist der Oberbegriff für eine seit den Anfängen der Elektrotechnik bestehende, sich ständig verschärfende Problematik. Unter dem Begriff EMV versteht man heute allgemein die friedliche Koexistenz aller Arten von Sendern und Empfängern elektromagnetischer Energie. [Schw96]

Gemäß VDE 0870-1 wird EMV wie folgt definiert:

„Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren, ohne diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, unzulässig zu beeinflussen.“ [Mei97] Eine vergleichbare Definition befindet sich auch im EMV-Gesetz [EMV92].

Zwei Grundsätze liegen der Elektromagnetischen Verträglichkeit zu Grunde:

- Begrenzung der abgegebenen elektromagnetischen Energie (Störaussendung, Emission)
- Schutz gegen eine solche im Umfeld auftretende Energie (Störfestigkeit, Immunität) [Schm96]

1.3.2 Historischer Abriss der EMV

Erste Störungen zwischen unabhängigen, fremden Systemen wurden in Deutschland 1926 mit der Aufnahme der ersten Rundfunkdienste bekannt. Zwei Jahre später erschien mit der "Verordnung zum Schutze des Funkverkehrs" die erste Vorschrift, die Entstörmaßnahmen von Geräten vorschrieb.

Empfangsstörungen zwangen die Reichspost 1932 zur Einführung von Rundfunk-Entstördiensten. Auf Grund ihrer Wirkung wurden diese Störungen als Funkstörungen bezeichnet. Dieser Begriff ist noch heute gebräuchlich.

Die EMV hat sich im Laufe der Zeit zu einer eigenständigen, mittlerweile recht umfangreichen Disziplin entwickelt. Waren zum Zeitpunkt der Einführung der Rundfunkdienste die Folgen aus den entstandenen akustischen Störungen relativ unbedeutend, ergeben sich heute durch den Einfluss elektromagnetischer Störeinflüsse oft schwerwiegende Fehlfunktionen. Das liegt vor allem an der zunehmend komplexer werdenden Technik, die uns umgibt.

Beispiele dafür sind aus der Praxis bekannt: etwa das unkontrollierte Arbeiten von computergesteuerten Produktionsanlagen, der Ausfall von kompletten Rechnerzentralen oder das unkontrollierte Ansprechen von Airbags in Kraftfahrzeugen. [Göp95]

1.3.3 Aktuelle Bedeutung der EMV

Mikroelektronik findet man heutzutage in fast allen Geräten. Prozessoren und komplexe Schaltungssysteme ermöglichen eine Informationsverarbeitung mit immer weiter steigenden Packungsdichten und Datenraten. Der ständig wachsende Energiebedarf erfordert unter anderem ein Schalten immer höherer Leistungen. Daraus resultieren zwangsläufig elektromagnetische Unverträglichkeiten und es treten vielfältige Probleme auf.

HF-Energie findet bei den gegebenen Strukturen und Leitungslängen Antennenbedingungen vor, so dass eine Abstrahlung oder Einkopplung ermöglicht wird.

Der ständig wachsende Einsatz von modernen elektronischen Erzeugnissen und die damit oft unerwünschte Erzeugung elektromagnetischer Felder wirft gleichzeitig die Frage nach einer biologischen Verträglichkeit auf, da die erzeugten Felder natürliche Feldquellen in der Intensität bei weitem übertreffen. [Göp95]

Nicht nur die zunehmende Technik in allen Bereichen, sondern auch die steigende Abhängigkeit von ihr, zwingt zu verantwortungsbewusstem Vorgehen bei der Entwicklung neuer Geräte oder Komponenten. Die Elektromagnetische Verträglichkeit wird zunehmend zu einem technischen, wirtschaftlichen und umweltpolitischen Problem.

Leider wird die Wichtigkeit dieser Disziplin oft nicht ernst genug genommen. Häufig zwingen in Unternehmen Produktausfälle oder -fehlverhalten zu einer verspäteten Berücksichtigung EMV-spezifischer Aspekte.

Heute ist die EMV-gerechte Konstruktion von Geräten oder Komponenten Bedingung für den Erfolg eines Produktes. Es gilt für Entwicklungsarbeiten neuer Produkte von Anfang an, das Qualitätsmerkmal EMV zielgerichtet in die Planung und Entwicklung, Produktionsdurchführung, Installation sowie Produktwartung zu implementieren.

Die dabei notwendigen finanziellen Aufwendungen sind zum Teil erheblich, dennoch sind sie geringer als die Kosten, die durch eine zu späte Berücksichtigung entstehen.

Mit dem Erlass einer Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaft zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Elektromagnetische Verträglichkeit (89/336 EWG) vom Mai 1989 wird die EMV als Schutzziel erklärt. Hier werden definierte Schutzerfordernungen für die Emission elektromagnetischer Felder und für die Störfestigkeit an alle elektrotechnischen oder elektronischen Erzeugnisse gestellt. Den Mitgliedstaaten ist mit Inkrafttreten dieser Richtlinie (1992) bzw. einer Übergangsfrist bis Ende 1995 auferlegt worden, eine Umsetzung dieser Vorschrift in nationales Recht zu vollziehen. In der Bundesrepublik ist dies 1992 durch den Erlass des EMV-Gesetzes geschehen.

Alle unter dieses Gesetz fallenden Geräte dürfen nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn eine Konformität zu den relevanten europarechtlichen Normen besteht. Durch den Hersteller bzw. den Inverkehrbringenden kann diese Konformität selbst erklärt werden. Die Geräte sind dann mit dem EU-einheitlichen CE-Zeichen zu kennzeichnen. [Göp95]

Heute existiert eine Vielzahl von länderspezifischen und produkt- bzw. branchenabhängigen Richtlinien und Verordnungen, die zur Einhaltung festgelegter Grenzwerte zwingen, um einerseits Intersystemstörungen zu verhindern bzw. andererseits den Menschen vor zu großer elektromagnetischer Strahlung zu schützen.

Die Elektromagnetische Verträglichkeit mit der Umwelt (EMVU) stellt dabei ein eigenes Gebiet dar, das zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch am Anfang seiner Entwicklung steht. Die EMVU beschäftigt sich mit der nicht-ionisierenden Strahlung und deren Auswirkungen auf lebende Organismen.

Neben den heute weitgehend erforschten thermischen Effekten der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischer Strahlung und lebenden Organismen gibt es auch athermische Effekte, die gegenwärtig Gegenstand der Forschung und teilweise kontroverser Diskussion sind. [Mei97]