

Diplomarbeit

Evaluierung elektromagnetischer Felder am Arbeitsplatz

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs unter Leitung von

Dipl.-Ing. Dr. techn. Neubauer Georg

bei den

Austrian Research Centers GmbH - ARC

und

o. Univ.Prof. Dipl.-Ing Dr. techn. Gottfried Magerl

am

Institut für Elektrische Mess- und Schaltungstechnik

eingereicht an der Technischen Universität Wien Fakultät für
Elektrotechnik und Informationstechnik

von

Gerhard Ozelsberger

9425677

Cumberlandpark 81

4810 Gmunden

Wien, im November 2008

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei Herrn Prof. DI Dr. Gottfried Magerl bedanken. Er unterstützte mich durch sein fachliches Wissen und seine Geduld bei der Korrektur meiner Diplomarbeit.

Besonderer Dank gebührt Herrn DI Dr. Georg Neubauer der meine Diplomarbeit betreut hat. In vielen langen Diskussionen konnte ich mein Wissen über elektromagnetische Felder ausbauen und festigen, sodass diese Diplomarbeit erst entstehen konnte. Auch für die Korrekturen und Tipps beim Schreiben der Diplomarbeit möchte ich mich bedanken.

Meinen engsten Mitarbeitern Herr Ing. Benjamin Petric und DI Stefan Cecil verdanke ich die Einführung in die Messtechnik und unzählige weitere Hilfestellungen ohne die diese Arbeit nicht entstehen hätte können.

Für die Unterstützung möchte ich mich bei folgenden Firmen, vertreten durch Herrn Stefan Schreiner (ILS), bei Herrn Mag. Stefan Denninger (ACP) und bei Herrn Mag. Marco De Boes (Fujitsu Siemens) sehr herzlich bedanken. Sie stellten mir Informationen und Geräte zur Verfügung.

Diese Diplomarbeit möchte ich meinen Eltern widmen, da sie nicht nur mein Studium zum größten Teil finanziert haben, sondern auch ständig Interesse an meiner Arbeit zeigten und mich so gut es ging unterstützten.

Ein großer Dank gilt auch an meine Freundin Mag. Silvia Turecek für ihre Geduld in den letzten Monaten und ihre Unterstützung bei der Korrektur dieser Diplomarbeit.

Kurzfassung

Aufgrund der Richtlinie 2004/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates ist jeder Arbeitgeber verpflichtet, die elektromagnetischen Felder an jedem Arbeitsplatz zu evaluieren. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die untersuchten Arbeitsplätze auf Büroarbeitsplätze eingeschränkt. Um diese Evaluierung zu vereinfachen, wird zur Unterstützung der Arbeitgeber ein EDV – Verfahren zur Expositionserfassung entwickelt. In einer Datenbank werden Messdaten über die elektromagnetischen Felder der Bürogeräte abstandsabhängig erfasst. Aus diesen lässt sich der Expositions-koeffizient (nach ÖNORM 8850) am Arbeitsplatz berechnen. Beim Expositions-koeffizient werden die elektromagnetischen Felder mit dem frequenzabhängigen Referenzwerten gewichtet und aufsummiert.

In einer Literaturstudie wurde nach relevanten Veröffentlichungen zum Thema „Messen und Berechnen elektromagnetische Felder von Geräten“ gesucht. Weiters wurden Normen, die einen Bezug zur messtechnischen Erfassung elektromagnetischer Felder haben, auf deren Relevanz beurteilt. Um möglichst viele Arbeitsplätze mit dem EDV – Verfahren beurteilen zu können, wurde erhoben, welche Bürogeräte in Österreich häufig im Einsatz sind.

Verschiedene Feldsonden für die Messung elektrischer und magnetischer Felder für den Frequenzbereich 5 Hertz bis 3 Gigahertz wurden auf ihre Eigenschaften hin untersucht und aufgrund dieser Untersuchungen eine Auswahl an Sonden getroffen. Die Einflüsse der Messumgebung auf die Messungen wurden untersucht.

Für die Messung der elektromagnetischen Felder der Bürogeräte wurde ein mehrstufiges Messprotokoll entwickelt. Es wird prinzipiell frequenzselektiv gemessen. Im ersten Schritt wird der „Worst – Case“ – Betriebszustand des Gerätes ermittelt. Dann wird mittels Abscannen der Geräteoberfläche der Punkt des stärksten elektromagnetischen Feldes gesucht. Von diesem Punkt weg wird normal zur Oberfläche die Feldabnahmekurve zu größeren Entfernungen hin ermittelt.

Das entwickelte Messprotokoll wurde auf die Messung mehrerer Bürogeräte angewendet und die Ergebnisse in die Datenbank des EDV – Systems eingearbeitet.

Abstract

The EU directive 2004/40/EG obligates every employer to evaluate the electromagnetic fields at every working place. To simplify the evaluation a computer based procedure to capture the exposure was developed. The measurements of the electromagnetic fields generated by typical office equipment depending on the distance are stored in a database. The exposition coefficient (according to ÖNORM 8850) at the working place is then derived from the database. The exposition coefficient is the sum of the electromagnetic fields weighted by frequency dependent reference values.

Publications on the measurement and calculation of electromagnetic fields of office equipment were investigated. Relevant standards were evaluated. To prepare the evaluation of most working places, commonly used office devices were determined.

The properties of various field probes for the measurement of electric and magnetic fields for the frequency range of 5 Hz to 3 GHz were evaluated and selected. The influence of the measurement environment was investigated, too.

A three step measurement procedure was developed for the measurement of the electromagnetic field of office equipment. All measurements are performed as narrow band frequency sweeps. In the first step for every device the operation condition with the maximum emission is determined. This is followed by a scan of the surface to find the point of maximum fieldstrength. Starting from this point and perpendicular to the surface the field is measured at several points with increasing distance in the third step.

This measurement procedure was performed for several devices and the results were stored in the database.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Literaturrecherche.....	4
2.1	Methodik.....	4
2.2	Ergebnisse.....	8
2.3	Normen.....	8
3	Erhebung häufig benutzter Bürogeräte.....	13
3.1	Methodik.....	13
3.2	Ergebnisse.....	14
4	Untersuchungen an Messgeräten.....	15
4.1	Funktionsweise der Messgeräte.....	15
4.1.1	Elektrische und magnetische Ersatzfeldstärke.....	15
4.1.2	Messprinzip zur Messung des magnetischen Feldes.....	16
4.1.3	Messprinzip zur Messung des elektrischen Feldes.....	18
4.2	Grundlagen der Feldberechnung.....	21
4.2.1	Magnetisches Feld einer Spule.....	21
4.2.2	Elektrisches Feld in einem Plattenkondensator.....	24
4.3	Messungen.....	25
4.3.1	Verwendete Geräte:.....	26
4.3.2	Messung im Spulenmittelpunkt.....	26
4.3.3	Messung entlang der Spulenachse.....	38
4.3.4	Messung an Spulenachse im Teleworkingraum.....	42
4.3.5	Isotropiemessung.....	43
4.3.6	Messung im Plattenkondensator.....	45
5	Untersuchung der Messumgebung.....	53
5.1	Hintergrundfelder.....	53
5.2	Messung an der Spulenachse.....	53
5.3	Abschirmung der Absorberhalle bei Netzfrequenz.....	58
5.4	Verhalten der Absorber.....	60
6	Messmethodik.....	63

7□	Messung an Bürogeräten.....	67□
7.1□	Kaltgerätekabel.....	67□
7.2□	TFT – Bildschirm	69□
7.2.1□	Funktionsweise.....	69□
7.2.2□	Messergebnisse	71□
7.3□	Lampe.....	72□
7.3.1□	Funktionsweise.....	72□
7.3.2□	Messergebnisse	74□
7.4□	Drucker.....	76□
7.4.1□	Funktionsweise.....	76□
7.4.2□	Messergebnisse	77□
7.5□	Scanner.....	78□
7.5.1□	Funktionsweise.....	78□
7.5.2□	Messergebnisse	79□
8□	Schlussfolgerung.....	82□
9□	Literaturverzeichnis.....	86□
	Anhang A	88□
	Anhang B	94□
	Anhang C	98□
	Anhang D	102□
	Anhang E.....	106□
E□	Messprotokoll.....	106□
E.1□	Verwendete Messgeräte.....	106□
E.1.1□	Elektrisches Feld: 5 Hz – 3 GHz.....	106□
E.1.2□	Magnetisches Feld: 5 Hz – 250 MHz.....	106□
E.2□	Messaufbau.....	106□
E.3□	Bezeichnungen	108□
E.3.1□	Seiten.....	108□
E.3.2□	Positionsbezeichnung.....	108□
E.3.3□	Abstand	109□
E.3.4□	Zusammenfassung.....	110□
E.4□	Messung.....	111□

E.4.1 □	Ablauf.....	111 □
E.4.2 □	H-Feld	115 □
E.4.3 □	E-Feld.....	122 □

1 Einleitung

Im Auftrag der AUVA (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt) wird ein Projekt zur Entwicklung eines offenen und laufend erweiterbaren Verfahrens zur Evaluierung elektromagnetischer Felder gemäß der Richtlinie 2004/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates am Arbeitsplatz durchgeführt. Jedem Arbeitgeber ist durch diese Richtlinie die Verpflichtung auferlegt, die elektromagnetischen Felder an jedem Arbeitsplatz zu evaluieren. Dies stellt ihn naturgemäß vor sehr große Probleme, daher soll ein EDV Verfahren zu seiner Unterstützung entwickelt werden.

Im Wesentlichen geht es darum, dass die Quelldaten (elektrische und magnetische Felder in einem bestimmten Abstand von der Quelle) von verschiedenen Quellen in eine Datenbank eingegeben werden. Auf diese Informationen über die elektrischen und magnetischen Felder bestimmter Quellen wird dann zurückgegriffen, um die Expositionscoeffizienten für Arbeitsplätze zu bestimmen, die mit diesen Quellen elektromagnetischer Felder ausgestattet sind. Beim Expositionscoeffizienten werden die jeweiligen Anteile der elektromagnetischen Felder mit dem Referenzwert (abgeleiteter Grenzwert) gewichtet und aufsummiert. Er ist also ein Maß dafür, wie stark der menschliche Körper in Bezug auf den jeweils gültigen abgeleiteten Grenzwert den elektromagnetischen Feldern ausgesetzt ist. Der Arbeitgeber braucht nur die am Arbeitsplatz (Abbildung 2.1.1) eingesetzten Geräte und deren Abstand zum Arbeitsplatz einzugeben. Das EDV Verfahren wird dann die Expositionscoeffizienten bestimmen.

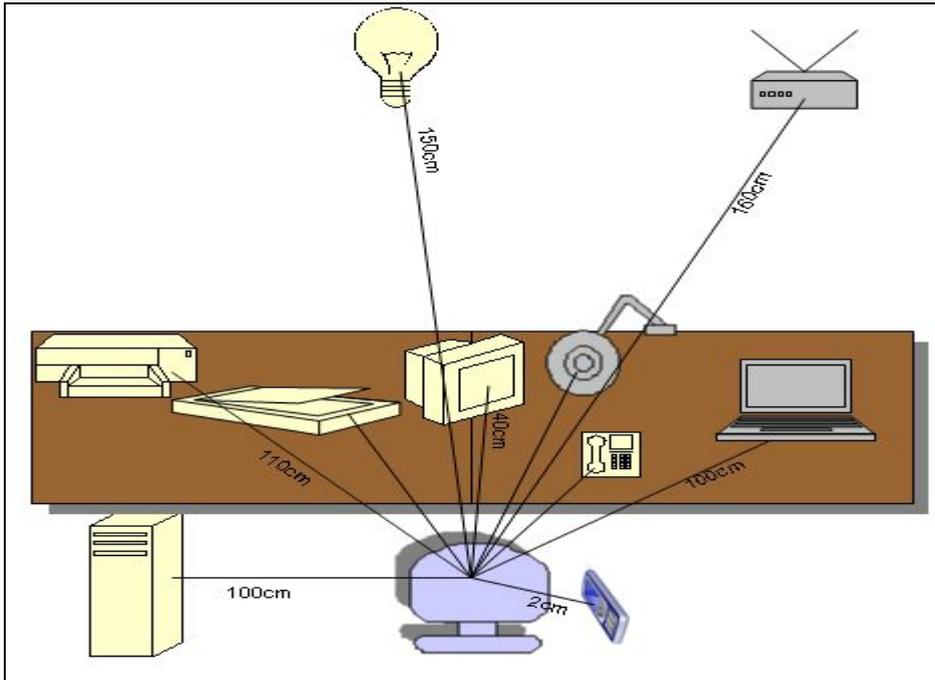


Abbildung 2.1.1: Typischer Büroarbeitsplatz mit elektromagnetischen Strahlungsquellen in der Umgebung.

Die AUVA und Austrian Research Centers GmbH erleichtern damit den Arbeitgebern in Österreich den gesetzlich vorgeschriebenen Nachweis über die elektromagnetische Unbedenklichkeit einzelner Arbeitsplätze zu erbringen.

Um Daten über die elektromagnetischen Felder für die Datenbank zu gewinnen, werden folgende Kategorien von in Büros eingesetzten Geräten untersucht:

- **PC und Notebook:** (keine Großrechner, keine Kleincomputer wie Game boy, MP3 Player, PDA,...)
- **Bildschirme:** typische PC Röhrenbildschirme, Flachbildschirme.
- **Drucker:** typische Bürodruker. (keine Großformatdrucker, reinen Fotodrucker, Plotter,..)
- **Scanner:** typische Büros Scanner. (keine Großformats Scanner, Barcodescanner, Handscanner,..)
- **Kopierer/Faxgeräte:** typische Bürogeräte. (keine Großformate)
- **Schnurlostelefone:** DECT - Telefone (keine alten Analoggeräte)
- **W-LAN und Bluetooth:** in PC oder Notebook integrierte, Headsets, PC-Peripheriegeräte, Access Points, ...
- **Beleuchtungskörper:** Glühbirnen, Neonröhren, Energiesparlampen, Halogenlampen
- **Mobiltelefone**
- **Basisstationen**
- **Kabelkanäle**

Um die Exposition infolge der elektrischen Geräte nach der Vornorm ÖVE/ÖNORM E8850 bestimmen zu können, werden abstandsabhängige, frequenzselektive Daten der elektromagnetischen Felder benötigt.

In dieser Diplomarbeit wird ein Verfahren zur Messung von Bürogeräten entwickelt. Zunächst wird in der wissenschaftliche Literatur nach relevanten Veröffentlichungen passend zu diesem Thema gesucht. Es werden vorhandene Normen auf ihre Verwendbarkeit geprüft. Weiters wird erhoben, welche Gerätetypen in Österreich häufig im Einsatz sind. Anhand von einfachen Versuchen werden verschiedene Feldsonden im Hinblick auf ihre Einsetzbarkeit für die Messung elektromagnetischer Felder von Bürogeräten getestet. Hierzu werden in erster Linie die bei den Austrian Research Centers vorhandenen Messgeräte herangezogen. Da zur Messung niederfrequenter Felder nicht alle benötigten frequenzselektiv messenden Feldsonden zur Abdeckung des Frequenzbereiches von 1 Hertz bis 3 Gigahertz, vorhanden waren, wurden auch Leihgeräte von Herstellern getestet. Nach der Durchführung dieser Arbeiten wurde eine Auswahl der für die Messungen zu verwendenden Feldsonden getroffen. Als Messumgebung steht eine Absorberhalle zur Verfügung. Es werden Untersuchungen der Messumgebung, hauptsächlich in Hinblick auf ihre Eignung für die Messung niederfrequenter Felder, angestellt.

Ein Messprotokoll wird entwickelt, nach dem alle elektrischen Bürogeräte vermessen werden. In einem mehrstufigen Verfahren wird beschrieben, wie man die Feldsonden einsetzt, welche Einstellungen vorgenommen werden müssen und welche Messabstände einzuhalten sind, um sinnvolle Messwerte zu erzielen. Grundsätzlich wird frequenzselektiv gemessen und für verschiedene Frequenzbereiche eine Feldabnahmekurve über der Distanz erstellt.

Zum Schluss wird noch das Funktionsprinzip mehrerer Bürogeräte beschrieben und einige Messergebnisse angegeben. Es wird versucht, die Messergebnisse Anhand der elektrischen Komponenten und Bauteile, die in einem Gerät vorhanden sind, zu interpretieren.

2 Literaturrecherche

2.1 Methodik

In der Literaturrecherche soll nach Möglichkeit nach allen relevanten Veröffentlichungen gesucht werden, die thematisch einen Beitrag zum Projekt EMES (Elektromagnetisches Experten System) leisten können. Ziel ist es vor allem, Berichte über Messungen an Bürogeräten zu finden. Es müssen die Messmethoden analysiert werden und ihre Verwendbarkeit bezüglich unseres Vorhabens geprüft werden. Ein weiteres Ziel ist es, so viele Messdaten wie möglich über die elektromagnetischen Felder der Geräte direkt übernehmen zu können. Dazu ist wichtig, dass frequenzselektiv gemessen wird und diese Daten auch noch in verschiedenen Abständen und nach Möglichkeit in mehreren Richtungen (vom Testobjekt weggehend) vorliegen. Weiters sind auch einschlägige Rechenverfahren von Bedeutung. Gesucht wird nach Daten zu folgenden Gerätegruppen: Computer, Bildschirme, Beleuchtungskörper, W-LAN, Drucker, Scanner, Kopierer, Kabelkanäle, Schnurlostelefone, Basisstationen.

Besonders wird Wert darauf gelegt, dass in den Berichten folgende Daten vorhanden sind, beziehungsweise Kriterien erfüllt werden:

- Elektrische und magnetische Feldstärken bzw. Flussdichten oder Leistungsflussdichten
- frequenzselektiv durchgeführte Messungen. Breitbandige Messungen sind zur korrekten Bewertung der elektromagnetischen Exposition nach ÖNORM E 8850 wenig, beziehungsweise nicht geeignet.
- Informationen über die Abnahme der elektromagnetischen Felder über der Distanz

Gesucht wird in Datenbanken und Webseiten, die öffentlich zugänglich sind, und in Datenbanken, auf die über das Datenbank-Infosystem (DBIS) der Universitätsbibliothek der Technischen Universität Wien zugegriffen werden kann. Um diese Suche effizient zu gestalten, werden Suchbegriffe definiert, nach denen die Datenbanken durchforstet werden. So kann später nachvollzogen werden, wie gesucht wurde und eventuell nach zusätzlichen, hier nicht berücksichtigten Begriffen

gesucht werden, ohne die ganze Recherche wiederholen zu müssen. In Tabelle 2.1 sind die Suchbegriffe eingetragen.

flux density		
& magnetic	&measurement	&calculation
exposure	exposition	
&electromagnetic	&electric	&magnetic
&RF	&ELF	&occupational
field strength		
&occupational	&magnetic	&electromagnetic
&electric		
field		
&electric	&magnetic	&eletromagnetic
&measurement		
power density		
non ionizing radiation		
&measurement	&calculation	
microwaves		
base station		
&GSM	&UMTS	

Tabelle 2.1: Begriffen nach denen in Datenbanken und Webseiten gesucht wurde

Der Suchvorgang setzt sich folgendermaßen zusammen. Zuerst werden die fett gedruckten Begriffe aus Tabelle 2.1 in die Suchfunktion der jeweiligen Datenbank eingetragen und die Suche gestartet. Ergibt die Suche mehr als 100 Treffer, wird eine erweiterte Suchfunktion angewendet. Hier wird der fett gedruckte Begriff mit einer UND-Funktion, um einen der Begriffe, die mit &... gekennzeichnet sind, erweitert und die Suche neuerlich gestartet. Gibt es abermals mehr als 100 Treffer, wird in gleicher Weise mit dem nächsten &...Begriff erweitert und wieder gesucht. Es wird also zum Beispiel nach „flux density“ gesucht. Gibt es mehr als 100 Treffer, wird zur

weiteren Einschränkung nach „flux density“ UND(AND)„magnetic“ und folgend mit den anderen Begriffen gesucht.

Sind weniger als 100 Treffer erzielt, werden alle Überschriften gelesen und anhand dieser eine erste Vorauswahl getroffen, ob diese Dokumente zu einem für die vorliegende Arbeit interessierenden Thema verfasst sind.

Als nächster Schritt zur Verfeinerung der Suche werden die „Abstracts“ der übrig gebliebenen Dokumente gesichtet und wieder jene ausgeschieden, die eindeutig keinen passenden Inhalt behandeln.

Bei den nach diesen Schritten noch vorhandenen Dokumenten wird das ganze Dokument gesichtet und in Tabelle A.1 eingetragen. Des Weiteren wird die Literaturliste im Anhang dieser Dokumente auf weitere Quellen durchsucht und interessante Quellen bzw. Autoren werden weiter verfolgt.

Name	Adresse	Treffer
EMF - Portal	http://www.emf-portal.de/	Expositionsangaben zahlreicher breitbandig vermessener Quellen und nur mit einem Maximalwert in einem Abstand. biologisch/medizinische Studien
ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection	http://www.icnirp.de/	Biologische, medizinische, epidemiologische,... Studien über EMF, Expositionsrichtlinien, wissenschaftliche Ergebnisse über EMF.
WHO - World Health Organisation	http://www.who.int/	ein wenig über Mobilfunk, aber hauptsächlich über gesundheitliche Auswirkungen von EMF
femu - Forschungszentrum für Elektro-	http://www.femu.de/	Hauptsächlich medizinische und biologische Studien zur Wirkung EMF auf den Menschen

Magnetische Umweltverträglichkeit		
ELMAR – Dokumentationsstelle elektromagnetische Strahlung und Gesundheit	http://www.elmar.unibas.ch/elm_ar_suche.html	Medizinische und technische Berichte und wissenschaftliche Publikationen zu EMF und Exposition
IMST - GmbH	http://www.imst.de/de/home.php	Decken den ganzen Bereich EMV, EMF ab. Ein paar nützliche Links.
Health Protection Agency (NRPB)	http://www.hpa.org.uk/	Dokumente über die Wirkung von EMF auf den menschlichen Körper
Bioelectromagnetics	http://www.bioelectromagnetics.org	Studien über UMTS, GSM, HF, NF, ... und deren Wirkung auf den Körper
EMF Services	http://www.emf-services.com	Ein Bericht über Messungen an CRT, aber keine Daten online
NCRPB - National Council on Radiation Protection & Measurement	http://www.ncrponline.org/	Publikationen über nicht ionisierende Strahlung, auch Berichte über Messungen sind vorhanden
Compendex (Engineering Village)	http://www.engineeringvillage2.org	Umfassende Datenbank über wissenschaftliche und technische Forschung. Verbindet die Ergebnisse aus mehreren Datenbanken.

Tabelle 2.2: Liste der durchsuchten Webseiten und Datenbanken

2.2 Ergebnisse

Es wurde kein einziges Dokument gefunden, in dem Ergebnisse einer frequenzselektiven Messung der elektromagnetischen Felder von Bürogeräten aufgelistet sind und zusätzlich auch noch die Abnahme der Felder mit zunehmender Entfernung zum Gerät untersucht wurden. Diese Dokumente geben jedoch einen guten Überblick über den gesamten Bereich der Probleme mit elektromagnetischen Feldern und ihrer Wirkung auf den menschlichen Körper. Es werden Messmethoden dargestellt und Möglichkeiten der Bewertung elektromagnetischer Felder über ein breites Frequenzband.

Eine Liste der gefundenen Dokumente ist im Anhang A zu finden.

2.3 Normen

Es wurde in der umfangreichen Normensammlung der Austrian Research Centers nach allen Normen gesucht, die einen Bezug zur Bewertung und zur messtechnischen Erfassung elektromagnetischer Felder in Bezug auf das Projekt EMES haben. Eine Liste der gefundenen Normen ist im Anhang B zu finden. Hier werden einige zur Beurteilung wichtige Normen kurz beschrieben.

EN 50366:

Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Elektromagnetische Felder - Verfahren zur Bewertung und Messung

Diese Norm etabliert eine geeignete Bewertungsmethode zur Bestimmung der elektromagnetischen Felder in der Umgebung von elektrischen Geräten für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke und bestimmt standardisierte Betriebsbedingungen und Messentfernungen.

Diese Norm enthält Listen mit Geräten, die im Haushalt vorkommen. Für diese Geräte ist eine typische Entfernung für die Messung angegeben. Es werden Messorte und Betriebsbedingungen angegeben, wie zum Beispiel: In welchem Abstand wird bei einem Elektroherd gemessen, wird an der Oberfläche gemessen und wird rund um das Gerät gemessen oder nur an der Front.

Da die Immissionen von Elektrogeräten nur auf einen kleinen Teil des Körpers einwirken und der Referenzwert für eine Ganzkörperimmission gilt, werden Messwerte mit einem Koppelfaktor gewichtet, der zwischen ungefähr 0,1 bis 0,2

liegt. Dieser Koppelfaktor wird in Listen zum jeweiligen Gerät angegeben bzw. es wird auch ein Verfahren zur Bestimmung des Koppelfaktors beschrieben. (Dürnberger, et al. 2004) (EN50366)

Hier noch ein paar interessante Definitionen aus der Norm EN 50366:

Referenzwert: RMS - Wert der magnetischen Feldstärke von homogenen Feldern, abgeleitet von der dem Basisgrenzwert entsprechenden Feldstärke, der eine Person ohne schädliche Effekte ausgesetzt werden kann.

Messentfernung: Entfernung zwischen der Oberfläche des Testgerätes und dem nächsten Punkt der Oberfläche des Sensors.

Koppelfaktor: Faktor, welcher die Unregelmäßigkeiten des Feldes in der Umgebung der Geräte und die Dimensionen eines exponierten Körperteils berücksichtigt. Wenn ein Feldstärkewert lokal den Referenzwert überschreitet, kann der Koppelfaktor herangezogen werden, um die Übereinstimmung mit den Basisgrenzwerten zu zeigen.

Messmethoden:

Es wird von 10 Hz bis 400 kHz gemessen.

Im Allgemeinen besteht keine Notwendigkeit, die elektrischen Felder in der Umgebung von Haushaltsgeräten zu bewerten. Für die meisten Geräte kann ohne Prüfung angenommen werden, dass die Referenzwerte eingehalten werden.

Transiente magnetische Felder mit einer Dauer kleiner als 200 ms, z.B. während Schaltvorgängen, werden nicht berücksichtigt. Erfolgt während der Messung ein Schaltvorgang, muss die Messung wiederholt werden. (EN 50366)

EN 55015:

Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten

Die Norm beschreibt die maximal zulässigen Signalpegel, welche die Lampe leitungsgebunden oder feldgeführt abgeben darf. Ziel dieser EMV Norm ist es auch den möglichst störungsfreien Betrieb von Geräten zu gewährleisten, welche schwache Signale empfangen, wie zum Beispiel Rundfunkempfänger. (Dürnberger et al. 2004)

Diese Norm umfasst den Frequenzbereich von 9 kHz bis 400 GHz. Es werden Mindestwerte der Einfügungsdämpfung vorgeschrieben und Grenzwerte der

Störspannung an den Stromversorgungsanschlüssen im Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz, Grenzwerte der Störspannung an Lastanschlüssen im Frequenzbereich 150 kHz bis 30 MHz, sowie Grenzwerte der Störspannung an Steueranschlüssen im Frequenzbereich 150 kHz bis 30 MHz angegeben.

Die Störfeldstärke der magnetischen Komponente von 9 kHz bis 30 MHz wird als Strom in einer um die Beleuchtungseinrichtung angeordneten 2 m, 3 m oder 4 m Rahmenantenne gemessen und mit einem Quasispitzenwertdetektor bewertet.

Leuchten mit Startern für Leuchtstofflampen müssen die Mindestwerte der Einfügungsdämpfung einhalten.

Lichtsteuergeräte (z.B. Dimmer), unabhängige Transformatoren und Konverter müssen die angegebenen Grenzwerte einhalten, jedoch für unabhängige Lichtsteuergeräte mit externen Stellgliedern, die NF-Signale kleiner 500 Hz erzeugen, gelten keine Grenzwerte.

Austauschbare Starter für Leuchtstofflampen müssen einen Kondensator zwischen 0,005 und 0,02 μF enthalten, der parallel zu den Anschlüssen des Starters geschaltet ist.

Messungen müssen mit Lampen durchgeführt werden, die mindestens eine gewisse Zeit in Betrieb waren, zum Beispiel 2 Stunden bei Glühlampen oder 100 Stunden bei Leuchtstofflampen und anderen Entladungslampen. Vor Beginn der Messung müssen die Lampen so lange in Betrieb sein, bis sich der Lichtstrom stabilisiert hat. Dies sind 5 Minuten bei Glühlampen, 15 Minuten bei Leuchtstofflampen und 30 Minuten bei anderen Entladungslampen

Im Anhang sind Messanordnungen für die verschiedenen Grenzwerte und Lampen angegeben und es werden auch noch Pläne der Messanordnungen gezeigt. (EN 55015)

EN 50392:

Fachnorm zur Demonstration der Konformität elektronischer und elektrischer Geräte mit den Basisgrenzwerten für die Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)

Die Fachgrundnorm EN 50392 gilt für Geräte bzw. Einrichtungen, die zur Verwendung durch die Allgemeinbevölkerung vorgesehen sind, wie sie in der Empfehlung des Rates 1999/519/EG vom 12. Juli 1999 im Hinblick auf die

Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz) definiert ist. Die EN 50392 gilt für elektronische und elektrische Geräte, für die keine spezifische Produkt- oder Produktfamiliennorm im Hinblick auf die Sicherheit von elektromagnetischen Feldern besteht. Deziert aus dem Anwendungsbereich ausgeschlossen sind Geräte oder Einrichtungen, welche die Anforderungen der Norm EN 50371 erfüllen, sowie medizinische elektrische Geräte. Aus diesem Grund fallen Komponenten eines drahtlosen lokalen Netzes, die nicht in die Kategorie Geräte geringer Sendeleistung nach EN 50371 fallen, oder Mobiltelefone sind, in den Anwendungsbereich dieser Norm.

In EN 50392 werden Methoden zur Überprüfung der Übereinstimmung mit Grenzwerten angeführt, die eine Berücksichtigung der Messunsicherheit beinhaltet. Es werden folgende mögliche Bewertungsverfahren erörtert: Fernfeldberechnung, Nahfeldberechnung, Simulation mit oder ohne Phantom, numerische Modellierung, Messung des Körperstroms, SAR Berechnung und Messung, Messung der elektrischen und magnetischen Felder, Quellenmodellierung, die direkte Messung des Berührungstromes, der Eingangsleistung sowie des Körperstroms. Methoden zur Expositionsbeurteilung bei gleichzeitiger Exposition durch elektromagnetische Felder mehrerer Frequenzen werden erörtert.

(Schmidt, et al. 2005) (EN 50392)

EN 50413:

Der Entwurf dieser Norm vom November 2003 beinhaltet Methoden zur Messung und Berechnung von verschiedenen Größen, die zur Expositionserfassung von Menschen im Frequenzbereich von 0 bis 300 GHz herangezogen werden. Der Entwurf befasst sich mit der Messung und Berechnung von elektrischer und magnetischer Feldstärke im freien Raum und der Bestimmung von physikalischen Größen innerhalb des menschlichen Körpers, um die Erfüllung von Schutzziele von z.B. der EU Ratsempfehlung (EU-Ratsempfehlung 1999) zu untersuchen. Ziel dieses Dokumentes ist es, eine allgemeingültige Referenz zur Untersuchung der Exposition von Personen durch elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz infolge der Emissionen von elektrischen und elektronischen Geräten darzustellen. In diesem Sinn könnte diese zukünftige Norm auch zur Expositionsbestimmung von Komponenten kabelloser Übermittlungsverfahren

insbesondere dann eingesetzt werden, wenn keine anwendbaren Produktnormen zur Verfügung stehen.

Der prEN 50413 beinhaltet allgemeine Anforderungen an die Messmethodik, sowie an die Methodik zur Bestimmung der Messunsicherheit, Anforderungen an Kalibrierungen sowie an die Mess-Einrichtungen. Ein besonderes Augenmerk dieses Dokumentes liegt auf der Bestimmung von Strömen im Körper sowie der SAR. Verschiedene Methoden zur Validierung von Berechnungsmethoden werden erläutert, eine Übersicht über gebräuchliche numerische Methoden wird gegeben. (Schmidt, et al. 2005) (EN 50413)

3 Erhebung häufig benutzter Bürogeräte

In diesem Kapitel wird eine Recherche über in Österreich eingesetzte Bürogeräte beschrieben anhand dieser die Geräte ausgewählt werden, die für das Projekt EMES primär untersucht werden. 11 Arten von elektromagnetischen Quellen werden berücksichtigt, z.B.: Computer, Bildschirme, Beleuchtungskörper, Mobiltelefone (GSM und UMTS) und Schnurlostelefone (DECT), Basisstationen (GSM und UMTS), WLAN Anwendungen, Drucker, Scanner, Kopierer und Kabelkanäle.

Auf Basis von Informationen von Verbänden, Fachverbänden, Herstellern, dem statistischen Zentralamt werden Informationen über die eingesetzten Quellen gesammelt. Es werden möglichst vollständig Listen von Informationen über die in Österreich im Einsatz befindlichen Geräte der oben genannten Kategorien erstellt. Auf Basis der verfügbaren Informationen werden unter Berücksichtigung der Häufigkeit des Einsatzes bestimmter Gerätetypen und der Höhe der zu erwartenden Exposition eine ausreichende Anzahl von Geräten ausgewählt, um eine repräsentative Aussage über die Exposition infolge eines bestimmten Gerätetyps zu ermöglichen.

3.1 Methodik

Erhebung der Information über Quellen aus den 11 Kategorien, die in den letzten 5 Jahren (ab 2004) in österreichischen Büros eingesetzt wurden.

Information der BBG (Bundes-Beschaffungsgesellschaft):

Die typische Nutzungsdauer von IT Equipment liegt bei 5 Jahren, bei Notebooks sind es aber nur ca. 4 Jahre. Seit Mitte 2006 werden keine Röhrenbildschirme mehr bestellt und in zwei, drei Jahren wird es daher im öffentlichen Sektor kaum mehr Röhrenbildschirme geben. Pro Jahr bestellt die BBG ca. 25.000 Notebooks und 15.000 PC's.

Zuerst werden die Quellen definiert, dann wird festgelegt, welche Geräte umfasst werden und welche nicht. Zum Beispiel werden in der Kategorie Computer keine Gameboys und dergleichen berücksichtigt. Eine Liste ist im Anhang C.

Es wird erhoben, welche Quellen es gibt und wie häufig sie eingesetzt werden.

Suche von Herstellern. Es werden Herstellerlisten von Geräten der 11 Kategorien über Internet, Fachverbände und Statistisches Zentralamt erstellt.

Frage über Fachverbände, BBG, Wirtschaftskammer, Statistisches Zentralamt: Es wird versucht, Typen und Häufigkeit der eingesetzten Bürogeräte in obigen Organisationen zu erhalten.

Suche über Handel: Es wird bei Händlern und Vertriebsfirmen über Daten und die Verkaufszahlen von Bürogeräten angefragt.

Zur Anfrage bei diversen Organisationen wird einerseits telefonisch Kontakt aufgenommen und dann ein Schriftstück mit Informationen nachgesendet. Dieses Schriftstück wurde im ARC abgesprochen, mit den Auftraggeber der AUVA abgestimmt und ist im Anhang D angehängt.

Alle gewonnen Daten werden in Listen eingetragen und die zu vermessenden Gerätetypen nach der Höhe der zu erwartenden Exposition und nach ihrer Häufigkeit ausgewählt.

3.2 Ergebnisse

Im Statistischen Zentralamt liegen keine Daten über die Verkaufszahlen von einzelnen Gerätetypen auf und können aus den vorhandenen Daten auch nicht gewonnen werden.

Im Wesentlichen erhielten wir Daten von zwei Organisationen, der BBG (Bundes-Beschaffungs-Gesellschaft) und von ACP - IT Solutions. Die BBG beschafft IT Equipment für Bundesbehörden (Muss-Kunden) sowie Landesbehörden, Universitäten, ARC (Kann-Kunden) und deckt somit den öffentlichen Sektor ab. Die ACP-Gruppe ist das größte österreichische Systemhaus und bietet die ganze Palette an IT Lösungen wie Dienstleistungen, Hardware, Software, Lösungen und IT-Finanzierungen an. ACP betreut Unternehmen, Behörden und Organisationen jeder Größe. ACP stellte uns die gesamten Verkaufstatistiken mit Gerätetyp und Stückzahlen seit 2004 zur Verfügung. Aufgrund des großen Bereiches, den diese zwei Organisationen in Österreich abdecken, sollten die aus diesen Daten gewonnenen Gerätetypen repräsentativ sein.

Eine genaue Liste der Geräte kann hier aus datenschutztechnischen Gründen nicht angegeben werden.

4 Untersuchungen an Messgeräten

4.1 Funktionsweise der Messgeräte

4.1.1 Elektrische und magnetische Ersatzfeldstärke

Bei elektrischen und magnetischen Feldern handelt es sich um Vektorfelder; das bedeutet, ihnen werden an einem bestimmten Punkt im Raum eine Richtung und eine Stärke zugeordnet. Im Niederfrequenzbereich (NF) befinden wir uns mit der Messung immer im Nahfeld, daher finden die Fernfeldbedingungen hier keine Anwendung. Weiters spielt auch noch die Zeitabhängigkeit der Feldkomponenten eine Rolle. Um ein Feld an einem Ort messen zu können, ist es notwendig, alle drei orthogonalen Feldkomponenten nach Betrag und Phase zu bestimmen. Für den Personenschutz ist aber eine weniger genaue Bestimmung der Felder ausreichend. Es ist nicht notwendig, den exakten Feldstärkewert zu kennen, sondern nur ein Maß zu finden, welches für eine etwaige Gefährdung von Personen ausreichend Information enthält. Aus diesem Grund wurde die elektrische und magnetische Ersatzfeldstärke definiert.

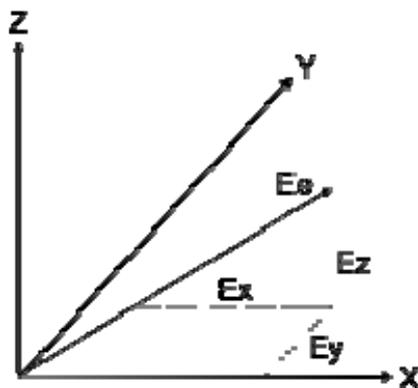


Abbildung 4.1.1: Vektor der elektrischen Ersatzfeldstärke und seine Komponenten

Formel 4.1

$$E_e = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad \text{bzw.} \quad H_e = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

Die Ersatzfeldstärke ermittelt man aus dem quadratischen Mittelwert der drei Feldkomponenten (Abbildung 4.1.1). Die Phasenverschiebung der drei Komponenten bleibt hier unberücksichtigt. Haben die drei Feldkomponenten unterschiedliche zeitliche Phasenlagen zueinander, beschreibt die Spitze des Feldvektors eine Ellipse. Man spricht in diesem Fall von elliptischer Polarisation. Die Vernachlässigung der Phasendifferenzen führt bei elliptisch polarisierten Feldern zu einer Überschätzung der Feldstärke. Bei linearer Polarisation ändert der Feldstärkevektor seine Richtung nicht und die Ersatzfeldstärke ist gleich dem Betrag der Feldstärke. Bei der Messung elliptisch polarisierter Felder wird also die „Worst – Case“ - Feldstärke ermittelt, dies ist für den Personenschutz ausreichend. (Wandel & Goltermann GmbH&Co, 1995)

4.1.2 Messprinzip zur Messung des magnetischen Feldes

Eine häufig verwendete Methode bei der Messung des magnetischen Feldes ist die Anwendung des Induktionsgesetzes. Hierbei wird die Eigenschaft magnetischer Wechselfelder genutzt, damit sie Spannung in einer Spule induzieren, die proportional zur Größe der Änderungsrate des Feldes ist.

Formel 4.2

$$U_{ind} = n2\pi fBA$$

n...Windungszahl

f...Frequenz

B...magnetische Flussdichte

A...Querschnittsfläche der Spule

Nun kann direkt durch Messen der induzierten Spannung die magnetische Feldstärke ermittelt werden.

Formel 4.3

$$B = \frac{U_{ind}}{n2\pi fA}$$

Die induzierte Spannung ist, wie in Formel 4.2 ersichtlich, unter anderem von der magnetischen Flussdichte und der Frequenz abhängig. Damit nun die induzierte Spannung von der Frequenz unabhängig gemacht werden kann, muss ein

entsprechendes Integrationsglied den Frequenzgang kompensieren. Dieses bestimmt auch den Einfluss der Frequenz auf die Messgenauigkeit. Einen sehr starken Einfluss auf die Messung hat auch der Winkel, in dem die Spule zum Feld steht. Steht sie nicht genau im rechten Winkel zu den Feldlinien, reduziert sich die induzierte Spannung, da die wirksame Fläche der Spule dann kleiner ist.

Formel 4.4

$$U_{ind} \propto \cos(\alpha)$$

Steht die Spule senkrecht zum Feld, so ist der Fehlerwinkel gleich null und $\cos(\alpha)=1$, es ist die ganze Spulenfläche wirksam. Durch die Abhängigkeit der Fläche vom Cosinus, verursachen kleine Abweichungen auch nur kleine Fehler. Zum Messen des Magnetfeldes muss nun die Spule so lange gedreht werden, bis ein Maximalwert angezeigt wird. Dieser entspricht dann der Feldgröße an dieser Stelle.

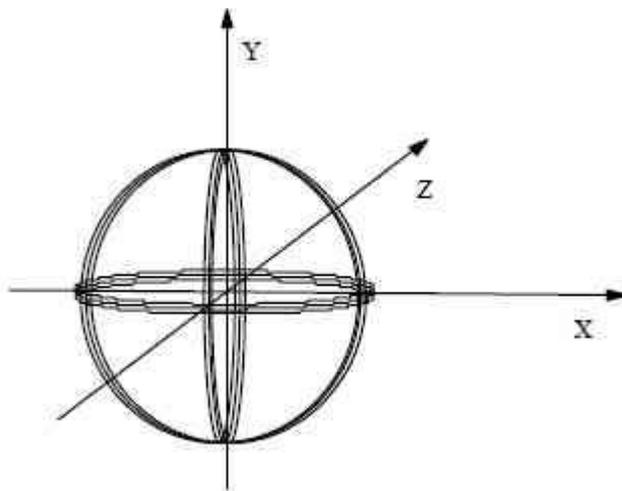


Abbildung 4.1.2: Anordnung der drei Spulen einer isotrop messenden Feldsonde (Wandel & Goltermann GmbH&Co, 1995)

Besser kann man mit isotropen Magnetfeldsonden messen. Hier sind drei Spulen orthogonal zueinander angeordnet. Dies

bringt den Vorteil, dass der Sensor in jeder Lage den gleichen Wert der Ersatzfeldstärke liefert. In diesem Fall wäre die Sonde ideal isotrop.

Noch ein Einfluss auf die Messgenauigkeit kommt bei dieser Spulenanordnung dazu; hier ist die exakte Ausrichtung der Spulen zueinander von besonderer Bedeutung: Sind diese nicht genau orthogonal zueinander ausgerichtet, wird das Ergebnis der Messung durch den entstehenden Isotropiefehler ungenau. Hier sind die Abhängigkeiten des Messfehlers im Gegensatz zum eindimensionalen Fall nicht nur proportional $\cos(\alpha)$, sondern auch proportional $\sin(\alpha)$. Das kommt daher, dass die Spulen senkrecht aufeinander stehen. Die eine Spule ändert ihre aktive Spulenfläche

proportional $\cos(\alpha)$ und die dazu senkrecht stehende Spulenfläche hat eine $\sin(\alpha)$ Abhängigkeit. Weichen die Spulen von ihrer idealen Stellung auch nur geringfügig ab, ist der Einfluss auf den Messfehler relativ groß ($\sin(\alpha)$ -Abhängigkeit).

Hier sei auch noch erwähnt, dass die Abschirmung des Sensors gegen elektrische Felder ein weiteres Qualitätskriterium ist. Ist bei der Messung des magnetischen Feldes ein starkes elektrisches Feld vorhanden, werden ohne geeignete Abschirmmaßnahmen die Messwerte stark beeinflusst oder sogar praktisch unbrauchbar.

Ich möchte hier noch darauf hinweisen, dass sich die Angaben zur Messgenauigkeit bei Sonden immer nur auf einen bestimmten Feldstärke- und Frequenzbereich beziehen. Bei zusätzlichen Kalibrierungen für bestimmte einzelne Frequenzen kann dort noch eine bessere Messgenauigkeit erzielt werden. (Wandel & Goltermann GmbH&Co, 1995)

4.1.3 Messprinzip zur Messung des elektrischen Feldes

Elektrische Felder werden häufig mit der kapazitiven Methode gemessen. Hierbei werden zwei Elektroden in das zu messende elektrische Feld eingebracht und der Verschiebungsstrom gemessen. Befindet sich ein Plattenkondensator in einem Wechselfeld, tritt an seinen Anschlüssen ein Wechselspannungssignal auf. Diese Anordnung verhält sich wie ein kapazitiver Dipol, solange dieser viel kleiner als die Wellenlänge des betrachteten Signals ist. Dies ist hier der Fall, da wir uns im Niederfrequenzbereich befinden. Zum Beispiel ist bei 50 Hz die Wellenlänge 6000 Kilometer und selbst bei 100 kHz immer noch drei Kilometer. Die Abmessungen unserer Messgeräte sind dagegen sehr klein. Sie betragen nicht mehr als elf Zentimeter. Abbildung 4.1.3 zeigt das Ersatzschaltbild solch eines Dipols.

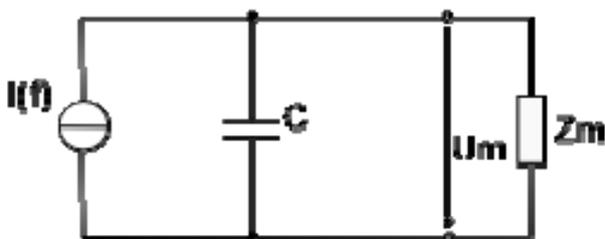


Abbildung 4.1.3: Ersatzschaltbild des kapazitiven Dipols (Wandel & Goltermann GmbH&Co, 1995)

Der Strom $I(\omega)$ der Stromquelle repräsentiert den Verschiebungsstrom, der auf eine Platte des Kondensators im elektrischen Feld einfällt. Die Kapazität C stellt die Kapazität des Dipols dar. Um nun den Verschiebungsstrom zu berechnen, integriert man die elektrische Feldstärke über der Fläche einer Elektrode. Um das zu illustrieren, sind in Abbildung 4.1.4 die Anordnung der Platten im Feld und die Messschaltung dargestellt.

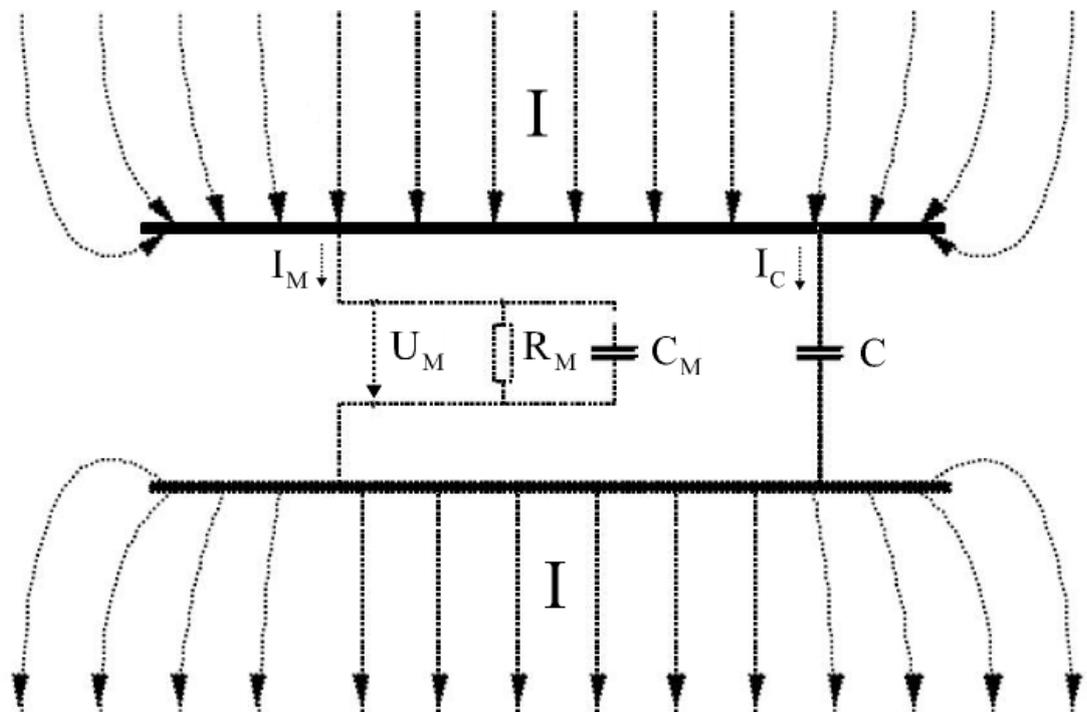


Abbildung 4.1.4: Stromfluss durch einen kapazitiven Sensor (Bahmeier, 1994)

Formel 4.5

$$I = j\omega\epsilon \int_A \vec{E} d\vec{A} \quad A \dots \text{wirksame Fläche der Elektroden}$$

Der Strom erzeugt eine Spannung zwischen den Platten des Kondensators. Die Messschaltung liegt parallel zu den Elektroden und greift diese Spannung ab. Um

eine hohe Eingangsimpedanz des Messkreises zu erreichen, wird ein Source - Folger verwendet, dessen Eingangskapazität C_M parallel zur Plattenkapazität liegt. Die Spannung U_M am Eingang des Messkreises ergibt sich dann nach folgender Formel 4.6.

Formel 4.6

$$U_M = I_M Z_M = I Z_{ges} = \frac{j\omega\epsilon \int \vec{E}d\vec{A}}{\frac{1}{R_M} + j\omega(C + C_M)}$$

Z_M ... Impedanz des Messkreises
 Z_{ges} ... Impedanz der gesamten Anordnung

Dieser Sensor stellt ein Hochpassglied dar, dessen Grenzfrequenz in Formel 4.7 berechnet wird.

Formel 4.7

$$f_g = \frac{1}{2\pi R_M (C + C_M)}$$

f_g ... Grenzfrequenz

Bei hohen Frequenzen im Vergleich zur Grenzfrequenz f_g kann der Leitwert $1/R_M$ gegenüber dem Blindleitwert $\omega(C + C_M)$ vernachlässigt werden.

$$1/R_M \ll \omega(C + C_M)$$

Damit vereinfacht sich Formel 4.6 zu:

Formel 4.8

$$U_M = \frac{\epsilon \int \vec{E}d\vec{A}}{C + C_M}$$

Dies gibt nun den Zusammenhang zwischen elektrischer Feldstärke und abgegriffener Spannung des Messkreises an. Zu beachten ist allerdings, dass diese Formel nur oberhalb der unteren Grenzfrequenz f_g gültig ist. Hier wird die Messung

der elektrischen Feldstärke unter Beachtung eines Abstandes zur Grenzfrequenz f_g sogar von der Frequenz unabhängig.

Mit dieser Methode werden auch dreidimensionale Sensoren gebaut. Diese sind an der charakteristischen Würfel-Bauform gut zu erkennen. Das isotrope Messverhalten wird durch drei orthogonal angeordnete Platten an den Seiten des Würfels erreicht. Diese haben gegenüber dem Kern eine Kapazität. Aus Symmetriegründen sind manchmal auch noch an den gegenüberliegenden Seiten Platten angebracht, die allerdings nicht zur Messung beitragen.

Allgemein ist die Messung bei elektrischen Feldern etwas schwieriger als bei magnetischen Feldern. Elektrische Felder werden durch die Umgebung leicht beeinflusst beziehungsweise verzerrt. So hat der menschliche Körper in der Nähe der Messsonde schon einen so großen Einfluss auf das Feld, dass es mit dem ungestörten Feld nicht mehr viel gemein hat. Um elektrische Felder messen zu können, müssen alle Einflüsse durch leitende Strukturen, im speziellen auch Antennenkabel und dergleichen, unterbunden werden. Dieses Problem ist bei elektrischen Feldsonden so gelöst, dass sie bereits eine Auswertelogik eingebaut haben und nur mehr die Messergebnisse mittels Lichtwellenleiter an das Basisgerät übermitteln. So kann auch der Messtechniker in einigen Metern Entfernung stehen und so kann sein Einfluss auf das Feld vermieden werden. (Wandel & Goltermann GmbH&Co, 1995) (Bahmeier, 1994)

4.2 Grundlagen der Feldberechnung

4.2.1 Magnetisches Feld einer Spule

Über die Biot – Savart - Formel kann die Feldstärke \vec{H} bzw. die Flussdichte \vec{B} an der Achse einer einzelnen kreisförmigen Stromschleife folgendermaßen

Formel 4.9

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2a} \frac{\vec{e}_z}{[1 + (z/a)^2]^{3/2}}$$

\vec{e}_z ...Einheitsvektor zeigt in Richtung der Spulenachse

a ... Radius der Stromschleife

berechnet werden (Abbildung 4.2.1). (Prechtl, 1995)

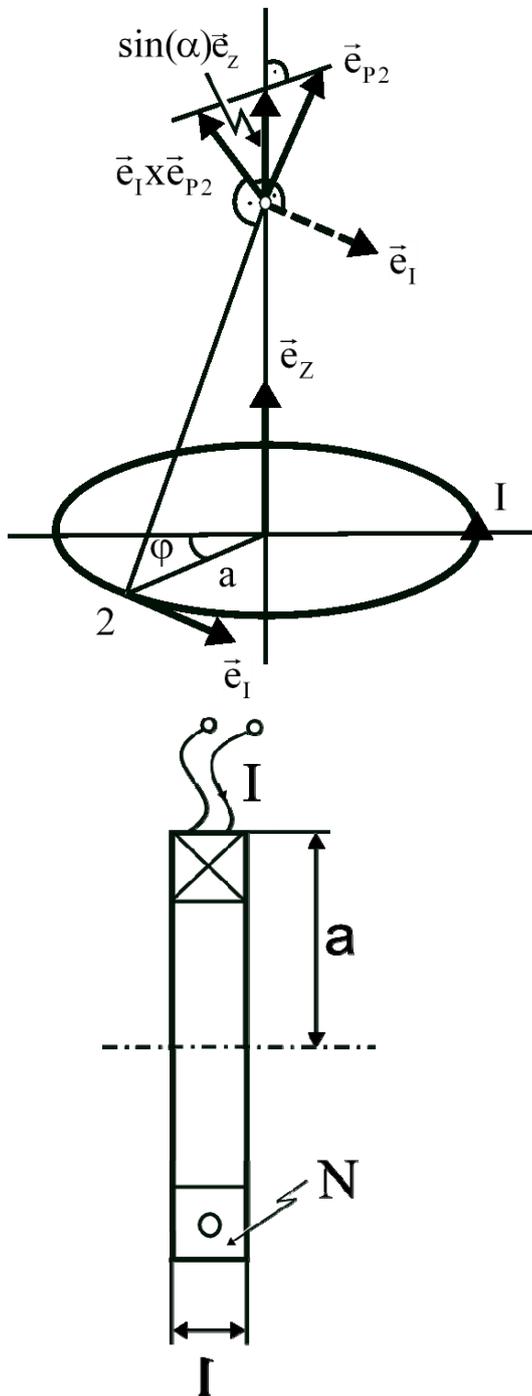


Abbildung 4.2.1 Zur Berechnung des magnetischen Feldes, einer Strom durchflossenen Kreisschleife, an der Achse und Darstellung der Spulenbezeichnungen

Aus Symmetriegründen heben sich alle Beiträge der Vektoren \vec{B} auf, die nicht in \vec{e}_z zeigen. Damit bleibt auf der Achse nur eine Komponente in Achsenrichtung \vec{e}_z über.

Weiters gelten folgende grundlegende Zusammenhänge:

- Das Superpositionsgesetz (Überlagerungsprinzip):

Erzeugt eine Stromverteilung an irgendeinem Ort \mathcal{P} eine magnetische Flussdichte $\vec{B}_1(\mathcal{P})$ und eine andere Stromverteilung für sich alleine am selben Ort die Flussdichte $\vec{B}_2(\mathcal{P})$, so bewirkt die Überlagerung der beiden Stromverteilungen in \mathcal{P} die Flussdichte $\vec{B}(\mathcal{P}) = \vec{B}_1(\mathcal{P}) + \vec{B}_2(\mathcal{P})$

- Die Verknüpfungsbeziehung im leeren Raum:

Formel 4.10

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$$

$\vec{H} \dots$ magnetische Feldstärke
 $\mu_0 \dots$ magnetische Feldkonstante

Die Ausdehnung der Spule in Achsenrichtung wird mit l bezeichnet. Da es sich bei unserer Spule um eine dünne Spule im Vergleich zu ihrem Durchmesser d handelt ($l/d = 6/38 \approx 0,16$), wird angenommen, dass sie sich aus einzelnen Kreisschleifen zusammensetzen lässt und deren Felder nach obiger Formel 4.9 berechnet werden können. Die ganze Spule wird also mit N einzelnen Kreisschleifen modelliert. Diese Modellierung beschreibt für unsere Zwecke in ausreichender Genauigkeit die Spulenanordnung.

Um nun \vec{B}_r auf der Spulenchse zu berechnen, addiert man die Beiträge der N einzelnen Stromschleifen und erhält so das magnetische Feld, das von der gesamten Spule verursacht wird.

Also gilt für die gesamte entlang der Spulenchse berechnete Flussdichte einer Spule mit N Windungen $\vec{B}_r = \vec{B} * N * \vec{e}_z$.

4.2.2 Elektrisches Feld in einem Plattenkondensator

Das elektrische Feld zwischen zwei Platten ist proportional der Spannung, die an diese Platten angelegt wird. Wenn die Streufelder am Rand des Kondensators vernachlässigt werden, herrscht im Inneren ein homogenes Feld. Exakt verschwindet das Streufeld erst

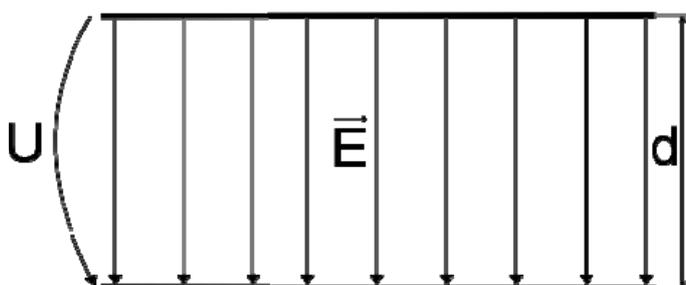


Abbildung 4.2.2: Plattenkondensator mit homogenem elektrischen Feld.

bei unendlicher Ausdehnung der Platten. Bei dem für die Messungen weiter unten verwendeten Kondensator kann das Feld zwischen den Platten als homogen angenommen werden. Lediglich ganz am Rand wird diese Annahme nicht mehr stimmen. Das elektrische Feld E berechnet sich dann nach Formel 4.11.

Formel 4.11

$$E = \frac{U}{d}$$

U...elektrische Spannung
d...Abstand der Platten

4.3 Messungen

Es werden mit einer Auswahl von elektrischen und magnetischen Feldsonden Messungen durchgeführt. Der Zweck dieser Versuche ist es herauszufinden, welche Messgeräte sich für die Feldmessungen an Bürogeräten eignen. Es sollen die elektrischen und magnetischen Felder der im Büroalltag eingesetzten Geräte so vermessen werden, dass es möglich wird, die Orte der stärksten Felder zu lokalisieren. An diesen Orten muss dann die Abnahme der Felder mit sich vergrößerndem Abstand gemessen werden. Ziel ist es, aus den gewonnenen Daten eine Funktion für die Abnahme der Felder zu finden ($1/r^x$). Es ist außerdem notwendig, frequenzselektiv zu messen, um im Anschluss eine Bewertung der Exposition nach der ÖNORM E 8850 vornehmen zu können.

Einige der Feldsonden stehen schon zur Verfügung und andere sind nur Leihgeräte des Herstellers. Aufgrund den nachfolgenden Versuche, soll nun eine Auswahl der Messgeräte vorgenommen werden und die notwendigen Neuanschaffungen sollen getätigt werden.

4.3.1 Verwendete Geräte:

Im Folgenden werden die für den Messaufbau verwendeten Geräte aufgelistet:

- Frequenzgenerator: HP 8116A Pulse Funktion Generator 50 MHz
- Leistungsverstärker: Solar Electronics CO. Model 6552-1A 100 W Solid State Audio Amplifier
- Amperemeter: Fluke 175 True RMS Multimeter
- Plattenkondensator (1m*1m*0,5m)
- Große Spule: N = 190 Wdg., d = 0,38 m, l = 0,06 m, l/d = 0,237
- Kleine Spule N = 25 Wdg., d = 0,25 m, l = 0,03 m, l/d = 0,12

Liste der getesteten Feldsonden:

- PMM EHP 50C Electric and Magnetic Isotropic Field Analyser
- PMM EHP 200 E-/H-field probe
- ESM-100 Maschek 3D H/E field meter
- EFA-3 Wandel & Goltermann EM Field Analyser
+ E-Field Sensor for EM Field Analyser for EFA-3
- EFA-300 Narda EM Field Analyser
+ E-Field Sensor for EM Field Analyser for EFA-300
- ELT-400 Narda Exposure Level Tester
mit NF-Messsystem Austrian Research Centers GmbH-ARC

4.3.2 Messung im Spulenmittelpunkt

Um die Eigenschaften der magnetischen Feldmessgeräte (diese werden oft als Feldsonden bezeichnet) kennen zu lernen, wird das Feld an leicht zu berechnenden Feldpunkten der Spule gemessen. Die Messergebnisse werden mit den berechneten Werten verglichen und daraus wird ersichtlich, welche Eigenschaften die einzelnen Feldsonden besitzen. Die Messungen erfolgen vom Spulenmittelpunkt weg in 10 Zentimeterschritten bis zu einem Meter Entfernung.

Den isotrop messenden Sonden ist ein Punkt in der Mitte ihres Volumens zugeordnet, für den der gemessene Feldwert repräsentativ sein soll. Für genau diesen Punkt wird das Feld berechnet. Da nun aber unsere Feldsonden einen Durchmesser von zum Beispiel 10 Zentimetern haben und die Fläche, über die sie messen, zum Beispiel 100 cm² beträgt, wird das Feld über diese Fläche gemittelt. Befindet sich die Sonde in einem homogenen Feld, ist mit geringen Fehlern zu rechnen, aber in inhomogenen Feldern wird die Fläche der Sonde von stark unterschiedlichen Flussdichten durchsetzt. Diese werden über die Fläche der Messspule gemittelt und stellen so nicht den exakten Wert für die Flussdichte im Sondenmittelpunkt dar. Als Ergebnis bekommt man dann einen abweichenden Messwert, dessen rechnerische Korrektur nur für bekannte Feldverteilungen möglich ist.

Es soll auch das Verhalten der Feldsonden im weitestgehend homogenen Feld bei unterschiedlichen Feldstärken untersucht werden. Dazu wird die Feldsonde im Mittelpunkt der Spule platziert und der Strom durch die Spule variiert. Da die in Abbildung 4.3.1 gezeigte Anordnung der Spule und der Feldsonde auch von den EMV-Experten im ARC-Seibersdorf für Kalibrationszwecke verwendet wird, wurden keine weitergehenden Untersuchungen der Feldhomogenität über die Sondenfläche im Spulenmittelpunkt angestellt. Es wird also angenommen, dass kalibrierte Messgeräte im Prinzip genau den errechneten Feldwert anzeigen. Mit diesen Annahmen kann nun die Linearität der Messgeräte bei unterschiedlichen Feldstärken dargestellt werden.

Mit dem Frequenzgenerator wird eine Sinusschwingung verschiedener Frequenzen f erzeugt und über einen Verstärker in die Spule eingespeist. Der Strom durch die Spule wird gemessen und die zu erwartenden Flussdichtewerte werden mittels Formel 4.9 bzw. Formel 4.10 berechnet. Mit der Sonde EHP 50 wird zusätzlich der Unterschied zwischen einer Einspeisung mit Sinusspannung, Dreieckspannung und Rechteckspannung auf die gemessenen Werte bei der jeweiligen Frequenz untersucht.

Nun wird die Messsonde im Mittelpunkt der Spule positioniert. Ein beispielhafter Aufbau mit der Sonde ELT-400 wird in Abbildung 4.3.1 gezeigt. Der Ort der Messung ist im ARC in Seibersdorf im Raum DA 1-4. Dieser Raum ist nicht geschirmt, es herrschen jedoch kleine Hintergrundfelder, da dieser Raum etwas

abseits gelegen ist und keine Leitungen mit größeren Strömen in der Umgebung bzw. im Raum verlaufen. Messungen ergaben, dass die maximalen Hintergrundfelder 70 nT nicht überschreiten. Die Kalibrationsmessungen der EMV-Experten in Seibersdorf finden im gleichen Raum statt und deshalb wird angenommen, dass dieser Raum auch für unsere Untersuchungen geeignet ist. Ich möchte noch darauf hinweisen, dass das in Abbildung 4.3.1 gezeigte Ladekabel der Sonde ELT-400 während des Messvorgangs entfernt wurde. Das Datenkabel zum Rechner hat auch keinen Einfluss auf die Messung, da hier sehr kleine Ströme auftreten und der Abstand des Kabels zur Messsonde ca. 50 cm beträgt.

Bei der Messung werden nun die angezeigten Flussdichtewerte der Handgeräte in ein Excel Sheet eingetragen. Bei den Messsystemen, bei denen nur eine frequenzselektive Analyse mittels Rechner möglich ist, wird der RMS-Wert bei der jeweiligen zu messenden Frequenz eingetragen. Oberwellen werden nicht untersucht.

Die Messwerte der Sonde im Vergleich zu den berechneten Werten werden in Excel eingetragen und in Diagrammen dargestellt. Weiters wird auch noch für alle Sonden der Prozentuelle Messfehler bezogen auf den errechneten Referenzwert dargestellt.



Abbildung 4.3.1: Messaufbau für magnetische Feldmessung im Spulenmittelpunkt. An gleicher Stelle in der Spule werden nacheinander die weiteren Feldsonden positioniert.

Ergebnisse der Messung und Einstellungen mit der Sonde EHP 50:

Die Sonde EHP 50 wird auf Styroporplatten gelegt und ihr Mittelpunkt in den Mittelpunkt der Spule gebracht. Auf der Sonde EHP 50 ist ein Achsenkreuz eingeprägt, bei diesem zeigt die z-Achse in Achsenrichtung der Spule \vec{e}_z und die x-Achse nach unten. Die Sonde EHP 50 ist mittels Lichtwellenleiter mit dem Messrechner verbunden, auf dem die Auswertung vorgenommen wird.

Im vom Hersteller gelieferten Ausleseprogramm (EHP_50.exe) werden folgende Einstellungen getroffen:

- Mode 100 μT bei allen Feldwerten unter 100 μT und Mode 10 mT bei den darüber liegenden Werten
- Max hold

Gemessen wird bei den Frequenzen 50 Hz und 1 kHz mit einem Dreiecksignal als Eingangsgröße.

Mittels der automatischen Peak-Auslesefunktion wird der Wert bei 50 Hz bzw. 1 kHz ermittelt und in Abbildung 4.3.2 eingetragen. Oberwellen werden nicht berücksichtigt.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.2: Sonde EHP 50 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichtewerte B_m bei den Frequenzen 50 Hz und 1 kHz im Vergleich zu den errechneten Werten B_r . Es wird ein Dreiecksignal in die Spule eingespeist.

In Abbildung 4.3.2 sieht man für ein 50 Hz Eingangssignal, dass bei Flussdichten von ca. $0,3 \mu\text{T}$ bis über $6 \mu\text{T}$ teilweise relativ große Abweichungen von 35 % zum berechneten Wert auftreten. Bei Flussdichtewerten unter $0,3 \mu\text{T}$ ist die Messabweichung sogar schon im Bereich von 50 % angesiedelt. Über $6 \mu\text{T}$ beziehungsweise bei $6 \mu\text{T}$, wo in unserer Messreihe der nächste Wert liegt, bis hinauf zu $190 \mu\text{T}$ passen die Messwerte sehr gut mit der Referenz überein. Die Messfehler liegen unter 1,5 %.

Bei einer Frequenz von 1 kHz gilt die gleiche Grenze von ca. $6 \mu\text{T}$. Darunter liegen die Fehler bei ca. 40 %, darüber sind sie kleiner als 1,5 %. Bei dieser Frequenz konnte nur mehr eine obere Feldstärke von $63 \mu\text{T}$ eingestellt werden. Die Impedanz der Spule ($\sim\omega L$) ist dann schon so groß, dass mit dem verwendeten Verstärker kein größerer Strom mehr in die Spule eingespeist werden konnte. Es kann jedoch angenommen werden, dass bei der Feldmessung von Bürogeräten im Normalfall bei 1 kHz keine so großen Felder auftreten.

Es wird also festgehalten, dass bei Dreiecksignalen mit einer Frequenz von 50 Hz bzw. 1 kHz ab ein paar μT sehr gute Messergebnisse zu erzielen sind und kleine Felder mit großer Ungenauigkeit gemessen werden.

Weiters wird die Sonde EHP 50 bei den Frequenzen 50 Hz und 1 kHz mit einem Rechtecksignal als Eingangsgröße der Spule untersucht.

Mittels der automatischen Peak - Auslesefunktion wird der Wert bei 50 Hz bzw. 1 kHz ermittelt und in Abbildung 4.3.3 eingetragen. Oberwellen werden nicht berücksichtigt.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.3: Sonde EHP 50 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichtewerte B_m bei 50 Hz und 1 kHz im Vergleich zu den errechneten Werten B_r . Es wird ein Rechtecksignal in die Spule eingespeist.

In Abbildung 4.3.3 ist gut zu erkennen, dass überraschenderweise die Messergebnisse bei 50 Hz Rechtecksignal bis hinunter zu $0,2 \mu\text{T}$ fast genau auf der berechneten Kurve liegen, die Messfehler sind im gesamten Bereich kleiner als 6 %. Beim 1 kHz Rechtecksignal ist wieder die Grenze von ca. $6 \mu\text{T}$ zu beobachten. Über dieser Grenze liegt der Fehler unter einem Prozent, unter der Grenze bei 30 % bis 40 %.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.4: Sonde EHP 50 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichtewerte B_m bei 50 Hz und 1 kHz im Vergleich zu den errechneten Werten B_r . Es wird ein Sinussignal in die Spule eingespeist.

Zuletzt wird die Sonde EHP 50 bei einer Speisung der Spule mit Sinussignalen von 50 Hz und 1 kHz untersucht.

Mittels der automatischen Peak- Auslesefunktion wird der Wert bei 50 Hz bzw. 1 kHz ermittelt und in das Diagramm eingetragen. Oberwellen werden nicht berücksichtigt.

In Abbildung 4.3.4 erkennt man, dass das Verhalten der Sonde EHP 50 bei Sinussignalen am besten mit den berechneten Werten übereinstimmt. Ab Flussdichtewerten von ca. $0,2 \mu\text{T}$ sind nur mehr sehr geringe Messabweichungen von unter 3 % festzustellen. Ein Ausreißer bei $3 \mu\text{T}$ und 50 Hz von 5,5 % wird auf die Messung mit Max Hold zurückgeführt und sollte nochmals kontrolliert werden. Dies war leider nicht mehr möglich, da die Sonde EHP 50 nur ein Leihgerät war und entschieden wurde, diese nicht anzuschaffen.

Bei einem kHz wird der Fehler sogar im ganzen vermessenen Bereich, von $0,063 \mu\text{T}$ bis $63 \mu\text{T}$, kleiner als 3 %.

Die Sonde EHP 50 liefert also im getesteten Bereich bei Sinussignalen gute Ergebnisse. Dass der Messfehler bei 50 Hz und Flussdichten unter $0,18 \mu\text{T}$ groß

wird, dies aber nicht bei 1 kHz der Fall ist, wird auf die Hintergrundfelder zurückgeführt. Diese liegen bei 50 Hz schon im Bereich der gemessenen Signale.

Ergebnisse der Messung und Einstellungen mit der Sonde ESM-100:

Die Sonde ESM-100 wird auf eine Styroporplatte gelegt und ihr Sondenkopf im Mittelpunkt der Spule positioniert. Das Handgerät wird mit dem Display nach oben entlang der Spulenachse ähnlich Abbildung 4.3.10 ausgerichtet. Die Messwerte werden direkt vom Display des Handgerätes abgelesen und in Abbildung 4.3.5 eingetragen. Gemessen wird bei den Frequenzen 50 Hz und 1 kHz mit einem Sinus als in die Spule eingespeistem Signal.

An der Sonde ESM-100 werden folgende Einstellungen vorgenommen:

- 50 Hz Filter bei einer eingespeisten Frequenz von 50 Hz und
- Einstellung „low“ (breitbandige Messung von 5 Hz bis 2 kHz) beziehungsweise Einstellung „high“ (breitbandige Messung von 5 Hz bis 400 kHz) bei einer eingespeisten Frequenz von 1 kHz.
- Max hold

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.5: Sonde ESM-100 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichtewerte B_m bei 50 Hz und 1 kHz im Vergleich zu den errechneten Werten B_r . Es wird ein Sinussignal in die Spule eingespeist.

In Abbildung 4.3.5 ist zu sehen, dass die Sonde ESM-100 bei beiden Frequenzen 50 Hz und 1 kHz, und in allen Frequenzmessbereichen gute Ergebnisse bei Flussdichten ab $0,6 \mu\text{T}$ liefert. Bei 50 Hz ist der Fehler immer kleiner als 2,5 % und bei 1 kHz immer kleiner als 0,6 %. Es gibt jedoch einen Ausreißer bei $0,63 \mu\text{T}$, 1 kHz und Einstellung „low“, wo die Messabweichung 6,6 % beträgt. Dieser Ausreißer wird wieder auf die Messung mit Max Hold zurückgeführt.

Die Sonde ESM-100 liefert sehr brauchbare Messergebnisse, kann jedoch nicht frequenzselektiv messen und wird daher für die Messungen an Bürogeräten nicht verwendet. Laut Hersteller soll es in naher Zukunft ein zusätzliches Modul geben, mit dem das Gerät frequenzselektive Daten auf den Rechner ausgibt. Wenn es so weit ist, sollte dies unbedingt untersucht werden, da mit dem kleinen Sondenkopf der

Sonde ESM-100 davon ausgegangen werden kann, dass näher am zu vermessenden Bürogerät gemessen werden kann. Weiters sollten sich inhomogene Felder weniger stark auf das Messergebnis auswirken, da über eine kleinere Sondenfläche gemittelt wird; auf dies wird auch noch in Abschnitt 7 eingegangen.

Ergebnisse der Messung und Einstellungen mit der Sonde EFA-3:

Die Sonde EFA-3 wird auf eine Styroporplatte gelegt und ihr Sondenkopf im Mittelpunkt der Spule positioniert. Das Handgerät wird mit dem Display nach oben entlang der Spulenachse ähnlich Abbildung 4.3.10 ausgerichtet. Die Messwerte werden direkt vom Display des Handgerätes abgelesen und in Abbildung 4.3.6 eingetragen. Gemessen wird bei den Frequenzen 50 Hz und 1 kHz mit einem Sinus als in die Spule eingespeistem Signal.

An der Sonde EFA-3 werden folgende Einstellungen vorgenommen:

- 50 Hz Filter bei 50 Hz eingespeistem Signal
- Breitbandiger Bereich von 5 Hz bis 30 kHz bei einem eingespeisten 1 kHz Signal
- RMS
- Auto Range
- Max Hold

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.6: Sonde EFA-3 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichtewerte B_m bei 50 Hz und 1 kHz im Vergleich zu den errechneten Werten B_r . Es wird ein Sinussignal in die Spule eingespeist.

In Abbildung 4.3.6 ist zu sehen, dass wieder Felder über $0,6 \mu\text{T}$ mit großer Genauigkeit gemessen werden. Hier liegt die Messabweichung im Vergleich zu den berechneten Werten unter 2,5 %. Auch dieses Messgerät ist nicht in der Lage, frequenzselektiv zu messen und scheidet daher für Messungen an Bürogeräten aus.

Ergebnisse der Messung und Einstellungen mit der Sonde EFA-300:

Die Sonde EFA-300 wird auf eine Styroporplatte gelegt und ihr Sondenkopf im Mittelpunkt der Spule positioniert. Das Handgerät wird mit dem Display nach oben entlang der Spulenachse ähnlich Abbildung 4.3.10 ausgerichtet. Die Messwerte werden direkt vom Display des Handgerätes abgelesen und in Abbildung 4.3.7 eingetragen. Gemessen wird bei den Frequenzen 50 Hz und 1 kHz mit einem sinusförmigen Speisesignal.

An der Sonde EFA-300 werden folgende Einstellungen vorgenommen:

- 50 Hz Bandpass bei 50 Hz eingespeistem Signal
- Breitbandiger Bereich von 5 Hz bis 32 kHz bei einem eingespeisten 1 kHz Signal
- RMS
- Auto Range
- Max Hold

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.7: EVA-300 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichtewerte B_m bei 50 Hz und 1 kHz im Vergleich zu den errechneten Werten B_r . Es wird ein Sinussignal in die Spule eingespeist.

In Abbildung 4.3.7 ist ebenfalls $0,6 \mu\text{T}$ die Grenze, über der der Messfehler kleiner als 0,7 % wird. Bei 50 Hz und $0,6 \mu\text{T}$ ist er allerdings 2,3 %. Dieses Messgerät führt eine Fast Fourier Transformation (FFT) aus und liefert auf Wunsch die Messdaten frequenzselektiv auf den Rechner, kann also prinzipiell für unsere Zwecke eingesetzt werden.

Ergebnisse der Messung und Einstellungen mit der Sonde ELT-400:

Bei der Sonde ELT-400 wird, wie in Abbildung 4.3.1 ersichtlich, die Sonde im Spulenmittelpunkt positioniert und mittels geschirmten Kabels an das Handgerät angeschlossen. Dieses wird mit dem ARC NF-Messsystem verbunden, welches wieder vom Messrechner ausgelesen wird. Am Rechner wird die Messung gestartet, die gewonnenen Dateien abgespeichert und im Programm „Messdatenverarbeitung“ zur Anzeige gebracht. Die Software „Messdatenverarbeitung“ ist ein Teil des ARC NF-Messsystems. Mit diesem Programm wird das gemessene Zeitsignal einer Fast Fourier Transformation (FFT) unterzogen und im Spektralbereich von 1 Hz bis 400 kHz dargestellt. Mittels Marker werden die Werte bei 50 Hz bzw. bei 1 kHz ausgelesen und in Abbildung 4.3.8 eingetragen.

Gemessen wird bei den Frequenzen 50 Hz und 1 kHz mit einem sinusförmigen Eingangssignal der Spule.

An der Sonde ELT-400 werden folgende Einstellungen vorgenommen:

Am Handgerät:

- RMS
- 1 Hz low cut
- Auto Range
- Max Hold

Am Rechner im Programm „Messdatenerfassung“:

- Abtastrate: 800000(1/s)
- Einzelmessdauer: 1000(ms)

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.8: Sonde ELT-400 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichtewerte B_m bei 50 Hz und 1 kHz im Vergleich zu den errechneten Werten B_r . Es wird ein Sinussignal in die Spule eingespeist.

In Abbildung 4.3.8 werden die Messergebnisse der Sonde ELT-400 mit Datenübermittlung an das NF-Messsystem und Auslesung am Rechner gezeigt. Die Fehler liegen bei Flussdichten über $0,6 \mu\text{T}$ und 50 Hz um die 7 %, bei 1 kHz um die 10 %. Die relativ konstante Abweichung von 10 % bei 1 kHz konnte mit neuen Kalibrationsdaten behoben werden, so dass jetzt der Messfehler 0,8 % beträgt und bei 50 Hz konnte ein Fehler kleiner als 1,6 % erreicht werden.

In der folgenden Abbildung 4.3.9 werden die Messabweichungen aller Feldsonden gegenübergestellt. Es wird die Prozentuelle Abweichung der Messergebnisse B_m bezogen auf den errechneten Wert B_r dargestellt. Dies erfolgt wieder für die Frequenzen 50 Hz und 1 kHz für ein in die Spule eingespeistes Sinussignal. In Abbildung 4.3.8 ist horizontal die errechnete magnetische Flussdichte B_r eingetragen und nicht wie in den vorigen Abbildungen der Spulenstrom.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.9: Gegenüberstellung der Messabweichungen der Feldsonden in Abhängigkeit der Flussdichte.

Es ist festzustellen, dass die Messabweichung im Bereich von $0,6 \mu\text{T}$ bis $0,06 \mu\text{T}$ stark ansteigt und jedenfalls bei $0,06 \mu\text{T}$ den Bereich von ca. 10 % klar übersteigt.

Im Bereich von $0,2 \mu\text{T}$ bis $0,3 \mu\text{T}$, ist der Fehler bei Messungen mit der Sonde EHP 50 noch kleiner als 10 %, dies könnte auch für die anderen Messgeräte gelten. Durch unsere Messungen kann jedoch nur festgestellt werden, dass alle Messgeräte ab dem Flussdichtewert von $0,6 \mu\text{T}$ im tolerablen Bereich von unter 10 % Messabweichung liegen. Es sind für sehr kleine Felder noch weitere Untersuchungen in einer rauscharmen Umgebung zu empfehlen.

4.3.3 Messung entlang der Spulenachse

Die Sonde wird in der Spulenachse positioniert und in verschiedenen Entfernungen zur Spule aufgestellt. Als Abstand wird die Strecke vom Spulenmittelpunkt bis zum Mittelpunkt der Feldsonde definiert. Die Messstrecke verläuft in Intervallen von zehn Zentimeter bis zu einem Meter. Alle Messungen werden bei angelegten 50 Hz Sinusspannung durchgeführt. Die gemessenen Werte werden wieder mit den berechneten verglichen.

Es interessiert uns, wie gut das in Abschnitt 4.2 berechnete magnetische Feld entlang der Achse einer Spule mit den Sonden gemessen werden kann. Dazu wird die Feldsonde mit ihrem Isotropiepunkt so gut als möglich auf der Spulenachse positioniert. Unter dem Isotropiepunkt der Sonde verstehen wir jenen Ort, an dem die Feldwerte der drei zueinander orthogonalen Messspulen addiert werden. Dieser Punkt liegt zumindest bei den hier verwendeten Sonden im räumlichen Mittelpunkt des Sondenkopfes. Es ist also für den Messtechniker nicht ganz einfach, die Sonde mit der Hand genau an der Spulenachse zu positionieren. Daher muss hier angemerkt werden, dass der absolute Positionierungsfehler sicherlich ca. einen Zentimeter betragen wird.

In Abbildung 4.3.10 ist der prinzipielle Messaufbau dargestellt. Die Feldsonde wird auf Styroporblöcke gelegt, bei größeren Entfernungen wird ein Stativ aus Holz verwendet. Hier ist wichtig, dass die Entfernung immer vom Mittelpunkt der Spule bis zum Mittelpunkt der Feldsonde gemessen wird. Der restliche Aufbau und die verwendeten Geräte sind identisch mit dem Aufbau aus Abbildung 4.3.1.

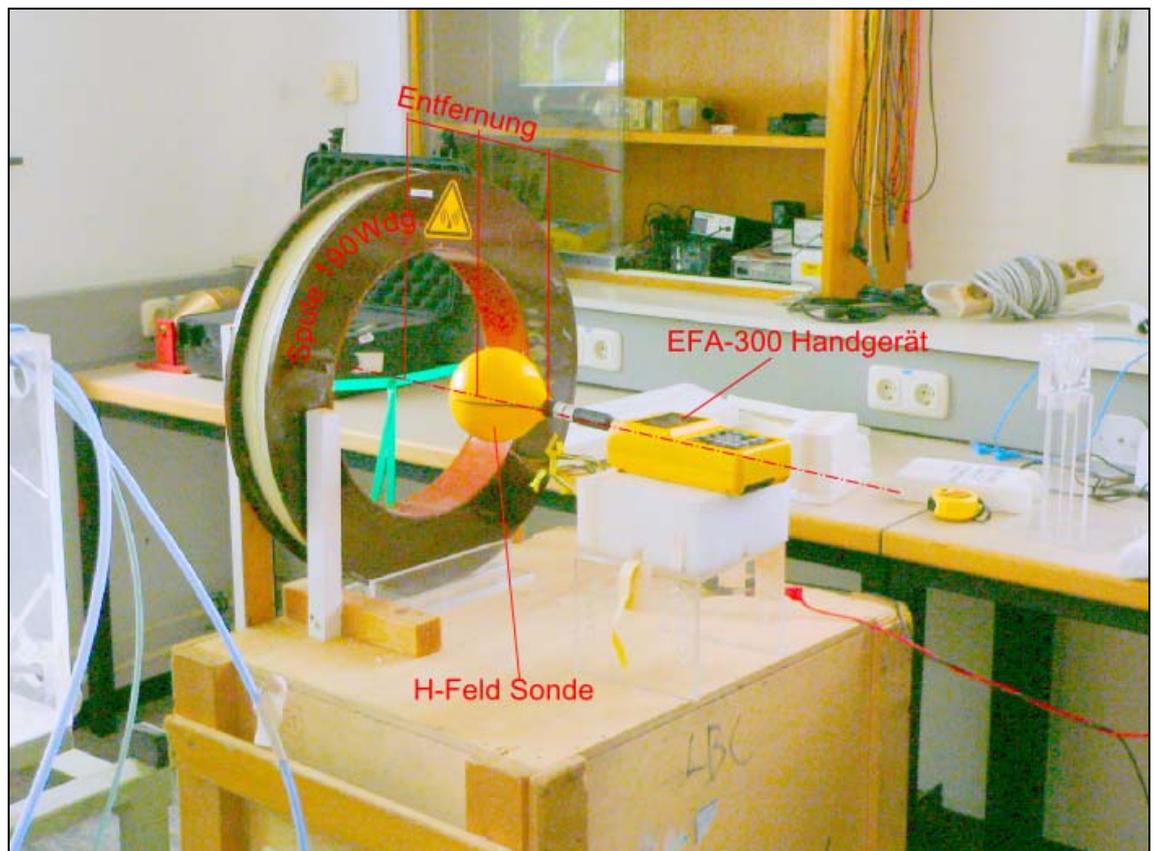


Abbildung 4.3.10: Große Spule mit der Sonde EFA-300 an Spulenachse

Die folgenden Diagramme zeigen wieder die Ergebnisse der Messungen mit verschiedenen Feldsonden, dieses mal allerdings nur bei 50 Hz. Horizontal wird die Entfernung der Sonde von der Spule in Metern aufgetragen, vertikal werden die errechnete und die gemessene Flussdichte in μT und weiters die Messabweichung bezogen auf den gerechneten Wert in Prozent angegeben. Die Einstellungen der Messgeräte sind äquivalent zu jenen aus Abschnitt 4.3.2. In die Spule wurde ein Sinusstrom mit 50 Hz und 300 mA eingespeist, so dass im Spulenmittelpunkt eine Flussdichte von $190 \mu\text{T}$ errechnet wird. Hier ist besondere Achtsamkeit gefordert, da

der Referenzwert der ICNIRP 98 für die Allgemeinbevölkerung bei $100 \mu\text{T}$ liegt und klar überschritten ist. In 15 Zentimetern Entfernung liegt man jedoch schon wieder unter dem Referenzwert und somit sollte der Messtechniker keiner zu großen Flussdichte ausgesetzt sein.

In Abbildung 4.3.11 sind die Ergebnisse für die Sonde EHP 50 in ihren zwei verschiedenen Messbereichen eingetragen.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.11: Sonde EHP 50 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichte (B_m) und der gerechneten magnetischen Flussdichte (B_r) entlang der Spulenachse, mit ihren Messabweichungen bezogen auf den gerechneten Wert.

In Abbildung 4.3.12 sind die Ergebnisse gemessen mit der Sonde ESM-100 dargestellt. Am Messgerät ist der 50 Hz Filter und die Max Hold Funktion eingestellt.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.12: Sonde ESM-100 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichte (B_m) und der gerechneten magnetischen Flussdichte (B_r) entlang der Spulenachse, mit ihren Messabweichungen bezogen auf den gerechneten Wert.

In Abbildung 4.3.13 ist die Auswertung für die Sonde EFA-3 zu sehen. Es wurde ein 50 Hz Filter eingestellt und mit RMS, Max Hold und Auto Range gemessen.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.13: Sonde EFA-3 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichte (B_m) und der gerechneten magnetischen Flussdichte (B_r) entlang der Spulenachse, mit ihren Messabweichungen bezogen auf den gerechneten Wert.

Die Entfernungsmessung für die Sonde EFA-300 ist in Abbildung 4.3.14 zu sehen. Die Einstellungen am Messgerät waren: Bandpass 50 Hz, RMS, Max Hold, Auto Range

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.14: Sonde EFA-300 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichte (B_m) und der gerechneten magnetischen Flussdichte (B_r) entlang der Spulenachse, mit ihren Messabweichungen bezogen auf den gerechneten Wert.

Die mit der Sonde ELT-400 erzielten Messergebnisse sind in Abbildung 4.3.15 dargestellt.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.15: Sonde ELT-400 Darstellung der gemessenen magnetischen Flussdichte (B_m) und der gerechneten magnetischen Flussdichte (B_r) entlang der Spulenachse, mit ihren Messabweichungen bezogen auf den gerechneten Wert.

In der Abbildung 4.3.16 sind die Messabweichungen der einzelnen Feldsonden gegenübergestellt. Es fällt auf, dass die Sonde EHP 50 weit schlechtere Ergebnisse liefert als nach den ersten Messungen im Spulenmittelpunkt zu erwarten gewesen wäre. Deshalb wurde diese Sonde noch weiteren Untersuchungen unterzogen, wie in Abschnitt 4.3.5 näher beschrieben ist.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.16 Darstellung der Messabweichung verschiedener Feldsonden, die an der Achse einer Spule verschoben wurden.

Die Sonde ELT-400 erreicht mit den Kalibrationsdaten (standen erst im Zuge der Untersuchungen zur Verfügung) einen deutlich kleineren Fehler, der nun nur mehr maximal 4,1 % beträgt. Wenig überraschend wird die Kurve der Messabweichung nur nach oben verschoben, ändert aber ihre Gestalt nicht. Dies liegt daran, dass in der Kalibrationsdatei Daten über den Korrekturfaktor bei verschiedenen Frequenzen gespeichert sind, nicht aber Korrekturfaktoren für die Linearität der Sonde. Unter Linearität versteht man das Verhalten der Feldsonde bei verschiedenen hohen Flussdichten. Die Messung wurde mit einem 50 Hz Sinussignal durchgeführt, so dass nur ein Korrekturfaktor für alle Messwerte zur Anwendung kommt. Die Kurve verschiebt sich also nur nach oben, ohne ihren Verlauf zu ändern.

Es kann festgestellt werden, dass der Messfehler größer ist als bei den Messungen im Spulenmittelpunkt. Dies kommt unter anderem daher, dass die Sonden nicht hundertprozentig genau zu positionieren sind. Sowohl die Entfernung zwischen

Sondenmittelpunkt und Spulenmittelpunkt, als auch die genaue Positionierung auf die Spulenachse unterliegen Abweichungen. Speziell bei nahen Abständen können so stark abweichende Flussdichten in Bezug auf die errechneten Flussdichten gemessen werden. Das magnetische Feld der Spule nimmt mit $1/r^3$ ab, daher führt ein Positionierungsfehler von $\pm 1\text{mm}$ in einer Entfernung von 10cm bezogen auf die Spulenachse schon zu einer Abweichung des magnetischen Feldes von $3,1\%$. Die Sonden haben einen Durchmesser von ~ 11 Zentimeter. Daher liegt – bezogen auf ihren Mittelpunkt – ein Teil der Messfläche näher bei der Spule und der andere Teil weiter entfernt. Die Feldabnahme durch die Fläche der Messspule ist nicht linear und daher liefert auch die Mittelung der Flussdichte über diese Fläche nicht den Feldwert in ihrem Mittelpunkt, dieser wird ja als Messpunkt angenommen. Man kann auch sagen, der fiktive Messpunkt der Sonde verschiebt sich zu näheren Abständen hin. Der Vorteil der großen Fläche der Messspulen ist, dass sich durch die Mittelung auch Positionierungsfehler weniger stark auswirken.

Abgesehen vom der Sonde EHP 50 und der Sonde EFA-3 liegen die relativen Messabweichungen der Feldsonden deutlich im $\pm 5\%$ Bereich und sind damit gut geeignet, um sie für Messungen an Bürogeräten einsetzen zu können. Die Sonde ESM-100, die als einzige Feldsonde einen kleineren Durchmesser ihres Sondenkopfes hat, nämlich $5,5\text{ cm}$, liefert auch in inhomogenen Feldern bessere Messergebnisse als die übrigen Sonden mit Durchmessern von $\sim 11\text{ cm}$.

4.3.4 Messung an Spulenachse im Teleworkingraum

Es wurden zusätzlich noch Messungen mit der kleinen Spule bei sonst unverändertem Messaufbau wie unter 4.3.3 beschrieben durchgeführt. Die verwendeten Geräte sind in Abschnitt 4.3.1 zu finden. Da die Räumlichkeiten mit geringen Hintergrundfeldern nicht ständig zur Verfügung standen, sind zur Verifikation der oberen Ergebnisse noch Messungen in einem Büroraum gemacht worden. In diesem Raum wurden alle Verbraucher wie Klimaanlage und Licht abgedreht und alle nicht zur Messung benötigten Elektrogeräte entfernt. Die Ergebnisse der Messung für die Sonde EHP 50 und die ESM-100 sind in Abbildung 4.3.17 eingetragen. Als Signal wurde wieder ein Sinusstrom in die Spule eingepreßt. Die Feldstärken werden wieder über den gemessenen Spulenstrom nach Abschnitt 4.2 berechnet.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.17: Messung der magnetischen Feldstärke an der Achse der kleinen Spule. Hier ist der Fehler zwischen berechneter und gemessener Feldstärke, an verschiedenen Orten auf der Achse, dargestellt.

Hier ist zu sehen, dass wieder die Sonde ESM-100 gute Werte liefert, wohingegen die Sonde EHP 50 große Messabweichungen zeigt. Bei einem Abstand von 0,7 Metern wird der Fehler größer. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Hintergrundfelder bereits in der gleichen Größenordnung liegen wie die zu messenden. Die bei 0,7 Metern berechnete Flussdichte beträgt 679 nT und bei 0,8 Metern 465 nT. Bei ausgeschaltetem Spulenstrom, aber eingeschaltetem Frequenzgenerator, Verstärker und Multimeter wurden unmittelbar vor der Messung Hintergrundfelder von 314 nT festgestellt. Messwerte in Abständen größer 0,9 Meter sind dann schon so klein wie die Hintergrundfelder und haben keine Aussagekraft mehr.

4.3.5 Isotropiemessung

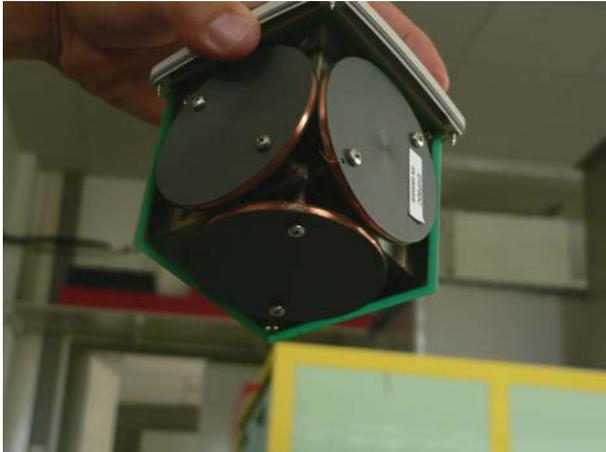
Um das Verhalten der Sonde EHP 50 in inhomogenen Feldern näher zu untersuchen, wurde dieser wieder mit gleichem Messaufbau wie in Abschnitt 4.3.2 im Spulenmittelpunkt positioniert, dieses Mal aber in verschiedenen Ausrichtungen. Es wurde jeweils eine Achse des Würfels nach den Feldlinien des von der großen Spule erzeugten Feldes ausgerichtet. Es wurden alle drei Richtungen bei drei verschiedenen, sinusförmigen Feldstärken untersucht.

Abbildung 4.3.18 zeigt das Ergebnis dieses Versuches. Es ist klar zu erkennen, dass die einzelnen Achsen sehr unterschiedliche Flussdichten messen. Für die Feldmessungen ist also von Bedeutung, wie der Würfel orientiert ist. In diesem Beispiel ergeben die drei orthogonal angeordneten Messspulen nicht die gleichen Feldwerte.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.18: Messfehler der einzelnen Achsen der Sonde EHP 50 im Vergleich zur berechneten Flussdichte

Um die Sonde EHP 50 noch besser zu verstehen, wurde deren Aufbau noch näher untersucht (Abbildung 4.3.19).



Dieses Feldmessgerät besteht aus 3 Spulen, die jeweils an Seitenflächen des Würfels angeordnet sind, anders als zum Beispiel bei der Sonde ELT-400, wo die Spulen konzentrisch um den Spulenmittelpunkt angeordnet sind. Der Nachteil bei der Anordnung der Spulen der Sonde EHP 50 ist, dass bei Messungen nahe am

zukünftig zu vermessenden Bürogerät der Abstand der Sonde zum Testobjekt nicht einwandfrei festgestellt werden kann. Die Sonde EHP 50 besitzt eine Kantenlänge von ca. 9 Zentimetern. Wenn man also den Mittelpunkt des Würfels als Distanz zum Bürogerät angibt, ist man mit einer Spule entweder um 4,5 Zentimeter zu nahe am Geräte oder auch zu weit entfernt. Da aber im Projekt EMES die Messung der Feldabnahme mit zunehmender Entfernung zum Bürogerät ein ausschlaggebender Faktor ist und diese hier nicht eindeutig bestimmt werden kann, scheidet damit die Sonde EHP 50 für weitere Messungen aus.

Für die Messung der niederfrequenten Felder ist schlussendlich die Sonde ELT-400 ausgewählt worden. Hier wurde noch eine Isotropiemessung nach einer Methode der EMV-Experten im ARC-Seibersdorf gemacht. Dazu ist die Feldsonde in einem Winkel von 45° in der Mitte der großen Spule positioniert worden, anschließend wurde sie in 45° Schritten gedreht und die Messabweichungen in Abbildung 4.3.19 eingetragen. Gemessen wurde bei $63 \mu\text{T}$ und wieder mit einem Sinussignal mit 50 Hz.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.19: Isotropiemessung der Sonde ELT-400 bei $63 \mu\text{T}$.

Bei der Sonde ELT-400 in Kombination mit dem ARC NF-Messsystem wird der Wert der Ersatzflussdichte über die drei Achsen berechnet. In Abbildung 4.3.19 ist zu erkennen, dass dessen Messabweichung bis zu 1,6 Prozent betragen kann. Die Sonde zeigt ein gutes Isotropieverhalten. Auch die Ergebnisse der anderen Untersuchungen zeigen, dass dieses Messsystem für den Einsatz zum Messen der magnetischen Felder von Bürogeräten geeignet ist. Aus diesem Grund wird die Feldsonde ELT-400 ausgewählt. Mit ihr werden die magnetischen Felder im Frequenzbereich von 1 Hz bis 200 kHz gemessen.

4.3.6 Messung im Plattenkondensator

Bei den folgenden Messungen untersuchen wir die Eigenschaften der elektrischen Feldsonden. Dazu werden diese in der Mitte eines Plattenkondensators aufgestellt. Es ist wichtig, die Sonde auch wirklich mittig zwischen die zwei Platten des Kondensators zu bringen. Zwischen den Platten herrscht zwar prinzipiell ein homogenes Feld und es wäre anzunehmen, dass es keinen Einfluss hat, ob die Sonde näher bei einer Platte ist oder nicht. Nun darf aber nicht vergessen werden, dass die elektrische Feldsonde selbst die Feldhomogenität im Kondensator stört. Dies macht sich bei Annäherung mit der Sonde an eine Platte stark bemerkbar. Dazu wurden auch Versuche durchgeführt, die bestätigten, dass die besten Ergebnisse genau in der Mitte zwischen den Platten erzielt werden. Auf die Darstellung dieser Messdaten wird hier verzichtet.

Die gemessenen elektrischen Feldstärken vergleichen wir mit den gerechneten Werten nach Formel 4.11. Des Weiteren sind diese Ergebnisse in Diagrammen dargestellt und kommentiert.

In Abbildung 4.3.20 ist der Messaufbau für die weiteren Messungen abgebildet. Der Ort der Messung ist im ARC in Seibersdorf im Raum DA 1-4. Die Feldsonde wird auf Styroporblöcke gelegt und so mit ihrem Mittelpunkt in einen Abstand von 25 Zentimetern zu beiden Platten gebracht. Um eine Potentialtrennung zwischen den Platten des Kondensators und dem Versorgungsnetz zu erreichen, wird ein Transformator verwendet. Der Ringtransformator ist mit einem Handrad zur Spannungseinstellung versehen.

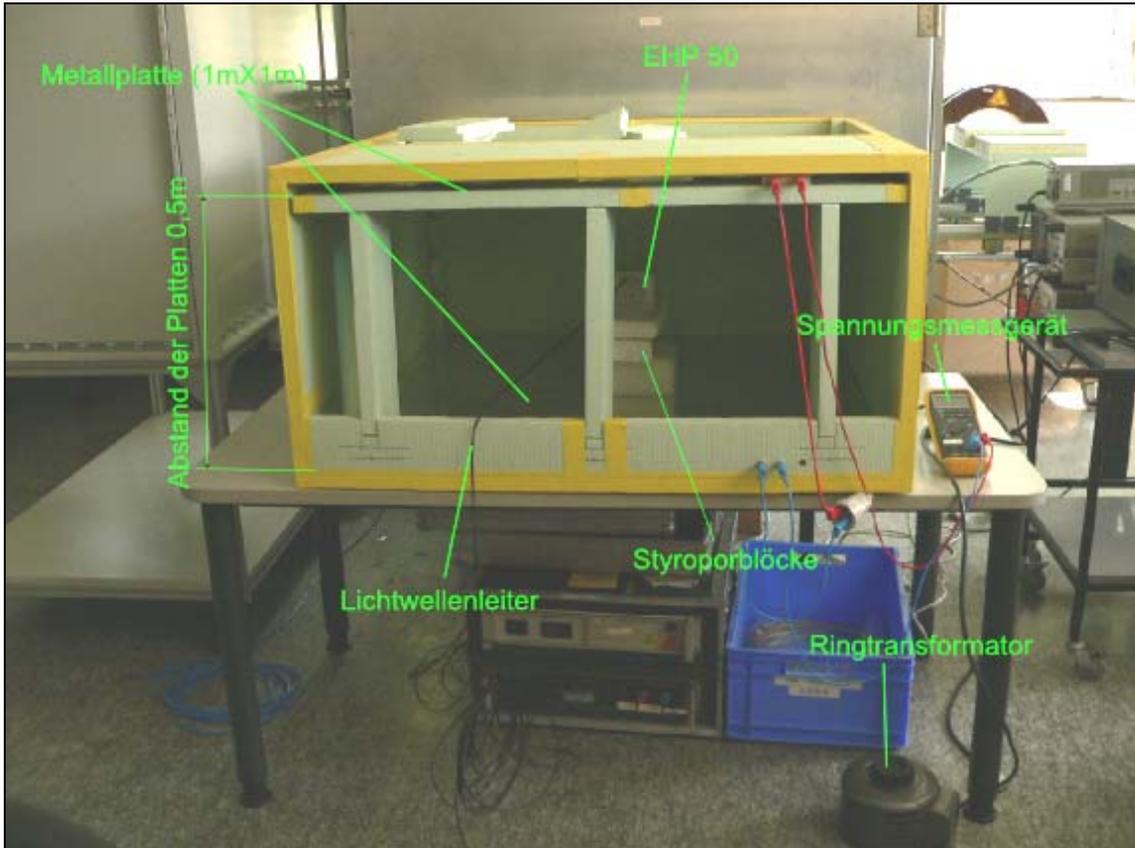


Abbildung 4.3.20: Messaufbau für die Messung des elektrischen Feldes im Kondensatormittelpunkt.

Dieses Handrad wird benutzt, um die gewünschte elektrische Feldstärke im Kondensator einzustellen. Zur genauen Anzeige der anliegenden Spannung wird ein Spannungsmessgerät verwendet. Alle Messungen finden bei 50 Hz Sinusspannung statt. Der Lichtwellenleiter dient zur Übertragung der Messdaten an ein Handgerät oder den Rechner und hat keinen Einfluss auf das elektrische Feld.

Bei der Messung werden nun die angezeigten Feldstärkewerte auf den Handgeräten abgelesen. Bei den Messsystemen, mit denen nur eine frequenzselektive Analyse mittels Rechner möglich ist, wird der RMS - Wert bei der jeweiligen zu messenden Frequenz abgelesen. Oberwellen werden nicht untersucht.

Die Messwerte der Sonde im Vergleich zu den berechneten Werten werden in Excel eingetragen und in Diagrammen dargestellt. Weiters wird auch noch für alle Sonden der Prozentuelle Messfehler bezogen auf den errechneten Referenzwert dargestellt.

Ergebnisse der Messung und Einstellungen mit der Sonde EHP 50:

Die Sonde EHP 50 wird auf Styroporblöcke gelegt und ihr Mittelpunkt mit dem räumlichen Mittelpunkt des Plattenkondensators in Übereinstimmung gebracht. Auf der Sonde EHP 50 ist ein Achsenkreuz eingeprägt; bei den Messungen zeigt die jeweils angegebene Achse in Abbildung 4.3.20 von oben nach unten parallel zu den Feldlinien. Die Messpunkte (E_m, z) wurden also so aufgenommen, dass die z-Achse der Sonde EHP 50 nach unten zeigte. Für die anderen Messwerte wurde der Würfel immer entsprechend gedreht. Die Sonde EHP 50 ist mittels Lichtwelleneiter mit dem Messrechner verbunden, auf dem die Auswertung vorgenommen wird.

Im vom Hersteller gelieferten Ausleseprogramm (EHP_50.exe) werden folgende Einstellungen getroffen:

- Ein Sweep von 200 Hz
- Mode 1 kV/m
- current

Gemessen wird bei 50 Hz Sinusspannung. Mittels der automatischen Peak-Auslesefunktion wird der Wert für jede Achse bei 50 Hz ermittelt und in Abbildung 4.3.21 eingetragen. Oberwellen werden nicht berücksichtigt.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.21: Sonde EHP 50 Darstellung der gemessenen elektrischen Feldstärke an jeder Achse (E_m) im Vergleich zur errechneten Feldstärke (E_r).

Die oberste Linie (E_m, z Stativ) in Abbildung 4.3.21 zeigt einen Versuch, bei dem die Feldsonde auf ein kleines Stativ geschraubt wurde und neun Zentimeter über der unteren Kondensatorplatte positioniert ist. Damit soll illustriert werden, wie stark der Einfluss der elektrischen Feldsonde auf das homogene Feld im Kondensator ist, und welcher Messfehler dadurch zustande kommen können. Bei den Messungen der drei Achsen ist die elektrische Feldsonde wieder genau in 25 Zentimetern Abstand zu beiden Platten des Kondensators gebracht und liegt auf Styroporblöcken. Die x-

Achse der Sonde EHP 50 misst fast genau den Feldstärkewert, den auch die Berechnung ergab. In Abbildung 4.3.22 ist die Messabweichung in Prozent vom Referenzwert (berechneter Wert) angegeben. Hier ist der Fehler bei 200 V/m noch 0,5 Prozent und steigt bei 100 V/m auf 11 Prozent. Die y-Achse misst im Bereich von 540 V/m bis ca. 200 V/m eine zu kleine Feldstärke. Der Fehler beträgt bei 540 V/m -12,6 Prozent und wird mit sinkender elektrischer Feldstärke kleiner schneidet zwischen 200 V/m und 100 V/m den Fehler! **Keine gültige Verknüpfung.**

Abbildung 4.3.22: Darstellung der Messabweichung der Sonde EHP 50 bezogen auf den errechneten Wert.

Nullpunkt und dreht bei 100 V/m auf +16 Prozent. Bei der z-Achse ist nur ein positiver Fehler feststellbar. Bei 540 V/m beträgt er 17,4 Prozent und steigt annähernd linear bis 200 V/m wo 28 Prozent erreicht werden. Dann steigt der Fehler stärker an und erreicht bei 100 V/m 45 Prozent. Zusammenfassend ist auch die Isotropie bei der Messung des elektrischen Feldes mit der Sonde EHP 50 nicht zufriedenstellend und diese scheidet somit aus.

Ergebnisse der Messung und Einstellungen mit der Sonde EFA-3:

Die Feldsonde EFA-3 wird auf Styroporblöcke gelegt und ihr Mittelpunkt mit dem räumlichen Mittelpunkt des Plattenkondensators in Übereinstimmung gebracht. Auf der Sonde EFA-3 ist ein Achsenkreuz eingeprägt. Bei den Messungen zeigt die jeweils angegebene Achse in Abbildung 4.3.23 von oben nach unten parallel zu den Feldlinien. Die Messpunkte (E_m,z) wurden also so aufgenommen, dass die z-Achse der Sonde EFA-3 nach unten zeigte. Für die anderen Messwerte wurde der Würfel immer entsprechend gedreht. Die Sonde EFA-3 ist mittels Lichtwelleneiter mit dem Handgerät verbunden, auf dem die gemessenen elektrischen Feldstärkewerte abgelesen werden.

Am Handgerät zu der Sonde EFA-3 werden folgende Einstellungen vorgenommen:

- 50 Hz Filter
- RMS
- Max Hold
- Auto Range

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.23: Sonde EFA-3 Darstellung der gemessenen elektrischen Feldstärke an jeder Achse (Em) im Vergleich zur errechneten Feldstärke (Er).

Alle drei Achsen in Abbildung 4.3.23 messen eine leicht höhere elektrische Feldstärke als die Berechnung ergibt.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.24: Darstellung der Messabweichung der Sonde EFA-3 bezogen auf den errechneten Wert.

Die relative Messabweichung der drei Achsen ist bei den Linearitätsmessungen, ziemlich konstant. Wie aus Abbildung 4.3.24 abzulesen ist, ist der Messfehler längs der x-Achse zwischen 2,1 Prozent und 2,8 Prozent. Der Messfehler längs der y-Achse ist am größten und bewegt sich zwischen 5,8 Prozent und 6,8 Prozent. Bei der z-Achse lässt sich wieder ein etwas kleinerer Fehler feststellen, der zwischen 4 Prozent und 4,6 Prozent liegt. Zusammenfassend sind die Ergebnisse mit der Sonde EFA-3 zufriedenstellend, auch der Isotropiefehler ist nicht besonders groß. Der große Nachteil ist jedoch, dass diese Feldsonde keine frequenzselektiven Messungen zulässt und scheidet damit aus.

Ergebnisse der Messung und Einstellungen mit der Sonde EFA-300:

Die Feldsonde EFA-300 wird auf Styroporblöcke gelegt und ihr Mittelpunkt mit dem räumlichen Mittelpunkt des Plattenkondensators in Übereinstimmung gebracht. Auf der Sonde EFA-300 ist ein Achsenkreuz eingeprägt, bei den Messungen zeigt die jeweils angegebene Achse in Abbildung 4.3.25 von oben nach unten parallel zu den

Feldlinien. Die Messpunkte (E_m, z) wurden also so aufgenommen, dass die z-Achse der Sonde EFA-300 nach unten zeigte. Für die anderen Messwerte wurde der Würfel immer entsprechend gedreht. Die Sonde EFA-300 ist mittels Lichtwelleneiter mit dem Rechner verbunden. Auf dem Rechner kann mit der Software des Herstellers die Sonde ausgelesen werden. Die ausgelesenen Daten werden im Spektralbereich dargestellt und können dort abgelesen werden. Hier wurde nur der RMS - Wert bei 50 Hz abgelesen.

In der Software zu der Sonde EFA-300 werden folgende Einstellungen vorgenommen:

- Filter 5 Hz bis 2 kHz
- ACT RMS
- isotropic
- Auto Range

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.25: Sonde EFA-300 Darstellung der gemessenen elektrischen Feldstärke an jeder Achse (E_m) im Vergleich zur errechneten Feldstärke (E_r).

In Abbildung 4.3.25 zeigt die Sonde EFA-300 ein ähnliches Verhalten wie die Sonde EFA-3. Die Messwerte längs aller drei Achsen sind zu groß und die absolute Abweichung der Feldstärke nimmt mit steigender Spannung linear zu. Hier sind jedoch die Fehler größer als bei der Sonde EFA-3.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.26: Darstellung der Messabweichung der Sonde EFA-300 bezogen auf den errechneten Wert.

Die relative Messabweichung längs der drei Achsen ist bei den Linearitätsmessungen ziemlich konstant. Wie aus Abbildung 4.3.26 abzulesen, ist der Messfehler längs der x-Achse zwischen 8,6 Prozent und 9,1 Prozent. Der Messfehler längs der y-Achse bewegt sich zwischen 8 Prozent und 9,1 Prozent. Bei der z-Achse ist der Fehler am größten und lässt sich zwischen 14,1 Prozent und 14,9 Prozent eingrenzen.

Zusammenfassend sind die Ergebnisse mit der Sonde EFA-300 weniger zufriedenstellend als mit der Sonde EFA-3, auch der Isotropiefehler ist größer. Jedoch im Vergleich mit der Sonde EHP 50 wurden mit der Sonde EFA-300 bessere Ergebnisse erzielt. Da eine frequenzselektive Messung für die Bewertung der elektrischen Felder nach der ÖNORM E 8850 notwendig ist, wird diese Sonde für die Messungen der elektrischen Feldstärke an Bürogeräten verwendet. Mit ihr wird der Frequenzbereich 5 Hz bis 32 kHz gemessen.

Ergebnisse der Messung und Einstellungen mit der Sonde ESM-100:

Die Sonde ESM-100 wird auf einen Styroporblock gelegt und in der Mitte des Plattenkondensators positioniert. Das Display des Handteils wird so eingerichtet, dass es nach vorne zeigt und so von außerhalb des Kondensators abgelesen werden kann.

An der Sonde ESM-100 werden folgende Einstellungen vorgenommen:

- 50 Hz Filter

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.27: Sonde ESM-100, Darstellung der gemessenen elektrischen Feldstärke längs jeder Achse (E_m) im Vergleich zur errechneten Feldstärke (E_r).

Gemäß Abbildung 4.3.27 zeigt die Sonde ESM-100 eine zunehmende Abweichung der gemessenen elektrischen Feldstärke von der berechneten. Bei 50 V liegt das Messergebnis bei 97,4 V/m und damit um 2,6 V/m unter den errechneten Feldstärkewerten von 100 V/m. Bei 265 V sind es 19 V/m.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 4.3.28: Darstellung der Messabweichung der Sonde ESM-100 bezogen auf den errechneten Wert.

Abbildung 4.3.28 zeigt die Messabweichung der Sonde ESM-100 in Prozent vom errechneten Wert. Diese liegt zwischen -2,5 und -4,7 Prozent. und ist daher, wie schon bei den Messungen der magnetischen Flussdichte, sehr klein. Da die Sonde aber zurzeit noch nicht frequenzselektiv messen kann, scheidet sie wieder aus. Für zukünftige Messungen mit dem vom Hersteller angekündigten frequenzselektiven Zusatzmodul ist jedoch zu prüfen, ob die Sonde ESM-100 verwendet werden kann.

5 Untersuchung der Messumgebung

5.1 Hintergrundfelder

Um die Absorberhalle vor Witterungseinflüssen zu schützen, ist sie in einer großen Halle untergebracht. Dort benötigt man Beleuchtung, Steckdosen, eine Klimaanlage und es gibt Elektroinstallationen wie Leitungen und Niederspannungsverteilerkästen. Die magnetischen Felder, die von all diesen elektrischen Einrichtungen und Geräten ausgehen können, verändern sich über die Zeit. Je nach Gebrauch der Geräte sind demnach magnetische Felder vorhanden oder aber auch nicht. Der Energieverbrauch im Forschungszentrum verändert sich über den Tag. Es fließen teilweise große Ströme und teilweise kleinere. Die vom Strom in den Leitungen hervorgerufenen Magnetfelder verändern sich in gleicher Weise. Der Einfluss all dieser Faktoren lässt sich nicht errechnen. Deshalb wurde eine Messung der magnetischen Felder über 24 Stunden durchgeführt.

Die Niederfrequenz Magnetfeldsonde EFA-3 wird auf ein Stativ in die Mitte der Absorberhalle gestellt und die magnetische Flussdichte über 24 Stunden aufgezeichnet. In der Absorberhalle werden das Licht und die Lüftung abgeschaltet und die Türe geschlossen. Es wird breitbandig im Bereich von 30 Hertz bis 30 Kilohertz gemessen. Eingestellt wird RMS - Detection, Auto Range und ein Messintervall von 20 Sekunden, in dem jeweils ein neuer Flussdichtewert aufgezeichnet wird. Die Messung startet am 9.7.2008 um 14 Uhr 30 Minuten und endet am 10.7.2008 um 14 Uhr 30 Minuten. Die aufgezeichneten Daten werden am Rechner ausgewertet. Das Ergebnis dieser Messung zeigt, dass die Hintergrundfelder immer unter 60 nT liegen.

5.2 Messung an der Spulenachse

Es sollte festgestellt werden, ob die Messumgebung, im speziellen Fall die Absorberhalle, einen großen Einfluss auf die Messung niederfrequenter magnetischer Felder hat. Die Messumgebung ist die Absorberhalle, deren Wände aus Stahlblech bestehen, an deren Innenseite Absorber angebracht sind. Die Absorber haben die Eigenschaft, elektromagnetische Felder von mehreren hundert Megahertz, die auf die Absorber einfallen, stark zu dämpfen und somit deren Reflexion an den Blechwänden zu verhindern. Für niederfrequente Felder sind die Absorber allerdings

im Prinzip durchlässig und haben somit keinen Einfluss. Wenn nun ein magnetisches Feld mit einer Frequenz von 50 Hertz in der Absorberhalle erzeugt wird, stellt die Halle für dieses Feld einfach nur einen Quader aus Stahlblech dar. Die Wellenlänge bei 50 Hertz ist 6000 Kilometer. Man kann also für die Größe der Halle nicht mit Welleneigenschaften der magnetischen Felder rechnen, da diese sehr viel kleiner als die Wellenlänge ist. Vielmehr befinden wir uns im quasistationären elektromagnetischen Feld. Es ist nicht damit zu rechnen, dass an den Blechwänden Reflexionen auftreten. Die metallische Struktur wird die magnetischen Felder verzerren, beziehungsweise werden Ströme induziert, die Felder hervorrufen, die dem erzeugenden Feld entgegen wirken. Um zu untersuchen, wie stark dieser Einfluss auf magnetische Felder ist, die von Bürogeräten erzeugt werden, wird eine Spule mit 25 Zentimetern Durchmesser und einer Windungszahl von 25 Windungen in der Absorberhalle vermessen.

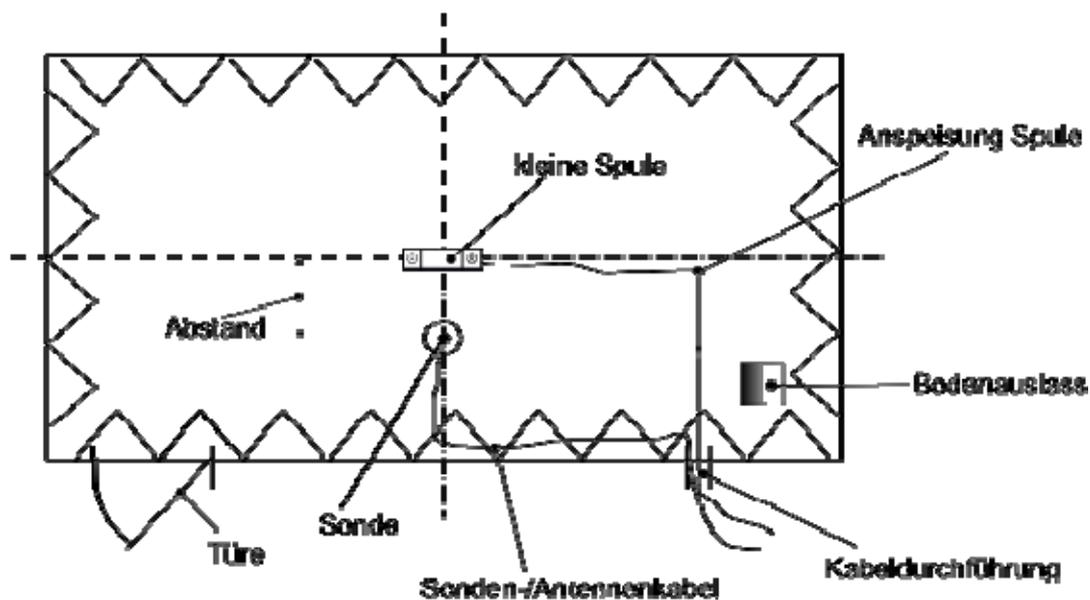


Abbildung 5.2.1: Messaufbau für die Messung der magnetischen Flussdichte entlang der Spulenachse. Gemessen wird mit der Sonde ELT-400.

Diese Spule wurde gewählt, da ihre Größenordnung ähnlich der von Bürogeräten ist. Die stärksten magnetischen Felder erzeugt eine Spule entlang ihrer Achse. Um nun auf dem Messplatz, der in der Mitte der Halle ist, den größten Einfluss der Halle auf

das magnetische Feld der Spule zu erreichen, wird die Spule mit ihrer Achse quer in die Absorberhalle gestellt (Abbildung 5.2.1). So ist der Abstand der Blechwand zur Spule entlang ihrer Achse am kleinsten und damit der Einfluss der Blechwand auf das magnetische Feld am größten. Dieser Einfluss wird mit zunehmender Nähe zur Blechwand größer und direkt an der Blechwand so groß, dass keine vernünftige Messung mehr möglich wäre. Da hier zum Einen das ungestörte magnetische Feld durch die Blechwand stark verzerrt ist und zweitens die Feldsonde noch einen zusätzlichen Messfehler aufgrund von Verkopplungen mit der Streustruktur (Blechwand) aufweist. Der Abstand des Messplatzes zur Wand ist zwei Meter, gemessen wird bis zu einem Abstand von einem Meter, um den Einfluss der Blechwände gering zu halten. Die Spule wird wie in Abschnitt 4.3.2 mit einem Sinusstrom gespeist. Die Flussdichte entlang der Spulenachse wird nach Abschnitt 4.2.1 berechnet. Das Ergebnis der Messungen entlang der Spulenachse, verglichen mit den berechneten Werten, wird in Abbildung 5.2.2 dargestellt. Gemessen wird bei einem Speisesignal der Spule mit den Frequenzen 50 Hertz und 1000 Hertz. Diese Frequenzen werden gewählt, da die öffentlichen Energieversorgungsnetze mit einer Frequenz von 50 Hertz arbeiten. Es wird erwartet, dass Bürogeräte, die am Versorgungsnetz betrieben werden, elektromagnetische Felder mit 50 Hertz und deren Oberwellen bei 100 Hertz, 150 Hertz usw. erzeugen. Der Einfluss der Absorberhalle auf das magnetische Feld der Spule bei 50 Hertz und 1000 Hertz gibt den Rahmen an, in dem sich der Einfluss auch bei den dazwischen liegenden Frequenzkomponenten des elektromagnetischen Feldes bewegt. Wir befinden uns in quasielektrostatischen Feldern, d.h. die Wellenlänge der Felder ist viel größer als die Abmessungen der Halle, daher können Reflexionen und Resonanzen ausgeschlossen werden. Es gibt lediglich einen Einfluss der induzierten Wirbelströme über das Induktionsgesetz, die ihrerseits wieder auf das erzeugende Feld in der Halle zurückwirken. Es bleiben zwei Einflussgrößen auf die Rückwirkung der Halle übrig, einerseits die Größe der Flussdichte und andererseits die der Frequenz. Da der Spulenstrom konstant gehalten wird und somit auch die magnetische Flussdichte über der Zeit konstant ist, bleibt nur noch die Frequenz übrig, die über das Induktionsgesetz wirkt. Der Einfluss der Absorberhalle für die übrigen Frequenzen zwischen 50 Hertz und 1000 Hertz muss somit zwischen dem

Einfluss dieser beiden Frequenzen liegen. Die Flussdichte in der Spule wird auf ca. $80 \mu\text{T}$ in einer Entfernung von 10 Zentimetern entlang der Spulenachse eingestellt. Da so große Flussdichtewerte bei Bürogeräten nicht zu erwarten sind, ist somit sichergestellt, dass der Einfluss der Halle auf die Messungen kleiner ist als über den Versuch festgestellt wurde.

Gemessen wird mit der Sonde ELT-400, hier werden die Flussdichtewerte direkt vom Handgerät abgelesen. Folgende Einstellungen werden am Handgerät getroffen:

- RMS DETECTION
- $320 \mu\text{T}$ HIGH bei Flussdichtewerten über $80 \mu\text{T}$ und $320 \mu\text{T}$ LOW bei Werten unter $80 \mu\text{T}$
- 30 Hz LOW CUT
- Kein Max Hold

Die Sonde ELT-400 wird auf einem Stativ befestigt. Der Durchmesser der Sondenkugel wird gemessen und an der Mittellinie eine Markierung angebracht. Von dieser Markierung bis zum Mittelpunkt der Spule wird der Abstand gemessen. Auf diese Weise kann der Fehler, der durch Positionierungsungenauigkeiten zustande kommt, minimiert werden. Die Bodenabsorber in der Halle sind auf die Seite gestellt, da sie bei niedrigen Frequenzen keinen Einfluss auf die elektromagnetischen Felder haben und auf diese Art ein einfacherer Zugang zu den Messobjekten möglich ist.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 5.2.2: Dargestellt ist die gemessene (B_m) und die gerechnete (B_r) magnetische Flussdichte entlang der Spulenachse. Die Spule steht quer in der Absorberhalle.

In Abbildung 5.2.2 sind die gemessenen Flussdichtewerte entlang der Spulenachse in einem Abstand von 10 Zentimetern bis zu einem Meter eingetragen. In dieser Darstellung ist kaum ein Unterschied zwischen berechneter und gemessener Flussdichte auszumachen. Lediglich für Flussdichten unter $0,7 \mu\text{T}$ ist zu erkennen, dass der gemessene Wert geringer ist als der berechnete. In einem Abstand von 10 Zentimetern errechnet sich eine Flussdichte von $83,7 \mu\text{T}$. Gemessen wurden bei 50 Hz $80,7 \mu\text{T}$ das bedeutet eine Abweichung von minus 3,6 Prozent. Bei einem Meter sind der errechnete Wert $0,336 \mu\text{T}$ und der gemessene $0,316 \mu\text{T}$. Dies ergibt einen Fehler von minus 5,8 Prozent. Bei einem eingespeisten Signal von

einem Kilohertz werden bei den gleichen Abständen $84,9 \mu\text{T}$ und $0,319 \mu\text{T}$ gemessen. Dies ergibt für die gleichen errechneten Werte wie vorher eine Messabweichung von plus 1,4 Prozent und minus 4,9 Prozent.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 5.2.3: Dargestellt ist die Messabweichung bezogen auf den errechneten Wert entlang der Spulenachse. Die Spule steht quer in der Absorberhalle. Die Fehlergrenzen berücksichtigen den maximal durch das Hintergrundfeld hervorgerufenen Fehler.

In Abbildung 5.2.3 sind die Messabweichungen bezogen auf die über den Spulenstrom errechneten Flussdichtewerte dargestellt. Die maximalen Fehler liegen bei 50 Hertz bei 5,9 Prozent und bei einem Kilohertz bei 4,9 Prozent. Die Hintergrundfelder können bis zu 60 nT betragen. Dieses Hintergrundfeld kann sich zu dem Feld der Spule sowohl positiv als auch negativ addieren. Das gemessene Feld kann damit im schlimmsten Fall um 60 nT größer bzw. kleiner als das von der Spule verursachte sein. Dieser Tatsache wird in Abbildung 5.2.3 durch die sich trichterförmig öffnenden Fehlergrenzen Rechnung getragen. Bei kleinen Entfernungen zur Spule ist das erzeugte magnetische Feld noch vergleichsweise groß (ca. $84 \mu\text{T}$) und damit der maximal mögliche zusätzlich Fehler durch das Hintergrundfeld (60 nT) sehr klein. In einem Meter Entfernung ist die erzeugte magnetische Flussdichte nur mehr ca. 336 nT und damit der mögliche Einfluss der Hintergrundfelder schon beträchtlich. Verglichen mit den Messungen in einem Büroraum und in einem Messlabor, zu sehen in Abbildung 4.3.15, Abbildung 4.3.16 und Abbildung 4.3.17, sind die Messabweichungen in der Absorberhalle geringer. Der Einfluss der Halle, der Hintergrundfelder, der nicht perfekten Spule, Kalibrierfehler und Positionierungsfehler kann aus diesem Versuch bis zu einem Abstand von einem Meter zum Messplatz mit kleiner als 25 Prozent angegeben werden. Hier ist aber vor allem der Einfluss der Hintergrundfelder bedeutend, da in einem Meter Entfernung die Flussdichte schon so klein ist, dass die Addition bzw. Subtraktion des Hintergrundfeldes den größten Teil der Abweichung ausmacht. Da für die Bewertung der Wirkung elektromagnetischer Felder auf den menschlichen Körper so genannte „Worst Case“-Abschätzungen gemacht werden, werden diese

25 Prozent auch für kleine Abstände und damit große Flussdichten genommen, bei denen der Fehler in obigem Diagramm geringer wäre.

5.3 Abschirmung der Absorberhalle bei Netzfrequenz

Wie auch schon in anderen Kapiteln erwähnt, ist die Absorberhalle ein von Stahlblech umgebener Raum, an dessen Innenseite die Absorber angebracht sind. Bei Netzfrequenz sind die Absorber nicht wirksam und werden daher nicht mehr berücksichtigt. Die Absorberhalle stellt nur mehr einen Kasten aus Blech dar. Hier interessiert, wie stark elektromagnetische Felder außerhalb der Halle im Inneren wirken, beziehungsweise wie stark sie gedämpft werden.

Das elektrische Feld wird von den leitfähigen Wänden vollkommen abgeschirmt. Bringt man einen leitfähigen Käfig in ein elektrisches Feld, werden an dessen Oberfläche Ladungen induziert. Das bedeutet, dass aufgrund des elektrischen Feldes die Ladungen in dem leitfähigen Käfig auf verschiedene Seiten wandern. Die positiven Ladungen auf die eine Seite und die negativen Ladungen auf die andere Seite. Dies geschieht so lange, bis das elektrische Feld im Inneren des Käfigs Null wird und somit keine weiteren Ladungen mehr zum Wandern motiviert werden. Die Ladungen gleichen sich so lange aus, bis das elektrische Feld, das von ihnen erzeugt wird, gleich groß und in entgegengesetzter Richtung orientiert ist wie das erzeugende äußere Feld. Als Ergebnis der Überlagerung dieser beiden elektrischen Felder ergibt sich in der Summe Null, das heißt das Volumen in dem Käfig ist feldfrei. Dieses Funktionsprinzip ist als Faraday'scher Käfig bekannt. (Wolfsperger, 2008)

Bei niederfrequenten magnetischen Feldern verhält es sich etwas komplizierter, daher wird die Dämpfung durch die Blechwand der Absorberhalle messtechnisch bestimmt. Die große Spule aus Abschnitt 4.3.2 wird 34 Zentimeter vor der Absorberhalle aufgestellt und es wird wieder entlang ihrer Achse die magnetische Flussdichte gemessen. Die Feldsonde befindet sich aber innerhalb der Halle. Diese Werte werden mit den berechneten Flussdichtewerten ohne die Blechwand dazwischen verglichen.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 5.3.1: Dargestellt sind die berechneten magnetischen Flussdichtewerte (B_r) ohne die dämpfende Blechwand der Absorberhalle bei zwei verschiedenen Flussdichten. Darunter sind die durch die Wand der Absorberhalle gedämpften, gemessenen Flussdichtewerte zu sehen.

In Abbildung 5.3.1 ist die errechnete magnetische Flussdichte bei den Frequenzen 50 Hertz und 100 Hertz dargestellt., Da mit dem verwendeten Frequenzgenerator plus Verstärker bei 100 Hertz nicht mehr der gleiche hohe Strom in die Spule gespeist werden konnte, ergeben sich daraus unterschiedliche Größen der Felder. Darunter sind die Ergebnisse der Messung in der Halle zu sehen. Der eingetragene Abstand wird wieder vom Spulenmittelpunkt bis zum Mittelpunkt der Sonde gemessen. Hier ist klar eine Dämpfung zu sehen. In einem Abstand von einem Meter wäre die magnetische Flussdichte ohne Wand bei 50 Hertz $7,3 \mu\text{T}$, gemessen werden aber nur $1,9 \mu\text{T}$. Bei 100 Hertz ist die Dämpfung noch etwas höher. Hier werden $3,86 \mu\text{T}$ errechnet und mit Dämpfung nur $0,57 \mu\text{T}$ gemessen.

Die Dämpfung, die durch die Wand der Absorberhalle auftritt, wird aus den Messergebnissen nach Formel 5.1 errechnet.

Formel 5.1:

$$a = 20 * \log_{10}\left(\frac{B_r}{B_m}\right) \quad \text{a...Dämpfung in dB}$$

Wenn obige Werte der magnetischen Flussdichte in Formel 5.1 eingesetzt werden, erhalten wir folgendes Ergebnis:

$$a = 20 * \log_{10}\left(\frac{7,3}{1,9}\right) = 11,69\text{dB} \quad \text{bei 50 Hz}$$

und

$$a = 20 * \log_{10}\left(\frac{3,86}{0,57}\right) = 16,61\text{dB} \quad \text{bei 100 Hz}$$

Gemessen wurde an mehreren Punkten entlang der Spulenachse und die jeweils zur Messung gehörende Dämpfung a ausgerechnet und in Abbildung 5.3.2 eingetragen.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 5.3.2: Dargestellt ist die Dämpfung a durch die Wand der Absorberhalle in Dezibel, die an mehreren Punkten entlang der Spulenachse ermittelt wurde. Die Dämpfung bei 100 Hertz ist größer als bei 50 Hertz.

In diesem Diagramm erkennt man, dass die Dämpfung bei 50 Hz bei rund zwölf Dezibel liegt. In zunehmender Entfernung nimmt zwar die aus den Messungen errechnete Dämpfung etwas zu, zum Beispiel bei 1,6 Meter auf 13,2 Dezibel. Berücksichtigt man aber, dass die gemessene Flussdichte nur mehr 430 nT beträgt und Hintergrundfelder bis 60 nT bestehen, so können diese in einer „Worst Case“-Abschätzung zum Ergebnis addiert werden. Man kommt mit 490 nT auf eine Dämpfung von 12,03 Dezibel. Auch die anderen Dämpfungen liegen mit eingerechneten Messfehlern im Bereich der 12 Dezibel. Somit wird dem Ergebnis mit einer noch höheren magnetischen Flussdichte von $1,9 \mu\text{T}$ bei einem Meter Abstand größeres Vertrauen entgegengebracht und die Dämpfung magnetischer Felder bei 50 Hz mit 12 Dezibel angegeben.

Gleichartige Überlegungen führen bei einer Frequenz von 100 Hertz auf eine Dämpfung von ca. 17 Dezibel. Um noch ein Gefühl dafür zu bekommen, wie viel 12 bzw. 17 Dezibel Dämpfung für die magnetische Flussdichte bedeuten, sei hier noch ein Vergleich angestellt. Wenn die magnetische Flussdichte außerhalb der Halle 100 Prozent beträgt ist sie gleich hinter der Wand auf 25 Prozent bei 12 Dezibel Dämpfung und auf 14,1 Prozent bei 17 Dezibel Dämpfung abgesunken.

5.4 Verhalten der Absorber

In vorigen Kapiteln wurde behauptet, dass die Absorber bei niedrigen Frequenzen keine Wirkung mehr auf die elektromagnetischen Felder haben und für diese „unsichtbar“ sind. Aus diesem Sachverhalt begründet sich auch, dass bei Messungen im Bereich niedriger Frequenzen die Bodenabsorber auf die Seite gestellt werden können, um so das Hantieren mit den Messgeräten und den Stativen zu erleichtern. In diesem Kapitel soll das nun begründet werden. Abbildung 5.4.1 ist aus dem Katalog des Herstellers entnommen. Für die in unserer Absorberhalle eingesetzten Absorber ist die oberste dunkelblaue Kurve von Relevanz.

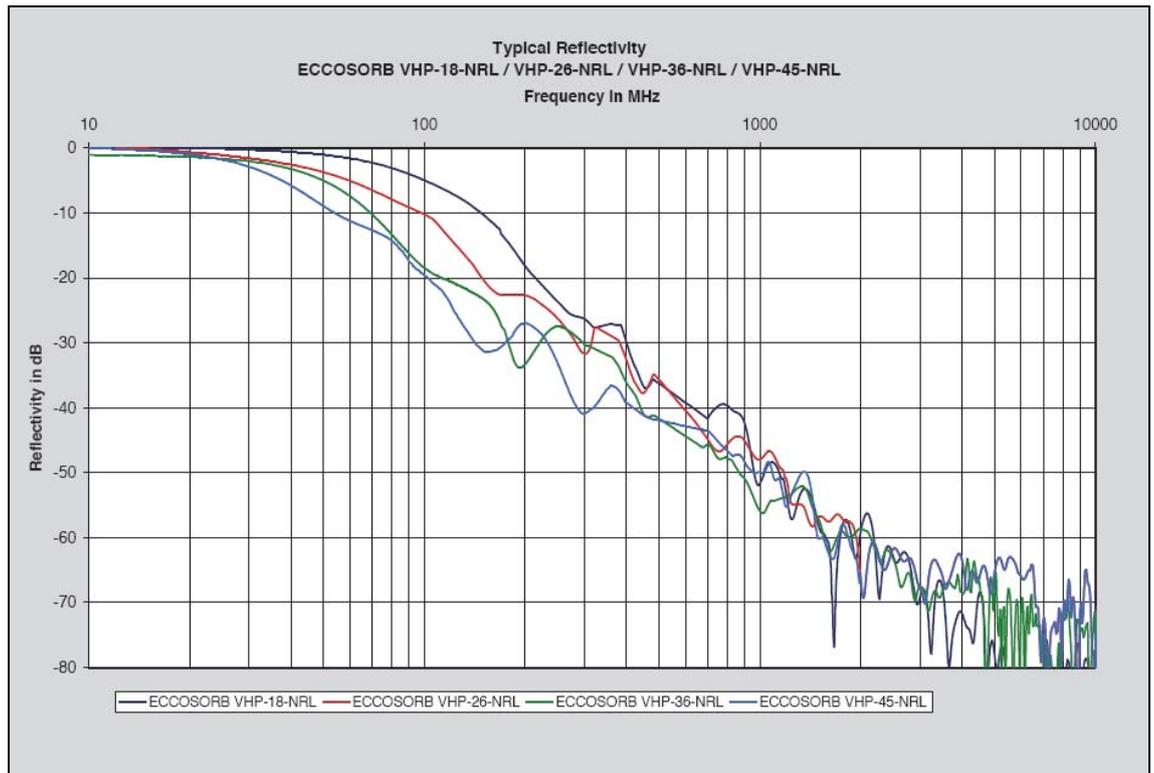


Abbildung 5.4.1: Dämpfungsverhalten der in der Absorberhalle verwendeten Absorber (VHP-18-NRL). (EMERSON & CUMING Microwave Products N.V., 2007)

Hier sieht man, dass die Absorber erst bei 40 Megahertz beginnen eine Wirkung zu zeigen. Bei 200 Megahertz ist eine Dämpfung von 20 Dezibel überschritten und erst bei über 400 Megahertz erreicht man eine Dämpfung von mehr als 30 Dezibel. Es ist damit einsichtig, dass bei Messungen mit der Sonde ELT-400, mit der bis 200 Kilohertz gemessen wird, keine Bodenabsorber von Nöten sind.

6 Messmethodik

Die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern wird im Rahmen dieser Arbeit nach der Vornorm ÖVE/ÖNORM EN 8850 bewertet. In dieser Norm werden die einzelnen Spektralkomponenten der Felder mit einem frequenzabhängigen Referenzwert bewertet und aufsummiert. Aus diesem Grund müssen die Felder frequenzselektiv gemessen werden. In dieser Arbeit wird die magnetische Flussdichte von einem Hertz bis zu 250 Megahertz und die elektrische Feldstärke von 5 Hertz bis zu 3 Gigahertz gemessen. Um diesen Frequenzbereich abdecken zu können, werden mehrere elektrische und magnetische Feldsonden bzw. Antennen benötigt. Welche Sonden eingesetzt werden und wie die Messung auszuführen ist, ist im Anhang E (Messprotokoll) beschrieben.

Jedes Bürogerät wird in eine Absorberhalle gestellt und dort einzeln vermessen. Der Messaufbau ist in Abbildung 5.4.1 gezeigt. Das Messobjekt steht auf einem Tisch bestehend aus Pressspanplatten, da sich Pressspanplatten als günstig in Bezug auf ihre geringe Beeinflussung der elektromagnetischen Felder erwiesen haben. Durch die Positionierung des Messobjektes in der Mitte der Halle, ist der größtmögliche

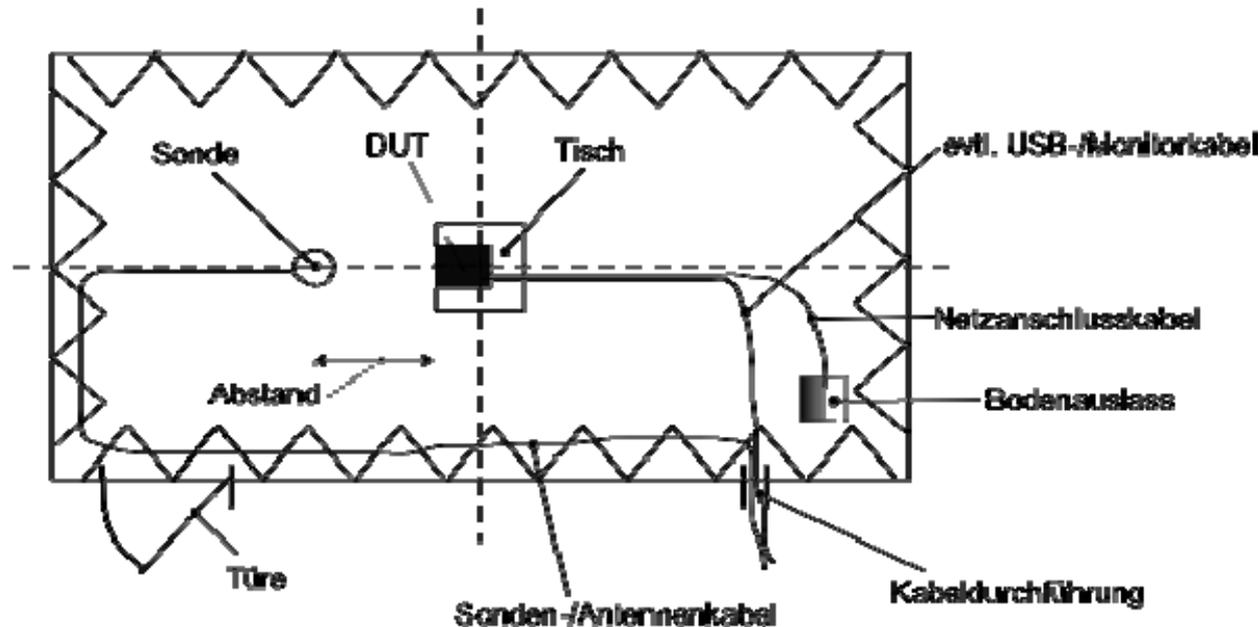


Abbildung 5.4.1: Absorberhalle mit Messobjekt auf dem Tisch und Kabelkonfiguration.

Abstand zu allen Blechwänden der Halle vorhanden und damit die Feldbeeinflussung am kleinsten. Kabel werden so verlegt, dass sie am kürzesten Weg aus dem Feldgebiet des Messobjektes laufen, um ihren Einfluss auf die Feldkonfiguration möglichst klein zu halten.

Jedes Bürogerät hat verschiedene Betriebszustände. Diese sind bei Druckern zum Beispiel der Zustand „Standby“, „Drucken“ und „Warmlaufphase“. Es wird untersucht, welcher dieser Zustände der sogenannte „Worst-Case“ – Betriebszustand ist. Unter „Worst-Case“ – Betriebszustand verstehen wir in dieser Arbeit jenen, bei welchem das elektromagnetische Feld, das vom Messobjekt ausgeht, die größte Wirkung auf den menschlichen Körper hat. Dazu werden die frequenzabhängigen Referenzwerte aus der ÖNORM EN 8850 herangezogen und nach den Summenformeln der Norm der Expositions-koeffizient berechnet. Die meisten Feldsonden können in ihrem Messbereich direkt den Expositions-koeffizienten bestimmen und zur Anzeige bringen. Diesen Betriebsmodus der Feldsonden nutzen wir, um den „Worst-Case“ – Betriebszustand der Messobjekte zu bestimmen. Es wird das Messobjekt in seine unterschiedlichen Zustände gebracht und mit der Feldsonde die Oberfläche abgefahren. So bestimmt man den gewünschten „Worst-Case“ – Betriebszustand, in dem das Messobjekt für die weiteren Messungen betrieben wird.

Nun sucht man am Messobjekt in gleicher Weise wie schon zuvor durch Abfahren der Oberfläche den Punkt, an dem der größte Expositions-koeffizient angezeigt wird. Er wird in dieser Arbeit als „Hot – Spot“ bezeichnet. Von diesem Punkt weg wird dann der Feldabnahmeverlauf zu größeren Abständen hin frequenzselektiv gemessen. Frequenzselektiv deshalb, weil für jedes Bürogerät einzeln die Feldwerte bei der jeweiligen Frequenz in eine Datenbank eingetragen werden. Der Feldabnahmeverlauf deshalb, weil elektromagnetische Felder je nach Konfiguration unterschiedlich schnell abnehmen und so für jede Frequenzkomponente eine Feldabnahmefunktion bestimmt wird. Mit diesen Daten kann dann die reale Situation in einem beliebig konfigurierbaren Büroraum berechnet werden. Über einen Wert der Feldstärke bzw. Flussdichte in einem definierten Abstand, die Feldabnahmefunktion und den Abstand des Gerätes zum Arbeitsplatz berechnet sich die Feldstärke bzw. Flussdichte an

einem beliebigen Ort. Alle diese Beiträge können dann am Arbeitsplatz aufsummiert werden und so der gesamte Expositionscoeffizient bestimmt werden.

Ich möchte hier noch erwähnen, dass alle Messungen ohne Berücksichtigung der Phasenlage der Feldvektoren durchgeführt werden. Es wird die sogenannte Ersatzfeldstärke ermittelt, die in Kapitel 4.1.1 näher beschrieben ist.

7 Messung an Bürogeräten

7.1 Kaltgerätekabel

Bei allen Untersuchungen des niederfrequenten elektrischen Feldes von Bürogeräten ist bei 50 Hertz aufgefallen, dass die Feldstärke ihren größten Wert genau beim Anschluss des Netzkabels hat. Bei allen Messobjekten wird dort die gleiche elektrische Feldstärke gemessen. Die Vermutung liegt nahe, dass diese elektrische Feldstärke nicht im Gerät selbst entsteht, sondern vom Anschlusskabel ausgeht. Im folgenden Teil wird so ein Kabel untersucht.

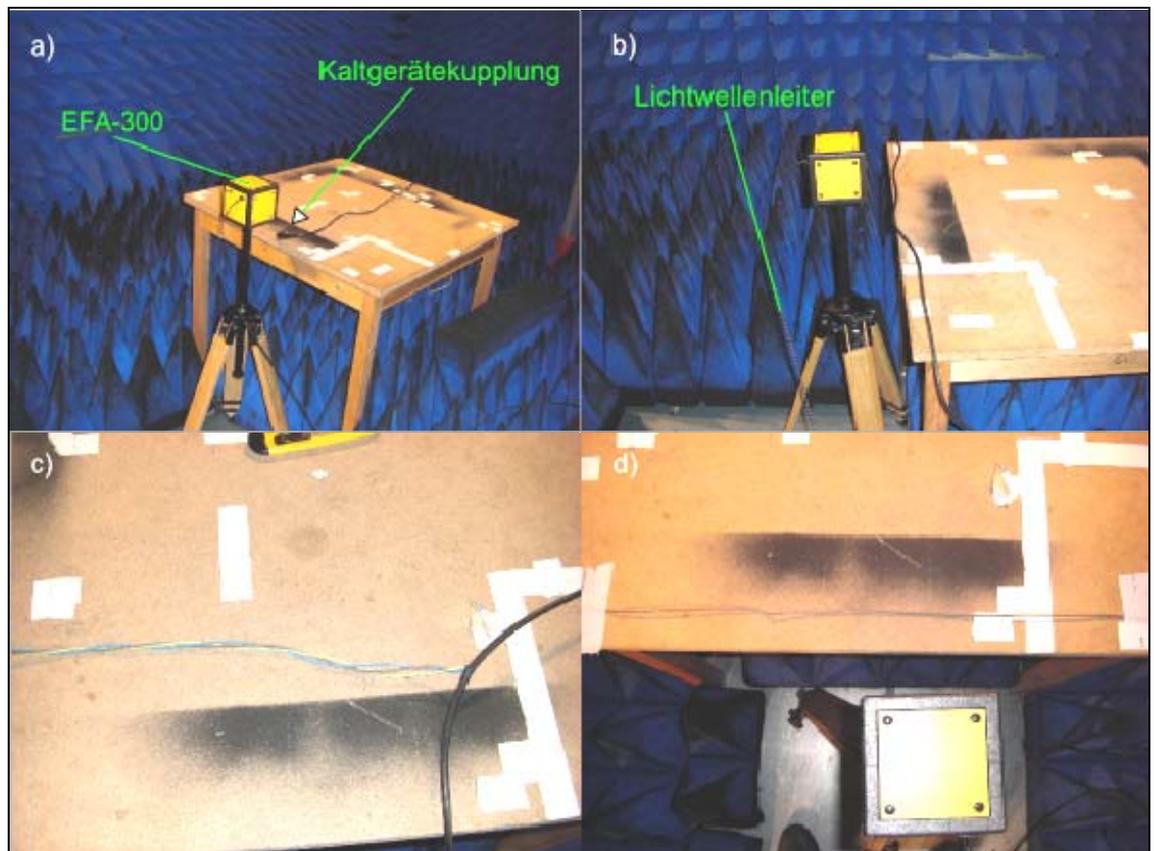


Abbildung 7.1.1: a) Messung am Stecker des Kaltgerätekabels b) Messung des Kaltgerätekabels c) Die einzelnen Leiter (Phase, Nullleiter, Schutzleiter) sind miteinander verdreht in einem Kunststoff Mantel d) Phase und Nullleiter liegen nebeneinander.

In einem Kaltgerätekabel sind die drei Adern (Phase, Nullleiter, Schutzleiter) miteinander verdreht und von einem Kunststoffmantel umgeben. An den Enden des

Kabeln sitzen ein Schukostecker und eine Kaltgerätekupplung. Als Kaltgerätekupplung bezeichnet man den Stecker am Kabel, der in das Gerät eingesteckt wird, der andere Stecker für die Steckdose wird als Schukostecker bezeichnet. Ein aufgeschnittenes Kabel ist in Abbildung 7.1.1 c) zu sehen.

Dieses Kabel wird in verschiedenen Konfigurationen untersucht. In Abbildung 7.1.1 a) liegt die Kaltgerätekupplung auf dem Tisch und das Kabel wird über den Tisch nach hinten von der Feldsonde weg geführt. In einer zweiten Konfiguration (Abbildung 7.1.1 b)) wird das Kabel quer über den Tisch vor die Feldsonde gelegt. In Abbildung 7.1.1 d) sind zwei Adern (Phase, Nullleiter) des aufgeschnittenen Kabels nebeneinander quer über den Tisch gespannt und werden alleine gemessen. Der Abstand der Feldsonde EFA-300 zum Kabel beträgt 20 Zentimeter. Gemessen wird von fünf Hertz bis 32 Kilohertz, bei am Versorgungsnetz angestecktem Schukostecker. Die Seite mit der Kaltgerätekupplung bleibt offen.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.1.2: Gemessene elektrische Feldstärke im 20cm Entfernung zur Kaltgerätekupplung bzw. zum Kabel.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.1.3: Gemessene elektrische Feldstärke in 20cm Entfernung zu einzelnen Adern des aufgeschnittenen Kabels.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.1.4: Gemessene elektrische Feldstärke in 20cm Entfernung zum Nullleiter bzw. in 15cm Entfernung zur Phase wenn der Nullleiter noch mal 11cm weiter entfernt verlegt wird.

Da über 50 Hertz keine relevanten Beiträge mehr gemessen werden, ist in den obigen Abbildung 7.1.2 bis Abbildung 7.1.4 nicht der gesamte Frequenzbereich bis 32 Kilohertz dargestellt. Wie in Abbildung 7.1.4 ersichtlich gibt es kleine Beiträge der Oberwellen bei 250, 350, 450 Hertz, die aber bei Kabel und Stecker unter 0,3 V/m bleiben. Beim aufgeschnittenen Kabel, und zwar wenn die Phase alleine quer über den Tisch liegt, sind die größten Beiträge der Oberwellen wieder bei

gleichen Frequenzen unter 1,4 V/m. Verläuft das Kabel gerade nach hinten und es wird vorne an der Kaltgerätekupplung gemessen, ergeben sich 58 V/m. Bei quer über den Tisch gelegtem Kabel, dies ist die „Worst Case“ – Konfiguration, werden 70 V/m in 20 Zentimetern Entfernung gemessen. Das Kaltgerätekabel wurde von seinem Mantel befreit und die Adern des Kabels einzeln gemessen. Wenn die Phase alleine quer über den Tisch liegt, ergibt sich der größte gemessene Wert: die elektrische Feldstärke beträgt 188 V/m (Abbildung 7.1.3). Am Nullleiter werden 1,3 V/m gemessen (Abbildung 7.1.4). Kombiniert man Phase und Nullleiter und legt sie nebeneinander quer über den Tisch, werden 110 V/m gemessen (Abbildung 7.1.3). Legt man auch noch den Schutzleiter dazu, ergibt sich eine elektrische Feldstärke von 97 V/m. Legt man die Phase vorne an die Tischkante und den Nullleiter 11 Zentimeter dahinter quer über den Tisch, so misst man 69 V/m. Hier sei bemerkt, dass der Nullleiter netzseitig geerdet wird, er zieht also das Erdpotential mit sich und beeinflusst daher das elektrische Feld, das von der Phase mit ihren 230 Volt Netzspannung ausgeht, stark. Dadurch, dass Adern, die mit Erdpotential verbunden sind, im Kabel mitgeführt werden, verringert sich also die elektrische Feldstärke in der Umgebung des Kabels und sie könnte wahrscheinlich mit einem Schirm rund um das Kabel völlig abgeschirmt werden.

7.2 TFT – Bildschirm

TFT steht für Thin Film Transistor

7.2.1 Funktionsweise

Bei TFT's spricht man von sogenannten Aktivmatrix-TFT's. Damit ist gemeint, dass die einzelnen Bildpunkte aktiv angesteuert werden. Auf einer Scheibe werden viele Bildpunkte angeordnet, jeder dieser Punkte kann in einer beliebigen Farbe leuchten. Hinter der Scheibe ist die Hintergrundbeleuchtung angebracht, die in der Regel aus mehreren Kaltkathoden Fluoreszenzlampen (Cold Cathode Fluorescent Lamp CCFL) besteht. Zwischen zwei Scheiben sind Flüssigkristalle, die ihre Ausrichtung verändern können und abhängig davon Licht der Hintergrundbeleuchtung durchlassen oder blockieren. Wie viel Licht durchgelassen wird und welche Farben entstehen, wird durch zwei Polarisationsfilter, die drei Farbfilter und die zwei Ausrichtungsschichten bestimmt. An die Ausrichtungsschichten wird eine elektrische

Spannung angelegt, das sich dadurch aufbauende elektrische Feld richtet die Flüssigkristalle aus. Für jedes Pixel gibt es diesen Aufbau dreimal, jeweils für eine der Farben Rot, Grün und Blau. In Abbildung 7.2.1 wird dieser Aufbau graphisch dargestellt und die Funktionsweise eines TFT's beschrieben.

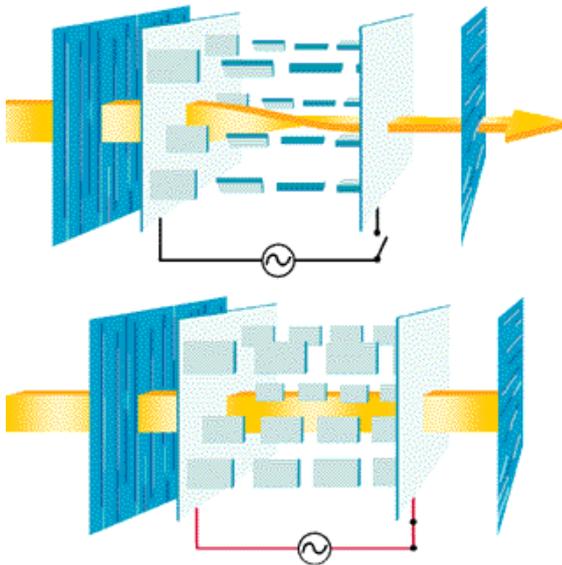


Abbildung 7.2.1: Funktionsweise eines Standard - TFTs (twisted nematic)

In beiden Bildern ist links und rechts eine Polarisationschicht dargestellt. Im linken Bild trifft das Licht von der Hintergrundbeleuchtung auf den ersten Polarisationsfilter und wird dabei vertikal polarisiert. An den Flüssigkristallen liegt keine Spannung und die Molekülketten sind um 90° gedreht. Dadurch wird auch das Licht beim Passieren der Flüssigkristalle um 90° gedreht und kann den zweiten horizontalen Polarisationsfilter passieren. Im rechten Bild trifft der Lichtstrahl wieder auf den vertikalen Polarisationsfilter und das Licht wird vertikal polarisiert. An den Flüssigkristallen liegt eine Spannung und durch die Einwirkung des elektrischen Feldes sind diese gerade ausgerichtet. Das Licht wird nicht gedreht und kann dadurch den zweiten horizontalen Polarisationsfilter nicht passieren. Der Bildschirm bleibt dunkel. Über die angelegte Spannung kann die Drehung des Lichtstrahls und damit die Helligkeit des Bildpunktes geregelt werden.

Ein Bildpunkt setzt sich aus drei Farbzellen zusammen. Es gibt Farbfilter für Rot, Grün und Blau, die nebeneinander auf das Glassubstrat aufgebracht sind. Für eine

Auflösung des Displays von 1280*1024 Bildpunkten benötigt man also 3840*1024 Transistoren.

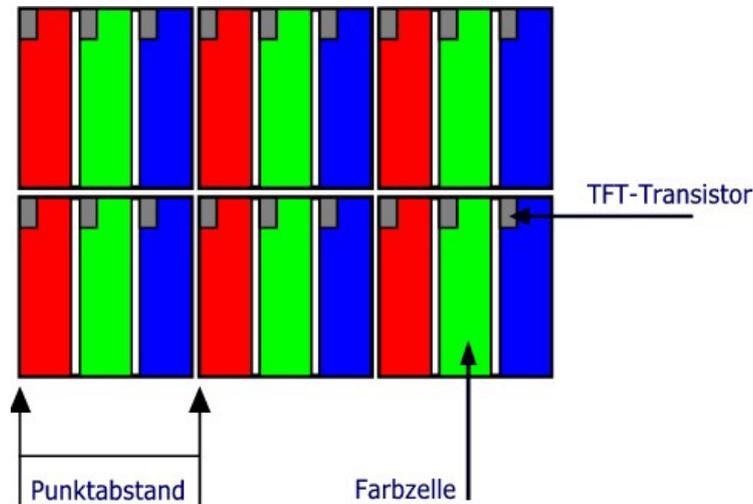


Abbildung 7.2.2: Bildpunkte eines TFT's. In der linken oberen Ecke einer Zelle befindet sich der Thin Film Transistor. Durch Farbfilter erhalten die Zellen ihre RGB-Grundfarben. (twisted nematic)

Für jeden Bildpunkt gibt es drei Transistoren, jeder steuert die Helligkeit einer der drei Grundfarben, aus denen die gewünschte Farbe gemischt wird.

Da es für die späteren Feldstärke Messergebnisse wichtig ist, möchte ich hier noch den Inverter erwähnen. Die Kaltkathoden Fluoreszenzlampen werden über den Inverter angesteuert. Der Inverter transformiert die Spannung von 3 – 28 VDC auf die Startspannung der Lampe von 900 – 1500 VAC. Die Spannung an der Lampe liegt bei Betrieb zwischen 300 bis 700 VAC. Zum Dimmen wird eine Pulsweitenmodulation verwendet, also der Mittelwert der Spannung geändert. Betrieben werden solche Inverter bei 30 bis 80 Kilohertz (Scheffel, 1999).

7.2.2 Messergebnisse

Ein TFT-Bildschirm der Firma Acer mit der Modellbezeichnung AL 1912 wurde nach dem Messprotokoll, das im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt wird, vermessen. Im gesamten Frequenzbereich wurde nur die 50 Hertzkomponente des elektrischen Feldes gemessen, im restlichen Frequenzbereich konnten keine Felder gemessen werden, die sich von den Hintergrundfeldern unterschieden.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.2.3: Elektrische Feldstärke in 15 cm Entfernung eines TFT-Bildschirms.

Abbildung 7.2.3 zeigt die gemessene elektrische Feldstärke des TFT-Bildschirms Acer AL 1912 bis 100 Hertz. Es wurden mehrere Betriebszustände des Bildschirms untersucht. Man kann feststellen, dass bei größter Helligkeit das größte elektrische Feld bei ca. 50 Kilohertz erzeugt wird. Die 50 Kilohertz lassen wieder auf die Betriebsfrequenz einer Leuchtstofflampe schließen, die hier als Hintergrundbeleuchtung eingesetzt wird. Diese Messungen wurden jedoch mittels Scan direkt an der Geräteoberfläche gemacht. Dort sind die absoluten Werte der Feldmessung aber nicht brauchbar, da aufgrund der Nähe zum Gehäuse große Fehler auftreten. In einem Abstand, der im Messprotokoll definiert ist, können diese kleinen Felder nicht mehr gemessen werden. Ihr Ursprung ist in der Ansteuerung der Hintergrundbeleuchtung zu finden (Inverter). Somit bleibt als einziges Ergebnis die 50 Hertz - Komponente des elektrischen Feldes über, Dieses Feld hat seinen Ursprung im Kaltgerätekabel und kommt damit nicht direkt vom Bildschirm. Wenn versuchsweise das Kabel anders verlegt wird und somit seinen Abstand zur Feldsonde ändert, ändert sich auch die elektrische Feldstärke. Dieser Versuch bestätigt die Annahme, dass das Feld vom Kabel kommt.

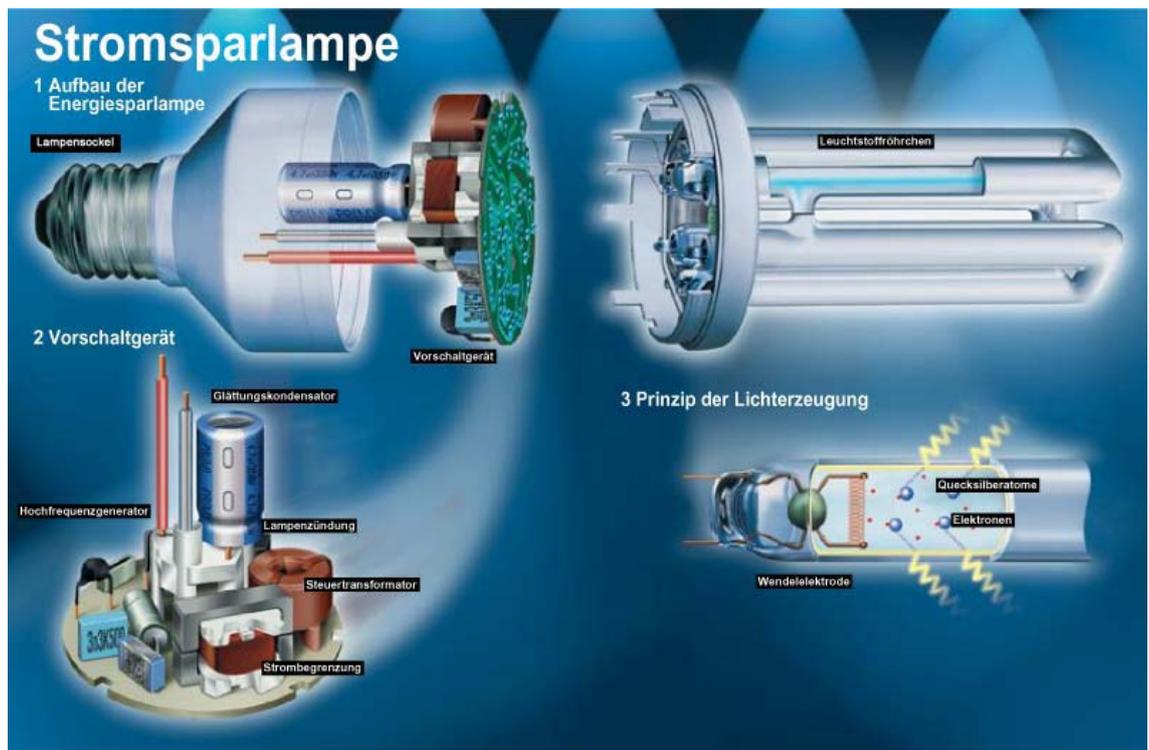
7.3 Lampe

7.3.1 Funktionsweise

Eine Energiesparlampe ist eine Leuchtstofflampe, die in eine kompakte Form gebracht wurde, so dass sie die Größe einer Glühlampe erreicht. Wie jede Leuchtstofflampe brauchen auch Energiesparlampen ein Vorschaltgerät, welches hier gleich in den Sockel integriert ist. Der Sockel hat die üblichen Normgrößen (z.B.: E27), wie sie bei Glühlampen in Gebrauch sind, und kann so in jede übliche Lampenfassung eingeschraubt werden und die Glühlampe ersetzen.

Bei einer Betriebsfrequenz der Lampe im Bereich zwischen 25 kHz und 80 kHz kann die gleiche Lichtmenge mit weniger Leistung erzeugt werden. Außerdem sind dadurch ein Softstart und flackerfreier Betrieb möglich.

Im Sockel der Lampe wird die 50 Hertz Netzspannung in die interne Betriebsspannung umgewandelt (25 kHz bis 80 kHz, je nach Lampe unterschiedlich), mit dieser wird dann die Leuchtstoffröhre betrieben. Der Aufbau einer Energiesparlampe wird in Abbildung 7.3.1 gezeigt.



- | | | |
|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1: Lampensockel | 5: Hochfrequenzgenerator | 9: Quecksilberatome |
| 2: Vorschaltgerät | 6: Lampenzündung | 10: Elektronen |
| 3: Leuchtstoffröhren | 7: Steuertransformator | 11: Wendelelektrode |
| 4: Glättungskondensator | 8: Strombegrenzung | |

Abbildung 7.3.1: Aufbau einer Energiesparlampe. (Dürnberger & Klaus, 2004) (strom-online)

Im Wesentlichen erzeugen Energiesparlampen in zwei Frequenzbereichen elektromagnetische Felder. Dies sind die 50 Hertz Netzfrequenz und die Betriebsfrequenz der Leuchtstoffröhre (z.B.: 27 kHz). (Dürnberger, et al., 2004)

7.3.2 Messergebnisse

Die stärksten elektromagnetischen Felder der Energiesparlampe des Herstellers DIMCO mit 20 Watt Leistung wurden direkt unterhalb der hängenden Lampe gemessen.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.3.2: Auswertung der relevanten magnetischen Felder bis 100 kHz der Energiesparlampe DIMCO 20W.

Aufgrund der Rektifizierung der 50 Hertz Netzfrequenz erkennt man in Abbildung 7.3.2 links die Grundperiode bei 50 Hertz und deren ungeradzahligen Oberwellen. Die Betriebsfrequenz der Leuchtstofflampe liegt bei ca. 27.000 Hertz und ist in Abbildung 7.3.2 rechts zu sehen. Die einzelnen Seitenbänder kommen von der 100 Hertz Modulation. Dieser ganze Block wiederholt sich alle 27.000 Hertz, dies konnte jedoch nur qualitativ bei näheren Abständen gemessen werden. In 15 Zentimetern Entfernung sind die magnetischen Felder bereits zu klein, um sie noch zu messen.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.3.3: Elektrische Felder der Energiesparlampe DIMCO 20W. Die cm Angaben in der Legende geben den Messabstand zwischen Lampe und Messgerät an.

In Abbildung 7.3.3 links sieht man wieder die 50 Hertz und ihre Oberwellen. Rechts werden die Betriebsfrequenz bei ca. 27.000 Hertz und ihre 100 Hertz Seitenbänder dargestellt.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.3.4: Harmonische der Betriebsfrequenz von ca. 27.000 Hertz.

In Abbildung 7.3.4 sind die Harmonischen der Betriebsfrequenz der Energiesparlampe zu sehen. Gemessen wurde hier mit der Feldsonde EHP 200 mit

einer RBW von 3 kHz, daher können die 100 Hertz Seitenbänder nicht mehr aufgelöst werden.

7.4 Drucker

7.4.1 Funktionsweise

Daten der zu druckenden Seite werden zum Drucker übertragen und im Speicher abgelegt. Vor dem Ausdruck wird aus diesen Daten die Druckseite berechnet, daher sind auch ein Prozessor und eine entsprechende Speicherkapazität im Drucker notwendig.

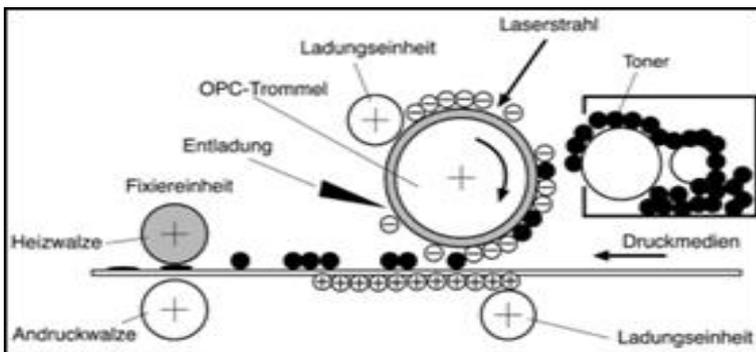


Abbildung 7.4.1: Funktionsweise des Laserdruckers (Drucker-Infos.de)

Anhand von Abbildung 7.4.1 wird der Druckvorgang beschrieben. Die Bildtrommel, auch OPC (Organic Photo Conductor) genannt, wird von der Ladungseinheit negativ aufgeladen. Der Laserstrahl wird über Spiegel auf die Bildtrommel gelenkt und entlädt die Bildtrommel an den Stellen, wo später der Toner aufgetragen werden soll. Nun dreht sich die Trommel weiter und an den entladenen Stellen haften die negativ geladenen Teilchen des Toners. Das Papier wird positiv geladen und zieht die negativ geladenen Tonerteilchen an. Jetzt wird das Papier durch die auf ca. 200°C beheizten Fixierwalzen gezogen und der Toner auf dem Papier eingebrannt. Die Reinigungseinheit entlädt die Bildtrommel und entfernt die Reste des Toners.

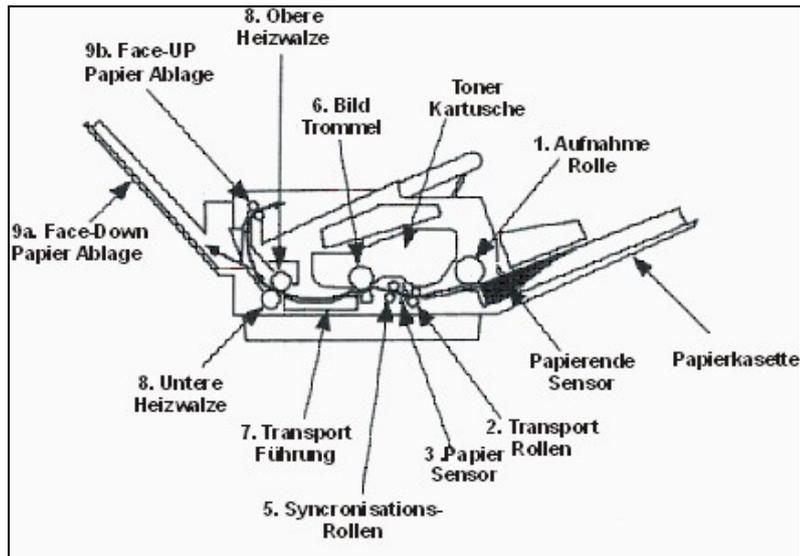


Abbildung 7.4.2: Aufbau eine Laserdruckers. (Drucker-Infos.de)

In Abbildung 7.4.2 sind alle Teile des Druckers, die elektromagnetische Felder in messbarer Größe erzeugen, eingezeichnet. Alle Rollen werden mit Elektromotoren angetrieben, die Heizwalze wird mittels elektrischer Widerstandsheizung auf Temperatur gebracht und die Aufnahmerolle elektrisch geladen. In obigem Bild nicht eingezeichnet ist das im Drucker eingebaute Netzgerät, von dem ebenfalls elektromagnetische Felder ausgehen. (Drucker-Infos.de)

7.4.2 Messergebnisse

Der Drucker HP Laser Jet 5 wurde in verschiedene Betriebszustände gebracht und der „Worst Case“- Betriebszustand ermittelt. Bei den drei untersuchten Betriebszuständen Drucken, Standby und Warmlaufphase ist Drucken der „Worst Case“- Betriebszustand.

Die größten magnetischen Felder sind auf der linken Seite des Druckers in der Flächenmitte gemessen worden.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.4.3: Auswertung der relevanten magnetischen Felder bis 1 kHz, gemessen in der Flächenmitte auf der linken Seite des Druckers. Die Ergebnisse in unterschiedlichen Entfernungen werden farblich unterschieden.

In Abbildung 7.4.3 sind die gemessenen Komponenten der magnetischen Flussdichten bis 1.000 Hertz eingetragen. Über 1.000 Hertz wurden keine magnetischen Felder mehr gemessen. Der höchste hier gemessene Wert liegt bei einer Frequenz von 110 Hertz, dieser dürfte von der Gleichrichtung im Netzgerät stammen.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.4.4: Feldabnahmekurve bei 110 Hz über die Entfernung. Es sind die Werte aus Abbildung 7.4.3 eingetragen. Die Trendlinie gibt eine Näherung mittels Potenzfunktion an die Messkurve an. Die Formel nach der die Trendlinie berechnet wird, ist ebenfalls angegeben.

Abbildung 7.4.4 zeigt für die magnetische Flussdichte bei 110 Hertz die Feldabnahme mit größer werdender Entfernung zwischen Drucker und Feldsonde. Da wir wissen, dass das magnetische Feld nach einer $1/r^x$ Funktion abnimmt, wird die gemessene Feldabnahmekurve durch eine Potenzfunktion angenähert. Diese Funktion ist ebenfalls in Abbildung 7.4.4 angegeben.

Bei den elektrischen Feldern ist auf der Rückseite des Druckers wieder die 50 Hertz Komponente, die vom Kaltgerätekabel ausgeht, zu messen. Eine weitere Komponente ist bei 710 Hertz auf der linken Geräteseite in der Flächenmitte zu messen, ihr Wert beträgt 4 V/m in einer Entfernung von 10 cm und ist in 20 cm Entfernung nicht mehr zu messen.

7.5 Scanner

7.5.1 Funktionsweise

Eine Vorlage wird auf den Scanner gelegt. Diese wird zeilenweise mit Licht angestrahlt und das reflektierte Licht von Fotosensoren in digitale Signale umgewandelt. So setzt sich Stück für Stück das Bild des Scans zusammen.

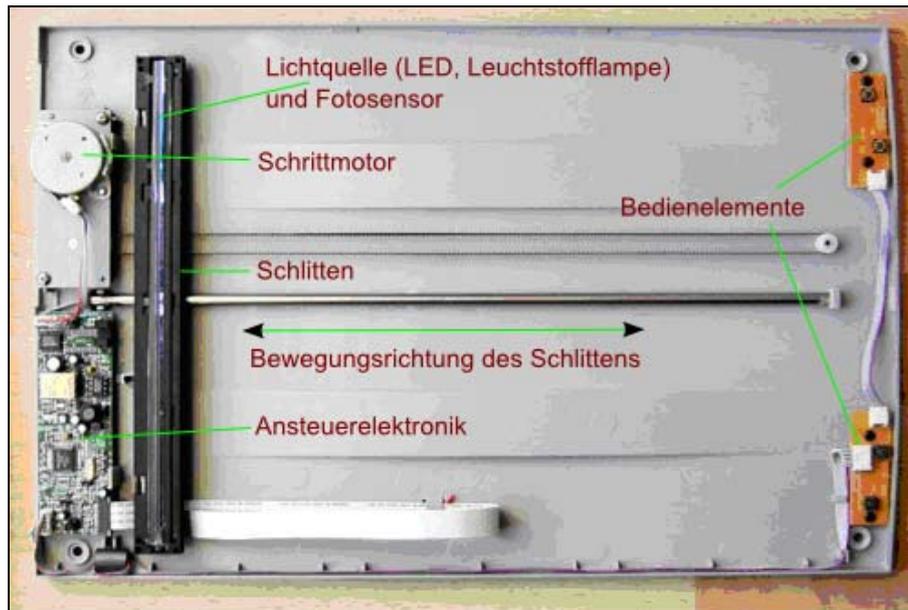


Abbildung 7.5.1: Aufbau eines Scanners (Burkhard Kainka)

Die wichtigsten Komponenten eines Scanners sind in Abbildung 7.5.1 beschriftet. Im Schlitten verläuft über die ganze Länge eine Leuchtstofflampe oder eine Beleuchtung über LED's. Das Licht der LED's wird über einen Lichtwellenleiter gleichmäßig über die Länge des Schlittens verteilt. In obiger Abbildung werden LED's eingesetzt, beim Einsatz von Leuchtstofflampen kommt die Ansteuerung für diese hinzu. Die Fotosensoren sind entweder auch im Schlitten angebracht, oder das Licht wird über eine Optik den Sensoren zugeführt. Bei obigem Scanner sind die Fotosensoren gleich im Schlitten eingebaut. Der Schrittmotor bewegt den Schlitten von links nach rechts. Die Ansteuerelektronik bietet Schnittstellen für die Kommunikation (USB) und steuert den Scanvorgang.

7.5.2 Messergebnisse

Der Scanner Epson Perfection 640U wurde in verschiedene Betriebszustände gebracht und der „Worst Case“- Betriebszustand ermittelt. Bei den drei untersuchten Betriebszuständen „Scannen“, „Standby“ und „Lampe aus“, ist „Scannen“ der „Worst Case“- Betriebszustand, bei dem die Messung der elektromagnetischen Felder vorgenommen wurde. Dies kommt einerseits daher, dass beim Scannen Elektromotoren in Betrieb gehen und andererseits wird die Leuchtstofflampe heller geschaltet. Folgend sind die Betriebszustände beschrieben:

- Standby = Gerät ist angesteckt, wobei die Lampe im Scanner leuchtet
- Scannen = Lampe leuchtet, der Schlitten bewegt sich (genaue Position des Schlittens während der Messung ist nicht bestimmt)
- Lampe aus = Gerät ist angesteckt, Lampe leuchtet aber nicht. In diesem Zustand schaltet der Scanner nach ca. 15 Minuten in den Standby Modus.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.5.2: Feldabnahmekurve über der Entfernung bei 44.000 Hz. Die Trendlinie gibt eine Näherung mittels Potenzfunktion an die Messkurve an. Die Formel nach der die Trendlinie berechnet wird, ist ebenfalls angegeben.

Im Scanner ist eine Leuchtstofflampe in dem Schlitten, der das zu scannende Blatt Papier abfährt, eingebaut. Die Betriebsfrequenz dieser Lampe liegt bei 44.000 Hertz und es können bei dieser Frequenz magnetische Felder gemessen werden (Abbildung 7.5.2). Auch die erste Oberwelle bei 88.000 Hertz ist noch zu erkennen. In einer Entfernung von 12 Zentimetern können noch 4 nT gemessen werden und in 20 Zentimeter Entfernung 2 nT. In noch größeren Abständen wird nichts mehr gemessen.

Bei 1.077 Hertz misst man auf der Geräterückseite in 12 Zentimetern Abstand beim Scannen ca. 14 nT. Diese kommen vom Motor, der den Schlitten bewegt.

In Abbildung 7.5.3 ist die Feldabnahmekurve des elektrischen Feldes bei 50 Hertz plus Oberwellen eingezeichnet. Der größte Wert wurde auf der Geräterückseite in der Mitte gemessen, dort wird auch das Kabel, das vom Netzgerät kommt, angeschlossen. Die dünnen Linien zeigen eine Näherung an den Kurvenverlauf mittels einer Potenzfunktion.

Fehler! Keine gültige Verknüpfung.

Abbildung 7.5.3: Feldabnahmekurven über die Entfernung des Scanners Epson Perfection 640U bei 50 Hertz und ihren Oberwellen. Die dünnen Linien zeigen eine Näherung an den Kurvenverlauf mittels einer Potenzfunktion. Diese Funktion ist in der Legende neben der jeweiligen Frequenz angegeben.

Diese Näherungsfunktionen sind in der Legende zur jeweiligen Frequenz angegeben und müssten in der Theorie die gleichen Exponenten aufweisen. Anhand der Exponenten der Potenzialfunktion erkennt man, dass solange ein schöner Feldabnahmeverlauf gemessen werden kann, diese kaum variieren. Ist jedoch die Kurve aufgrund der kleinen gemessenen Werte bei Oberwellen über 200 Hertz nur mehr sehr flach, weichen auch die Exponenten der Näherungsfunktion etwas von den vorigen ab. Da hier die Exponenten kleiner werden, wird mittels dieser Funktion eine kleinere Feldabnahme errechnet. Dies führt zu einer Überschätzung der Felder und ist im Sinne des Personenschutzes kein Problem.

Die größten elektrischen Felder bei den Frequenzen von 44 Kilohertz und 88 Kilohertz werden an der linken Seite hinten gemessen. In 15 Zentimetern Entfernung sind dies 99 V/m und 2,3 V/m, in 40 Zentimetern 12 V/m beziehungsweise 0,7 V/m. Diese Felder kommen wieder von der Ansteuerung der Leuchtstofflampe.

8 Schlussfolgerung

Für die Messung der Bürogeräte wurde ein Messprotokoll angefertigt, nach dem gemessen wird (Anhang E). Nach diesem Messverfahren wird ein „Hot – Spot“ nahe der Geräteoberfläche gesucht, von dem normal zur Oberfläche der Feldabnahmeverlauf gemessen wird. Hier könnte ein Problem entstehen, da die geringste Abnahme des Feldes nicht zwingend im rechten Winkel zur Oberfläche des Gerätes stattfindet. Bei hochfrequenten Sendern wie zum Beispiel WLAN – Anlagen kann die Hauptabstrahlrichtung, durch die Richtwirkung der Antenne, auch in einem anderen Winkel zur Oberfläche stehen. Elektronische Bauteile oder andere elektrische Komponenten in einem Gerät strahlen ungewollt auch elektromagnetische Wellen aus, die aufgrund von zufälligen Strukturen innerhalb des Gehäuses ebenfalls gerichtet sein können. Misst man nun nicht in der Ausbreitungsrichtung der Welle, nimmt das gemessene Feld stärker ab als es wirklich der Fall ist. Bei niederfrequenten Feldern kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der kleinen Strukturen der Geräte im Vergleich zur Wellenlänge, keine Richtwirkung gegeben ist. Bei sehr großen Wellenlängen, zum Beispiel sind das bei 50 Hertz Netzfrequenz 6000 Kilometer, benutzt man die verkürzten Feldsysteme, die aus den Maxwellgleichungen herzuleiten sind. Man befindet sich in der Quasielektrostatik bzw. bei quasistationären elektromagnetischen Feldern. Stellt man sich jetzt die Feldlinien einer Spule vor, so ist die größte Flussdichte entlang ihrer Achse zu erwarten. Steht diese Achse in einem anderen als einem rechten Winkel zur Oberfläche, misst man auch hier wieder eine zu starke Feldabnahme. In hohen Frequenzbereichen über mehrere Megahertz wird mit einem „Peak Detektor“ gemessen. So werden zuverlässig hochfrequente Felder von Komponenten, deren eigentliche Aufgabe nicht das Senden ist, gemessen. Übliche stochastische Informationssignale von UMTS oder WLAN Sendeanlagen können so nicht gemessen werden. Wenn ein Gerät solche Signale aussendet, muss das bekannt sein und es müssen etablierte Methoden zur Messung dieser Signale verwendet werden. Im Rahmen dieser Arbeit konnte auf Messungen stochastischer Signale nicht mehr eingegangen werden. Sie sind für das Projekt EMES (Elektromagnetische Felder Experten System) aber von Bedeutung und müssen im weiteren Verlauf des Projektes noch nachgeholt werden.

Das Auswerten der großen Datenmengen, die bei den Messungen anfallen, hat sich als sehr aufwendig herausgestellt und wird zurzeit händisch gemacht. Es wird in Zukunft noch versucht diese Auswertungen zu automatisieren. Über den ganzen umfassten Frequenzbereich von einem Hertz bis drei Gigahertz kommen mehrere Hunderttausend Messwerte zusammen. Aus allen diesen Daten, die in Excel – Tabellen gespeichert sind, müssen nun jene wenigen, die nicht dem Eigenrauschen der Messgeräte zuzuordnen sind, herausgefiltert werden. Die meisten Spitzen im Spektralbereich haben eine endliche Breite. In den Excel – Tabellen befinden sich daher zu einer Frequenzkomponente mehrere Einträge in der Tabelle. So sieht man zum Beispiel anhand der grafischen Darstellung der Messergebnisse, dass bei 50 Hertz ein Feld gemessen wird. Es sind aber auch Messwerte ein wenig über und ein wenig unter 50 Hertz vorhanden. In Wirklichkeit handelt es sich aber nur um eine Komponente bei 50 Hertz. Um nun nur die Spitze bewerten zu können, müssen alle umgebenden Werte entfernt werden. Würde man das nicht machen, hätte man bei 50, 51, 52 Hertz usw. Komponenten, die zum Expositionskoeffizienten beitragen und somit ein falsches Ergebnis. Es wird daran gearbeitet Kriterien festzulegen, nach denen die Auswertung automatisiert werden kann. Vorgeschlagen werden drei Kriterien, die zu erfüllen sind. Erstens sollen Spitzen als solche erkannt werden und für jede Spitze nur ein Wert übrig bleiben, der in der Bewertung berücksichtigt wird. Zweitens sollen alle Werte aussortiert werden, die einen gewissen Faktor unter dem frequenzabhängigen Referenzwert nach ÖNORM EN 8850 liegen. Hier wird ca. der Faktor 10000 angewendet. Drittens soll eine Funktion entwickelt werden, die eine obere Einhüllende und eine untere Einhüllende um das Eigenrauschen der Messgeräte findet. Alle Werte, die nicht mehr als ca. 3 dB über dieser Einhüllenden liegen, sollen ebenfalls nicht in die Bewertung eingehen.

Über die Größe der zu erwartenden Exposition in Büroumgebungen kann zum derzeitigen Projektfortschritt noch keine Aussage getroffen werden. Dazu muss noch eine repräsentative Anzahl an Geräten vermessen und in der Datenbank abgespeichert werden. Dann wird in einem Büro ein Testlauf gemacht. Hierzu müssen alle im Büro vorhandenen Geräte in der Datenbank gespeichert sein und es wird der Expositionskoeffizient am Arbeitsplatz errechnet. Diese Rechnung wird dann mit einer direkten Messung der Felder am Arbeitsplatz verglichen. Nach den

Daten der wenigen bisher gemessenen Geräte wird mit keinen Referenzwertüberschreitungen gerechnet, auch dann nicht, wenn die Feldstärken aller Geräte im Büro aufsummiert werden.

9 Literaturverzeichnis

Bahmeier, Georg. 1994. Feldsonden für Kalibrierzwecke und zur Bestimmung von Betrag und Richtung der elektrischen Feldstärke; Fortschritt-Berichte VDI Reihe 8, Nr. 438. s.l. : VDI Verlag GmbH Düsseldorf, 1994. ISBN 3-18-343808-9.

Drucker-Infos.de. [Online] [Zitat vom 30. 10. 2008] <http://www.drucker-infos.de/laserdrucker.htm>

Dürnberger, Gregor und Klaus, Georg. 2004. EMF von Energiesparlampen: Feldmessungen und Expositionsabschätzungen mit Vergleich zu anderen Quellen im Alltag. Zürich : s.n., 2004.

Burkhard Kainka. Elektronik und Microcontroller [Online] [Zitat vom 30. 10. 2008] <http://www.b-kainka.de/bastel110.htm>

EN 50366: Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Elektromagnetische Felder – Verfahren zur Bewertung und Messung

EN 50392: Fachgrundnorm zur Demonstration der Konformität elektronischer und elektrischer Geräte mit den Basisgrenzwerten für die Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)

EN 50413 (Entwurf): Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)

EN 55015: Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten

EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG: Empfehlung des Rates zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz); 12. Juli 1999

Monien, Georg. 2003. Die Beeinflussung der Meßabweichung von Feldsonden und Stromzangen durch reale Umgebungsbedingungen. TU Hamburg-Harburg : s.n., 2003. URL: <http://doku.b.tu-harburg.de/volltexte/2004/75/>.

Precht, Adalbert. 1995. Vorlesungen über die Grundlagen der Elektrotechnik. Wien : Springer-Verlag Wien New York, 1995. Bd. 2. ISBN 3-211-82685-8.

Scheffel, Uwe. 1999. tom's hardware. [Online] 14. 6 1999. [Zitat vom: 30. 10 2008.] <http://www.tomshardware.com/de/TFT-LCD-Funktionsweise,testberichte-49-7.html>.

strom-online. [Online] [Zitat vom: 30. 10 2008.] <http://www.strom-online.ch/themen.html>.

Schmidt, Gernot, et al. 2005. Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro. Seibersdorf : s.n., 2005.

EMERSON & CUMING Microwave Products N.V. 2007 aus dem Produktkatalog EB-100

Wandel & Goltermann GmbH&Co. 1995. Narda Safety Test Solutions. [Online] 29. 03 1995. [Zitat vom: 1. 10 2008.] http://www.narda-sts.de/pdf/niederfrequenz/12_kongr_7.pdf.

Anhang A

In Tabelle A.1 sind die gefundenen Dokumente eingetragen. Damit sie leicht wieder gefunden werden können, sind der Autor, der Titel und auch der Link zu jedem Dokument angegeben.

Autor	Titel	Adresse	Information
Matthias Otto, Karl Ernst von Mühlendahl	Electromagnetic fields (EMF): Do they play a role in children's environmental health (CEH)?	http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B7GVY-4PJDD9B-2-1&_cdi=20443&_user=103677&_orig=search&_coverDate=10%2F31%2F2007&_sk=997899994&view=c&wchp=dGLbVzz-zSkWb&md5=0846c79d8d1622ff8742bfd0f5cba0fd&ie=/sdarticle.pdf	Medizinischen Inhaltes, keine Messergebnisse
Jun Zhang 1, Indira Nair 2 *, M. Granger Morgan 1	Effects function simulation of residential appliance field exposures	http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/48914/PDFSTART	keine Expositionsdaten
Edwin D. Mantiply *, Kenneth R. Pohl, Samuel W. Poppell, Julia A. Murphy	Summary of measured radiofrequency electric and magnetic fields (10 kHz to 30 GHz) in the general and work environment	http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/48977/PDFSTART	Übersichtsarbeit, PC/Monitor, keine Messdaten
Kaune WT 1993	Introduction to power-frequency electric and magnetic fields	http://www.elmar.unibas.ch/FMPro?-db=elmar.fp5&-format=details.html&-sortfield=-keine-&-sortfield=-keine-&-sortfield=-keine-&Exposition=elektrische%20Ger%E4te&Kollektiv=Alle,%20generell&select=AND&select=ascend&Absenden2=Suchen&select=AND&select4=ascend&-max=50&-recid=56&-find	Keine Messdaten vorhanden
Karus M., Niessen P., Bathow M.: 2002	Elektromog durch schnurlose DECT-Telefone	http://www.elmar.unibas.ch/FMPro?-db=elmar.fp5&-format=details.html&-sortfield=-keine-&-sortfield=-keine-&-sortfield=-keine-&Studientyp=Messmethodik&	Keine Messdaten vorhanden

		select=AND&select=ascend&Absenden2=Suchen&select=A ND&select4=ascend&- max=50&-recid=33204&- find=	
T G Cooper, S M Mann, R P Blackwell and S G Allen	Occupational Exposure to Electromagnetic Fields at Radio Transmitter Sites	http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1194947392257	Keine Messdaten vorhanden
Monien, Georg	Die Beeinflussung der Messabweichung von Feldsonden und Stromzangen durch reale Umgebungsbedingungen	http://doku.b.tu-harburg.de/volltexte/2004/75/pdf/Dissertation_Monien_1203.pdf	Gute Beschreibung des Einflusses von Streustrukturen auf die Feldsonden, plus praxisrelevante Hinweise
ICNIRP	GUIDANCE ON DETERMINING COMPLIANCE OF EXPOSURE TO PULSED AND COMPLEX NON- SINUSOIDAL WAVEFORMS BELOW 100 kHz WITH ICNIRP GUIDELINES	http://www.icnirp.de/documents/pulsed.pdf	Keine Messdaten vorhanden
T. Watanabe, S. Watanabe, T. Ikeda, M. Kase T. Katayama, RIKEN, Wako, Saitama, Japan T. Kawaguchi, KT Science Ltd., Kakogawa, Hyogo, Japan	DESIGN OF HIGHLY- SENSITIVE CURRENT MONITOR WITH HTS SQUID AND HTS MAGNETIC SHIELD	http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/e02/PAPERS/THPRI117.pdf	ein Diagramm mit Spektrum von einem Monitor, Keine weiteren Messdaten vorhanden
Richard A. Tell, Chairman Howard I. Bassen Jules Cohen David L. Conover Carl H. Durney Ronald C. Petersen	Report No. 119 - A Practical Guide to the Determination of Human Exposure to Radiofrequency Fields	http://www.ncrppublications.org/index.cfm?fm=Product.AddToCart&pid=6865703435	Keine Messdaten vorhanden
George M. Wilkening, Chairman Frank S. Barnes Ronald R. Bowman Arthur W. Guy Karl H. Illinger	Report No. 067 - Radiofrequency Electromagnetic Fields - Properties, Quantities and Units, Biophysical Interaction, and	http://www.ncrppublications.org/index.cfm?fm=Product.AddToCart&pid=9191680099	Keine Messdaten vorhanden

Curtis C. Johnson (deceased) Saul W. Rosenthal Charles Susskind Ronald C. Peterson, Consultant	Measurements		
Saravanan Krishnamoorthy	Human exposure to extremely-low and very-low frequency magnetic fields in living and working environments	http://ieeexplore.ieee.org/iel5/6348/16959/00781286.pdf?tp=&arnumber=781286&isnumber=16959	Breitbandige Messung der magn. Flussdichte, plus Feldabnahme kurven und 3D-Plot von TV, Mirkowelle,...
A. S. Farag , M. M. Dawoud , T. C. Cheng and Jason S. Cheng	Occupational exposure assessment for power frequency electromagnetic fields	http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V30-3VF0Y65-2&_user=103677&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000007978&_version=1&_urlVersion=0&_userid=103677&md5=3b2018929461db589eefaeabf2fc6100	Messungen von Hochspannungsleitungen im freien und in Räumen, plus Feldabnahmekurven
M. M. Methner and J. D. Bowman	Hazard surveillance for industrial magnetic fields: I. Walkthrough survey of ambient fields and sources	http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TCG-41TMS91-3&_user=103677&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000007978&_version=1&_urlVersion=0&_userid=103677&md5=7ad22146583bbcb9d3cc2e2bcd637cc1	Richtwerte zu magnetischen Feldern zahlreicher Elektrogeräte, plus Statistik
Din, E.S.T.E.; Anis, H.; Abouelsaad, M.;	A probabilistic approach to exposure assessment of power lines electric field	http://ieeexplore.ieee.org/iel5/61/30624/01413330.pdf?tp=&arnumber=1413330&isnumber=30624	Berechnungen und Messungen zu Hochspannungsleitungen
D'Antona, G.; Di Rienzo, L.; Lazzaroni, M.; Ottoboni, R	A sensor network for measurement of low frequency magnetic flux density - Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2001. IMTC 2001. Proceedings of the 18th IE	http://ieeexplore.ieee.org/iel5/7381/20096/00929480.pdf?tp=&arnumber=929480&isnumber=20096	Messsystem zur Messung niederfrequenter magnetischer Felder
Brandolini, A.; D'Antona, G.; Faifer, M.; Lazzaroni, M.; Ottoboni, R.;	Low frequency magnetic flux density measurements based on navigation agents - Sensors for Industry Conference, 2004. Proceedings the ISA/IEEE	http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9042/28695/01287136.pdf?tp=&arnumber=1287136&isnumber=28695	Beschreibung eines Sensors zur Messung der magnetischen Flussdichte

Sapashe, D.; Ashley, J.R.;	Video display terminal fringing magnetic field measurements - Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on	http://ieeexplore.ieee.org/iel1/19/3739/00137344.pdf?tp=&arnumber=137344&isnumber=3739	Breitbandige Messung von CRT-Monitoren, plus Feldabnahme
Sapashe, D.; Ashley, J.R.	Potential errors in VDT fringing field measurements - Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1991. IMTC-91. Conference Record., 8th IEEE	http://ieeexplore.ieee.org/iel2/503/4223/00161669.pdf?tp=&arnumber=161669&isnumber=4223	Breitbandige Messung von CRT-Monitoren, plus Feldabnahme
Accredited Standards Committee On Electromagnetic Compatibility, C63	American National Standard For Methods Of Measurement Of Radio-Noise Emissions From Low-voltage Elec - ANSI Std C63.4-1992	http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=574685	Beschreibungen zu Messmethoden für Messungen der EMF von 9 kHz bis 40 GHz
Stadtler, T.; Eifler, L.; ter Haseborg, J.L.	Double probe near field scanner, a new device for measurements in time domain - Electromagnetic Compatibility, 2003 IEEE International Symposium on	http://ieeexplore.ieee.org/iel5/8744/27702/01236569.pdf?tp=&arnumber=1236569&isnumber=27702	HF E-Feld Messsystem
Athanasios G. Kanatas, Member, IEEE, and Philip Constantinou,	A propagation prediction tool for urban mobile radio systems - Vehicular Technology, IEEE Transactions on	http://ieeexplore.ieee.org/iel5/25/18947/00875256.pdf?tp=&arnumber=875256&isnumber=18947	Wellenausbreitungsberechnung für Radio-Systeme
T G Cooper	Occupational exposure to electric and magnetic fields in the context of the ICNIRP guidelines	http://www.camr.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1194947343083	Informationen über Exposition von electricity generation, resistance welders, induction heaters, plasma etchers, metal detectors, RFID, EAS equipment, tape erasers, diathermy, broadcast and telecommunication. Einige Diagramme + Tabellen mit Teilkörperexposition und relevante Frequenzen + Distanzen
	Teil 1 2000-08 DIN VDE 0848-1		Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern - Teil 1: Definitionen, Mess- und Berechnungsverfahren
	Teil 371 2002-11 DIN EN 50371		Fachgrundnorm zum Nachweis der Übereinstimmung von elektronischen und elektrischen Geräten kleiner Leistung mit den Basisgrenzwerten für die Sicherheit

			von Personen in elektromagnetischen Feldern (10 MHz bis 300 GHz) Allgemeine Öffentlichkeit - Deutsche Fassung EN 50371: 2002
Prof. Dr. Matthias Wuschek und Jürgen Kausche	Zwischen Funkdienst und Elektrosmog	http://www.funkschau.de/heftarchiv/pdf/2003/fs1803/fs0318050.pdf	allgemeine Information über Messmethoden zu Basisstationen, Radio, TV,...
Sven Kuhn, Andreas Christ, Myles Capstick, Niels Kuster	Bestimmung von SAR Werten bei der Verwendung von Headsets für Mobilfunktelefone	http://www.emf-forschungsprogramm.de/akt_emf_forschung.html/dosi_HF_002_ZwB_01.pdf	Bestandsaufnahme, Literaturstudie, Marktstudie 2007, SAR Messmethoden, für Kabelgebundene und Kabellose Headsets
Dr. Gregor Dürrenberger	EMF von Energiesparlampen: Feldmessungen und Expositionsabschätzungen mit Vergleich zu anderen Quellen im Alltag	http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000008901.pdf&name=00000240122.pdf	EMF Messungen an Energiesparlampen. Messaufbau, Messergebnisse, Beurteilungsgrundlage EN50366, NISV, ICNIRP, TCO. Vergleich mit Glühlampen. Es wird bis 1 MHz gemessen.
Matthias Otto, Karl Ernst von Muhlendahl	Electromagnetic fields (EMF): Do they play a role in children's environmental health (CEH)?	http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B7GVY-4PJDD9B-2-1&_cdi=20443&_user=1036771&_orig=search&_coverDate=10%2F31%2F2007&_sk=997899994&view=c&wchp=dGLbVzz-zSkWb&_valck=1&md5=69ebfc347340b6e1e4118216bbce174f&ie=/sdarticle.pdf	Bericht über die Wirkung elektromagnetischer Felder auf den menschlichen Körper

Tabelle A.1: Liste der gefundenen Dokumente

Anhang B

Normen:

ÖNORM EN 12198-1 bis 3

Sicherheit von Maschinen - Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung - Teil 1 bis 3

Teil 1: Allgemeine Leitsätze

Teil 2: Messverfahren für die Strahlenemission

Teil 3: Verminderung der Strahlung durch Abschwächung oder Abschirmung

ÖNORM EN 50500 / 2007-02-01

Messverfahren für magnetische Felder die durch elektronische und elektrische Geräte in der Bahnumgebung erzeugt werden hinsichtlich der Exposition von Personen

ÖNORM EN 50360 / 2002-06-01

Produktnorm zum Nachweis der Übereinstimmung von Mobiltelefonen mit den Basisgrenzwerten hinsichtlich der Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern (300 MHz – 3 GHz);.

ÖNORM EN 50361 / 2002-07-01

Grundnorm zur Messung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) in Bezug auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen (300 MHz bis 3 GHz).

ÖNORM EN 50366 / 2004-01-01

Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Elektromagnetische Felder - Verfahren zur Bewertung und Messung

ÖNORM EN 50371 / 2003-01-01

Fachgrundnorm zum Nachweis der Übereinstimmung von elektronischen und elektrischen Geräten kleiner Leistung mit den Basisgrenzwerten für die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern (10 MHz bis 300 GHz) - Allgemeine Öffentlichkeit

ÖNORM EN 50383 / 2003-08-01

Grundnorm für die Berechnung und Messung der elektromagnetischen Feldstärke und SAR in Bezug auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern

von Mobilfunk-Basisstationen und stationären Teilnehmergeräten von schnurlosen Telekommunikationsanlagen (110 MHz bis 40 GHz)

ÖNORM EN 50384 / 2003-07-01

Produktnorm zur Konformitätsüberprüfung von Mobilfunk-Basisstationen und stationären Teilnehmergeräten für schnurlose Telekommunikationsanlagen im Hinblick auf die Basisgrenz- und Referenzwerte bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (110 MHz bis 40 GHz) - Berufliche Exposition

ÖNORM EN 50385 / 2003-07-01

Produktnorm zur Konformitätsüberprüfung von Mobilfunk-Basisstationen und stationären Teilnehmergeräten für schnurlose Telekommunikationsanlagen im Hinblick auf die Basisgrenz- und Referenzwerte bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (110 MHz bis 40 GHz) – Allgemeinbevölkerung

ÖNORM EN 50391 / 2004-10-01

Fachgrundnorm zur Demonstration der Konformität elektronischer und elektrischer Geräte mit den Basisgrenzwerten für die Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)

ÖNORM EN 50400 / 2007-03-01

Grundnorm zum Nachweis der Übereinstimmung von stationären Einrichtungen für Funkübertragungen (110 MHz bis 40 GHz), die zur Verwendung in schnurlosen Telekommunikationsnetzen vorgesehen sind, bei ihrer Inbetriebnahme mit den Basisgrenzwerten oder den Referenzwerten bezüglich der Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern

ÖNORM EN 50401/ 2007-03-01

Produktnorm zum Nachweis der Übereinstimmung von stationären Einrichtungen für Funkübertragungen (110 MHz bis 40 GHz), die zur Verwendung in schnurlosen Telekommunikationsnetzen vorgesehen sind, bei ihrer Inbetriebnahme mit den Basisgrenzwerten oder den Referenzwerten bezüglich der Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern

ÖNROM Entwurf EN 50413 / 2007-03-01

Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)

ÖNORM Entwurf EN 50499 / 2007-01-01

Bestimmung der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber elektromagnetischen Feldern

DIN 61566 / 1999-01 (IEC 61 566)

Messung der Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder - Feldstärke im Frequenzbereich 100 kHz bis 1 GHz

ÖNORM Entwurf 62233 / 2007-01-01 (IEC 62233)

Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure

Ähnlich wie EN 50366; lässt aber auch andere Referenzwerte zu! Koppelfaktoren und Messumgebung so gut wie identisch.

ÖNORM Entwurf 62311 / 2006-10-01 (IEC 62311)

Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)

IEC 61786 Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings - Special requirements for instruments and guidance for measurements

IEC 62334 Measurement and Assessment of Human Exposure to High Frequency (9 kHz to 300 GHz) Electromagnetic Fields

DIN VDE 0858-226-2-1 / 2005-09-01

Sicherheit in elektrischen oder magnetischen Feldern im niedrigen und mittleren Frequenzbereich - Verfahren zur Berechnung der induzierten Körperstromdichte und des im menschlichen Körper induzierten elektrischen Feldes - Teil 2-1: Exposition gegenüber magnetischen Feldern - 2D-Modelle (IEC 62226-2-1:2004);

DIN VDE 0848-226-3-1 / 2008-06-01

Sicherheit in elektrischen oder magnetischen Feldern im niedrigen und mittleren Frequenzbereich - Verfahren zur Berechnung der induzierten Körperstromdichte und des im menschlichen Körper induzierten elektrischen Feldes - Teil 3-1: Exposition gegenüber elektrischen Feldern - Analytische Modelle und numerische 2D-Modelle (IEC 62226-3-1:2007);

Anhang C

PC: Untersucht werden vom Hersteller geschlossene Geräte, nur mit Gehäuse!

- Notebook mit Dockingstation
- Stand PC
- Kleinere Server, Workstations

Ausgeschlossen:

- integrierte Kleincomputer
- alle mit Netzgeräte > 1000 W
- Spielcomputer (Schachcomputer, Gameboy, etc.)
- Nicht kommerziell erhältliche Aufbauten

Bildschirme:

- Flachbildschirme
- Röhrenbildschirme

Ausgeschlossen:

- Beamer
- TV (DVB-H, Überwachungsmonitor – display, etc.)
- Batterie und Akkubetriebene Kleingeräte mit integrierten Displays (MP3 Player, Taschenrechner, etc.)

Beleuchtungskörper: (inkl. Trafo, etc.)

- Glühbirnen
- Neonröhren
- Energiesparlampen
- Halogenlampen (Niederspannungslampen)

Ausgeschlossen:

- Straßenbeleuchtung
- Werksbeleuchtung
- Atypische Speziallampen

- Alle > 200W (pro Leuchtmittel; unabhängig von Größe Raum und Anzahl Leuchtmittel)
- Diodenleuchtmittel

Mobiltelefone:

- Alle gängigen GSM 900+1800, UMTS Mobiltelefone < 2 W (max. Sendeleistung)

Ausgeschlossen:

- Atypische Mobiltelefone (> 2 W max. Sendeleistung; Telefone mit anderen Standards)
- Funkgeräte
- C-Netz, D-Netz, Pager
- Hauseigene Mobilfunknetze+telefone (z.B. im Krankenhaus)
- Babyphone
- Spielzeugtelefone
- Web&Walk Boxen

Basisstationen:

- GSM 900+1800, UMTS (inklusive Makro-, Mikrozellen, Pikozenellen)

Ausgeschlossen:

- Funk von Behörden, Botschaften
- Tetra
- DVB-T
- DAB
- Radaranlagen

W-LAN:

- IEEE 802.11
- IEEE 802.xx (Bluetooth)
- Quellen in PC/Notebooks (integrierte), Mobiltelefon, Headsets, PC-Peripheriegeräte, Accesspoints

Ausgeschlossen:

- Zigbee
- RFID
- Web&Walk Boxen (nicht integrierte/externe Zusatzgeräte)
- Externe nicht integrierte Kommunikationsperipheriegeräte
- WiMax

Drucker:

- Alle elektronischen Bürodrucker

Ausgeschlossen:

- Großformatdrucker (> A3)
- Sonstige atypische Drucker (für Büroanwendungen)
- Fotodrucker

Scanner (Bild/Fotoscanner):

- Alle elektronischen Büros Scanner

Ausgeschlossen:

- Großformatscanner
- Sonstige atypische Scanner
- Barcodescanner etc.
- Handscanner

Kopierer/Faxgeräte:

- Alle elektronischen Bürokopierer
- Faxgeräte

Ausgeschlossen:

- Großformatkopierer
- Sonstige atypische Kopierer

Schnurlostelefone:

- DECT

Ausgeschlossen:

- Alte analoge
- Alte digitale
- Wenig gebräuchliche modernere Standards

Anhang D

Ihr Zeichen	Unser Zeichen	Tel. (Durchwahl) *	Fax (Durchwahl) **	Datum
	Gerhard Ozelsberger	+ 43 50550 2817	+ 43 50550 2813	

Sehr geehrte Damen und Herren !

Im Zuge meiner Diplomarbeit für die TU-Wien bei den Austrian Research Centers GmbH - ARC führe ich eine Recherche über in Österreich eingesetzte elektrische Geräte in Büroumgebungen durch und bitte um Ihre Unterstützung.

Wir führen im Auftrag der AUVA (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt) ein Projekt zur Entwicklung eines offenen und laufend erweiterbaren Verfahrens zur Evaluierung elektromagnetischer Felder gemäß der Richtlinie 2004/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates am Arbeitsplatz durch. Jedem Arbeitgeber ist durch diese Richtlinie die Verpflichtung auferlegt, die elektromagnetischen Felder an jedem Arbeitsplatz zu evaluieren. Dies stellt ihn naturgemäß vor sehr große Probleme, daher soll ein EDV Verfahren zu seiner Unterstützung entwickelt werden.

Im Wesentlichen geht es darum, dass die Quelldaten (elektrische und magnetische Felder in einem bestimmten Abstand von der Quelle) von verschiedenen Quellen in eine Datenbank eingegeben werden. Auf diese Informationen über die elektrischen und magnetischen Felder bestimmter Quellen wird dann zurückgegriffen, um die

Expositionskoeffizienten für bestimmte Arbeitsplätze zu bestimmen. Der Arbeitgeber braucht nur die am Arbeitsplatz eingesetzten Geräte und deren Abstand zum Arbeitsplatz eingeben, das EDV Verfahren wird dann die Expositionskoeffizienten bestimmen.

Die AUVA und Austrian Research Centers GmbH erleichtern damit den Arbeitgebern in Österreich den gesetzlich vorgeschriebenen Nachweis über die elektromagnetische Unbedenklichkeit einzelner Arbeitsplätze zu erbringen.

Ihr Vorteil wenn sie uns Unterstützen ist, dass alle Geräte die wir erfassen in der Datenbank gespeichert werden und somit auch im EDV Verfahren gelistet sind, dies bringt auch einen gewissen Werbewert mit sich.

Wir erwarten, dass die Expositionsbeiträge der einzelnen Bürogeräte sehr klein sein werden und auch die geforderte Summation der Beiträge der verschiedenen Geräte zu keinen Überschreitungen von Grenzwerten führen wird. Daraus ergibt sich auch für **Firmenname** die Möglichkeit einer breiten Öffentlichkeit zu kommunizieren, dass die Emission ihrer Elektrogeräte gering ist.

Im ersten Schritt führen wir diese Arbeiten für Büroarbeitsplätze durch. Um zu eruieren welche Geräte in Büros im Einsatz sind wäre es für uns sehr hilfreich zu wissen welche Hersteller und Gerätetypen **Firmenname seit 2004** verkauft hat. Für uns ist es auch wichtig in welchen Stückzahlen der Verkauf erfolgte um die Einsatzhäufigkeit und damit die Relevanz einzelner Gerätetypen feststellen zu können.

Wir suchen Informationen zu folgenden Kategorien in Büros eingesetzter Geräte:

- **PC und Notebook:** (keine Großrechner, keine Kleincomputer wie Game boy, MP3 Player, PDA,...)
- **Bildschirme:** typische PC Röhrenbildschirme, Flachbildschirme.
- **Drucker:** typische Bürodrucker. (keine Großformatdrucker, reinen Fotodrucker, Plotter,..)
- **Scanner:** typische Büros Scanner. (keine Großformats Scanner, Barcodescanner, Handscanner,..)
- **Kopierer/Faxgeräte:** typische Bürogeräte. (keine Großformate)
- **Schnurlostelefone:** DECT-Telefone (keine alten analoge)

- **W-LAN und Bluetooth:** in PC oder Notebook integrierte, Headsets, PC-Peripheriegeräte, Access points,..
- **Beleuchtungskörper:** Glühbirnen, Neonröhren, Energiesparlampen, Halogenlampen

Für uns am günstigsten wäre eine Darstellung im EXCEL- Format die wie unten aussehen könnte.

Hersteller	Gerätetyp/Bezeichnung	Verkaufsjahr	Stückzahl

Um im zweiten Schritt die Exposition infolge der elektrischen Geräte nach der Vornorm ÖVE/ÖNORM E8850 bestimmen zu können, benötigen wir abstandsabhängige, frequenzselektive Daten der elektromagnetischen Felder.

Hersteller	Gerätetyp/ Bezeichnung	Frequenz (Hz)	Entfern ung (m)	E (V/m)	H (A/m)	S (W/m ²)	SAR (W/kg)	Richt ung

Sind bei **Firmenname** schon solche Messungen durchgeführt worden und wenn ja, könnten Sie uns diese Daten zur Verfügung stellen?

Wenn es Ihnen möglich ist uns diese Informationen zur Verfügung zu stellen unterstützen Sie uns in unserem Vorhaben sehr.

Ich möchte mich schon im Voraus recht herzlich für Ihre Unterstützung bedanken und hoffe bald von Ihnen zu hören.

Mit herzlichen Grüßen

Gerhard Ozelsberger

Anhang E

E Messprotokoll

E.1 Verwendete Messgeräte

E.1.1 Elektrisches Feld: 5 Hz – 3 GHz

- Narda EFA 300: 5 Hz – 32 kHz
- Narda EHP 200: 9 kHz – 30 MHz
- SA + PCD 3100: 30 MHz – 75 MHz
- Narda SRM 3000: 75 MHz – 3 GHz

E.1.2 Magnetisches Feld: 5 Hz – 250 MHz

- NF System ELT 400: 1 Hz – 200 kHz
- Narda SRM 3000: 100 kHz – 250 MHz

E.2 Messaufbau

Es wird ein Tisch mit den Maßen H 80 cm, B 80 cm, T 80 cm mit einer Pressspanplatte als Tischplatte in die Mitte der Absorberhalle gestellt. Auf diesem werden die zu vermessenden Messobjekte platziert.

In unserem Fall ist die Halle 8 m lang, 4 m breit und 4 m hoch. Der Tisch wird mit seinem Mittelpunkt auf $x=4$ m und $y=2$ m gestellt. Die Höhe von nur 80 cm, statt mittig zwei Meter, wird gewählt da das Hantieren mit den Messobjekten bzw. den Sonden in zwei Metern Höhe zu aufwändig und auch gefährlich, wird.

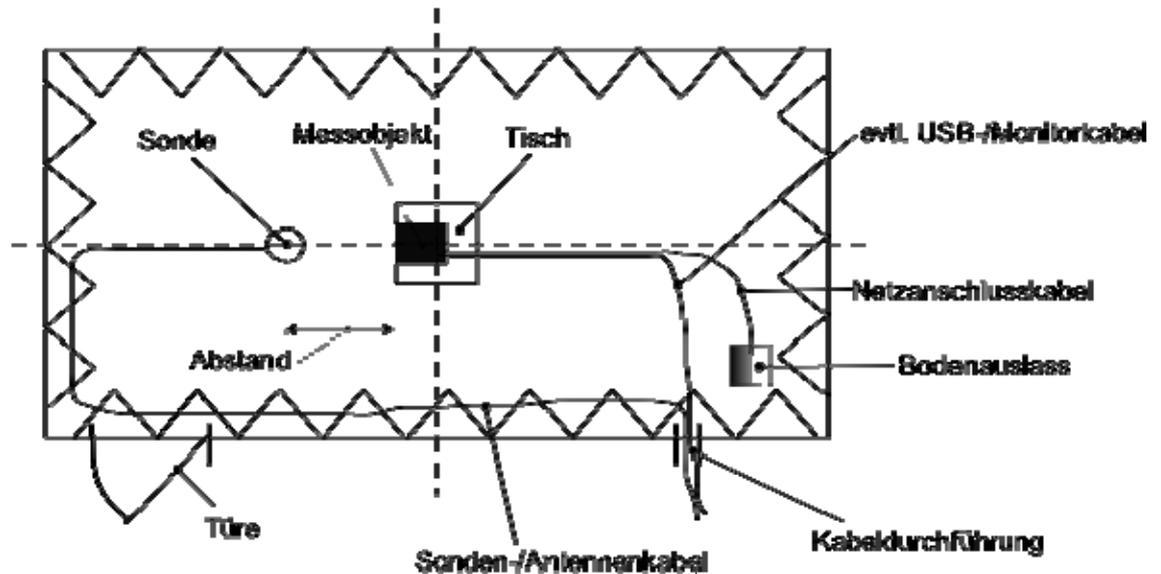


Abbildung E.2.1: Absorberhalle mit Messobjekt auf dem Tisch und Kabelkonfiguration.

Der Messaufbau ist wie in Abbildung E.2.1 gezeigt. Das Messobjekt wird mit seiner Front an der im Bild linken Tischkante bündig aufgestellt. Alle Anschlusskabel (Netzkabel, USB-Kabel, Monitorkabel, Schnittstellenkabeln) liegen möglichst gerade nach hinten (im Bild nach rechts), so dass die Kabel den kleinstmöglichen Einfluss auf die Feldverteilung haben. Metallische Kabel können Feldbilder verändern bzw. verzerren und es können auf ihnen auch Reflexionen auftreten.

Als Front des Messobjektes gilt jene Seite, von der aus die Bedienelemente in üblichem Gebrauch schriftrichtig gelesen werden können.

Die jeweilige Sonde/Antenne wird frontal (im Bild links) in entsprechendem Abstand auf einem geeigneten Stativ aufgestellt und der Freiraum am Boden wieder mit Absorbern aufgefüllt. Bei niederfrequenten Feldern sind die Absorber wirkungslos und können entfallen, die Absorberhalle wirkt dann wie ein Blechkäfig. Als geeignete Stative sind solche aus Holz oder Kunststoff zu sehen, die vom Hersteller zur Messung von elektromagnetischen Feldern ausgewiesen sind.

Der Abstand zwischen Sonde und Messobjekt wird als jener definiert, der vom Sondenmittelpunkt bis zur Oberfläche des Messobjektes gemessen wird. Um gleichbleibende Abstände zu gewährleisten, werden Abstandsstücke empfohlen, die zwischen Sondenoberfläche und Messobjekt gehalten werden können. Diese sind so

zu bemessen, dass sich zurückgerechnet auf den Sondenmittelpunkt die richtige Entfernung ergibt. Der genaue Messablauf wird weiter unten beschrieben.

Es ist sicher zu stellen, dass während der Messung die Türe geschlossen und etwaige Beleuchtungen, Lüftungen oder dergleichen in der Absorberhalle ausgeschaltet sind, um deren Einfluss auf die Messung auszuschließen.

E.3 Bezeichnungen

E.3.1 Seiten

Als **Front** des Messobjektes gilt jene Seite, von der aus die Schrift der Bedienelemente bei üblichem Gebrauch richtig gelesen werden kann. Sie wird mit **F** (Front) bezeichnet.

Als **linke Seite** wird jene definiert, die beim Anschauen der Frontseite links dieser anschließt. Sie wird mit **L** (links) bezeichnet.

Als **rechte Seite** wird jene definiert, die beim Anschauen der Front rechts dieser anschließt. Sie wird mit **R** (rechts) bezeichnet.

Als **hintere Seite** wird jene definiert, die der Front gegenüber liegt. Sie wird mit **H** (hinten) bezeichnet.

Als **obere Seite** wird jene definiert, die bei üblichem Gebrauch bzw. Aufstellung die Oberseite bildet. Sie wird mit **O** (oben) bezeichnet.

Als **untere Seite** wird jene definiert, die bei üblichem Gebrauch bzw. Aufstellung die Unterseite bildet. Sie wird mit **U** (unten) bezeichnet.

E.3.2 Positionsbezeichnung

Um später feststellen zu können, an welcher Position an der Geräteoberfläche gemessen wurde, wird eine Positionsbezeichnung der einzelnen Messpunkte relativ zur Geräteoberfläche definiert. Es wird vom Betrachter aus auf das Messobjekt geschaut, als Nullpunkt auf jeder Seite gilt die linke untere Ecke. Von ihr aus werden horizontal nach rechts die X-Achse und vertikal nach oben die Y-Achse gebildet. Die Werte von X und Y werden in Zentimeter ganzzahlig angegeben und so die Position des Messpunktes festgehalten. Dies wird in Abbildung E.3.1 gezeigt.

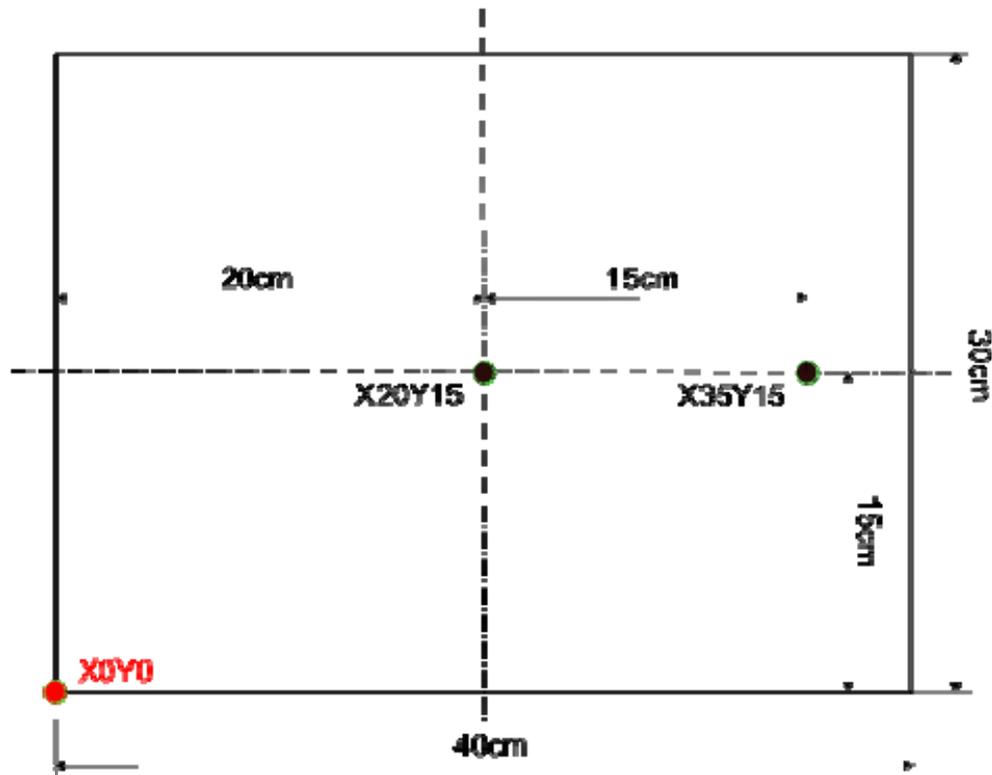


Abbildung E.3.1 Zur Bezeichnung der Messpunkte bei Draufsicht auf die jeweilige Seite des Messobjektes.

E.3.3 Abstand

Der Abstand zwischen Messobjekt Oberfläche und Sondenmittelpunkt wird in cm angegeben.

E.3.3.1 E-Feld

Im inhomogenen Feld von Strahlungsquellen und benachbarter Streukörper sind die inhomogene Feldverteilung ohne die Sonde und die Verzerrung der Strombelegung auf der Sondenstruktur zu berücksichtigen. Ohne genaue Kenntnis der Quellen und Streufelder ist es nicht möglich, zuverlässige Aussagen über die Messabweichung eines Sondentyps anzugeben. Aus diesem Grund ist es für den Messpraktiker sinnvoller, einen Mindestabstand einzuhalten, der sich an der Sondenlänge orientiert: Für eine Abweichung kleiner als $\pm 20\%$ sollte der Abstand von Sonde zum Streukörper mehr als das Zweifache der Sondenlänge betragen.

Wird ein Mindestabstand vom Zweifachen der Sondengröße eingehalten, so ist die Verzerrung der Strombelegung zu vernachlässigen. Ab dieser Entfernung ist nur noch die umgebende Feldinhomogenität für die Messabweichung ausschlaggebend. (Monien, 2003)

E.3.3.2 H-Feld □

Isotrope Freiraumsonden werden häufig durch Montage der einzelnen Schleifenelemente auf einem Sondenrumpf realisiert. Die nutzbare Bandbreite dieser Sonden wird durch die Gesamtausdehnung bestimmt, nicht durch den Radius der deutlich kleineren Schleifenelemente. Der Versatz der Schleifenelemente führt innerhalb der nutzbaren Bandbreite zwar zu keiner Anisotropie der Sonde, kann jedoch in inhomogenen Feldern zu einer Messabweichung führen. Nahe von Streustrukturen ist aus diesem Grund ein Abstand von mindestens einer Sondengröße einzuhalten (Monien, 2003). Dieser Abstand ist vom Sensorrand zur Umgebungsstruktur gewählt. Simulationen ergaben, dass dann die Messabweichung unter 5 % liegt.

E.3.4 Zusammenfassung

Aus den in diesem Abschnitt definierten Positionsbezeichnungen, Seiten und Abständen wird eine einheitliche Bezeichnung der einzelnen Messpunkte eingeführt:

z.B.: **X20Y15L10**

Hier bedeutet **X20Y15** die Position, L die linke Seite und 10 den Abstand in cm vom Sondenmittelpunkt zur Messobjekt-Oberfläche. Diese Bezeichnung sollte im Namen der abgespeicherten Messdateien vorkommen, um ein leichtes Wiederfinden zu gewährleisten.

Vorgeschlagen wird folgende Namensgebung der Dateien:

<Projektbezeichnung> <Bezeichnung der Sonde> <E/H-Feld> <Benennung des Messobjektes> <Messpunkt> <Kommentar>

z.B.: EMES_EFA-300_E_HP_Laser_Jet_5_X20Y15F10_drucken

oder

EMES_EFA-300_E_HP_Laser_Jet_5_X20Y15F10_standby

E.4 Messung

E.4.1 Ablauf

E.4.1.1 Ermittlung des „Worst-Case“-Betriebszustandes des Messobjektes

Die zu untersuchenden Betriebszustände sind aus dem Verständnis der prinzipiellen Funktionsweise des Messobjektes abzuleiten. So können beispielsweise bei einem Laserdrucker der Standbybetrieb, die Aufwärmphase und das Drucken unterschieden werden.

Es ist der „Worst Case“-Betriebszustand zu ermitteln, bei dem die größten Feldstärken bezogen auf den frequenzabhängigen Referenzwert aus der ÖNORM E 8850 gemessen werden. Die meisten Messgeräte können direkt den Expositionskoeffizienten über ihren gesamten Messbereich bestimmen und in % zur Anzeige bringen. Es ist darauf zu achten, dass der Betriebszustand realistisch ist, d.h. im praktischen Betrieb vorkommt. Für die weiteren Messungen ist das Messobjekt in diesem Zustand zu betreiben, die Unterschiede in der Exposition bei unterschiedlichen Betriebszuständen sind zu dokumentieren.

Jede Sonde/Antenne wird in geeigneter Weise mit der Hand über die Oberfläche des Messobjektes geführt, dabei werden die verschiedenen Betriebszustände nacheinander vermessen und der Worst-Case-Zustand ermittelt. „In geeigneter Weise“ kann je Sonde eine andere Vorgehensweise verlangen, diese wird in den Abschnitten E.4.2 und E.4.3 einzeln für jede Sonde unter „Messung des Expositionskoeffizienten“ beschrieben.

Ist das abscannen mit der Hand nicht möglich wird die Sonde/Antenne auf ein Stativ gestellt und in den jeweiligen Seitenmitten des Messobjektes positioniert. Es sollte ein Abstand wie unter E.3.3 beschrieben eingehalten werden, also eine Sondenabmessung bei magnetischen Feldern und zwei Sondenabmessungen bei elektrischen Feldern.

E.4.1.2 Hintergrundfelder □

Mit jeder Sonde/Antenne müssen die Hintergrundfelder innerhalb des räumlichen Messbereichs bei abgestecktem Messobjekt durchgeführt werden. Dazu wird das Messgerät im Modus „Frequenzselektive Messung“ betrieben. Die Ergebnisse sind

mit dem Kommentar „Noise“ zu versehen und im Dateiordner zu den Messwerten abzuspeichern. Mögliche Eigenfelder von Messgeräten sind zu berücksichtigen.

E.4.1.3 Sondierungsmessungen □

Die jeweilige Sonde/Antenne wird mit dem Handgerät, wenn möglich im frequenzselektiven Modus, ansonsten im Breitbandmodus betrieben. Bei Messgeräten, die frequenzselektiv messen können, müssen die Einstellungen der RBW, Sweeptime,... so getroffen werden, dass eine so kurze Messzeit zustande kommt, dass ein abschannen des Messobjektes mit der Hand möglich wird ($t < 0.5$ s). Die genauen Einstellungen werden in den Abschnitten 0 und E.4.3 unter „Handscan“ beschrieben. Nun wird eine Seite nach der anderen händisch abgescantt. Sind hier keine Unterschiede zum Rauschen festzustellen ist die Messung beendet und es wird mit der nächsten Sonde/Antenne fortgefahren.

Wenn mit dem „Handscan“ keine Ergebnisse erzielt werden, ist die Sonde/Antenne in den Flächenmitten der jeweiligen Messobjekt -Seite in unter E.3.3 beschriebenem Abstand zu positionieren und das Messobjekt im Worst-Case-Zustand zu betreiben. Das Messgerät wird im Modus „Frequenzselektive Messung“ betrieben. Diese Messungen werden mit den Hintergrundfeldern (Noise) verglichen. Sind hier keine Feldunterschiede auszumachen, ist damit die Messung mit dieser Sonde/Antenne, beendet und der gleiche Ablauf beginnt mit der nächsten Sonde/Antenne bis das ganze Frequenzspektrum vermessen ist.

E.4.1.4 „Hot Spot“ Suche

Wurden unter E.4.1.3 „Sondierungsmessungen“ Felder festgestellt, die nicht mehr dem Rauschen zuzuordnen sind, wird an jeder Seite des Messobjektes der „Hot Spot“ gesucht. Unter „Hot Spot“ versteht man jenen Punkt an der Geräteoberfläche, an dem der größte Feldwert in Bezug auf den Referenzwert der ÖNORM E 8850 auftritt. Die Sonden werden, wenn möglich, wieder im Modus „Messung des Expositionscoeffizienten“ betrieben und über die Seiten des Messobjektes geführt. An der Stelle des höchsten Expositionswertes ist der „Hot Spot“. Der Expositionscoeffizient an der Geräteoberfläche kann unverhältnismäßig hohe Werte annehmen, da durch Verkopplungen der Antenne mit Strukturen in ihrer Nähe und

andere Faktoren die absoluten Messwerte stark beeinflusst werden. Dies ist genau in (Monien, 2003) nachzulesen. Es hat sich jedoch bei den Voruntersuchungen zu diesem Messprotokoll gezeigt, dass zwar die gemessenen Absolutwerte der Felder unbrauchbar sind, aber der Ort ihres Maximums zuverlässig gefunden werden kann.

Von den so gefundenen Punkten wird dann normal zur Oberfläche der Feldabnahmeverlauf nach E.4.1.5 gemessen.

Werden beim scannen mit der Hand keine Ergebnisse erzielt bzw. ist dies nicht möglich, muss mit dem Abrastern der Geräteoberfläche fortgefahren werden.

Bei der Rasterung wird die Sonde/Antenne in 15 cm Entfernung von der Geräteoberfläche aufgestellt. Vom der Flächenmitte ausgehend werden in 15 cm Abständen in alle Richtungen Punkte des Rasters definiert. Es wird nun an jedem Punkt gemessen, die Messwerte verglichen und so in grober örtlicher Auflösung versucht den „Hot Spot“ zu ermitteln.

Bei großen Sonden/Antennen können gegebenenfalls einzelne Punkte ausgelassen werden, es sollte jedoch eine Auflösung von ca. 1,5 Sonden/Antennenabmessungen eingehalten werden. Bei unseren Messungen hat die kleinste Sonde einen Durchmesser von 10cm, deswegen wurde ein Abstand der Messpunkte von 15 cm gewählt.

Das Messobjekt hat die Abmessungen 40 x 30 cm. Es wird ein Abstand der Messpunkte von 15 cm aufgrund der Abmessungen der kleinsten Sonde gewählt. Somit gibt es 9 Messpunkte pro Seite. Wird nun in mit einer Antenne mit einer Abmessung von 20 cm gemessen, so reicht es, an zwei Punkten(X5Y15, X35Y15) zu messen, da auch so der maximale Abstand von 1,5 Antennenabmessungen eingehalten wird.

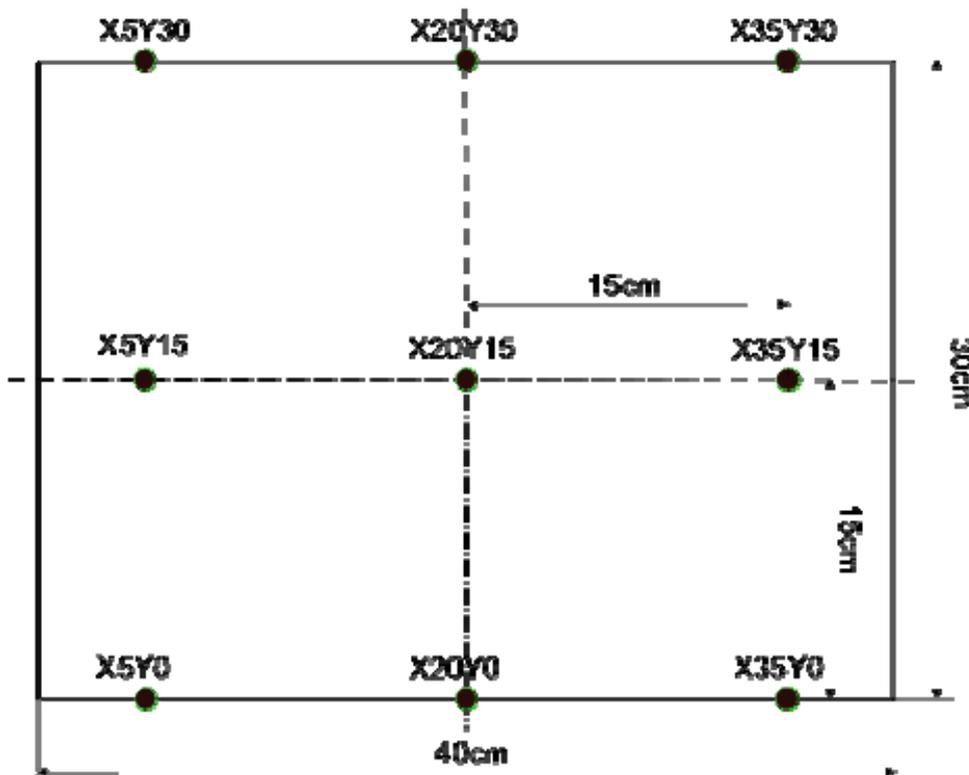


Abbildung E.4.1 Beispiel für Messpunkte beim Abrastern der Messobjekt-Oberfläche. Es wird in 15 cm Schritten vom Flächenmittelpunkt in X und Y Richtung gemessen.

Aus den Messdaten der Rasterung ist wieder der „Hot Spot“ zu suchen und von dort ein Tiefenprofil anzufertigen.

E.4.1.5 Feldabnahmeverlauf

An den Stellen der „Hot Spots“ der jeweiligen Seite wird normal zur Oberfläche die Abnahme der Felder gemessen. Hierzu werden die Messgeräte im Modus frequenzselektive Messung betrieben.

Zuerst wird mit einem Prescan die Abnahme des Feldes am „Hot Spot“ bis zur Messgrenze festgestellt. Der Abstand in dem nur noch die Hintergrundfelder, aber keine Feldkomponenten des Messobjektes mehr zu messen sind wird ermittelt, jedoch nur bis zu maximal 1 m Entfernung zum Messobjekt. Diese Entfernung dient als Grundlage zur Bestimmung der Messpunkte zur Messung des Feldabnahmeverlaufes. Um den Feldabnahmekoeffizienten bestimmen zu können, sollten die Messpunkte möglichst gleichmäßig über die Abnahmekurve verteilt sein.

Siehe

dazu

Abbildung E.4.2.

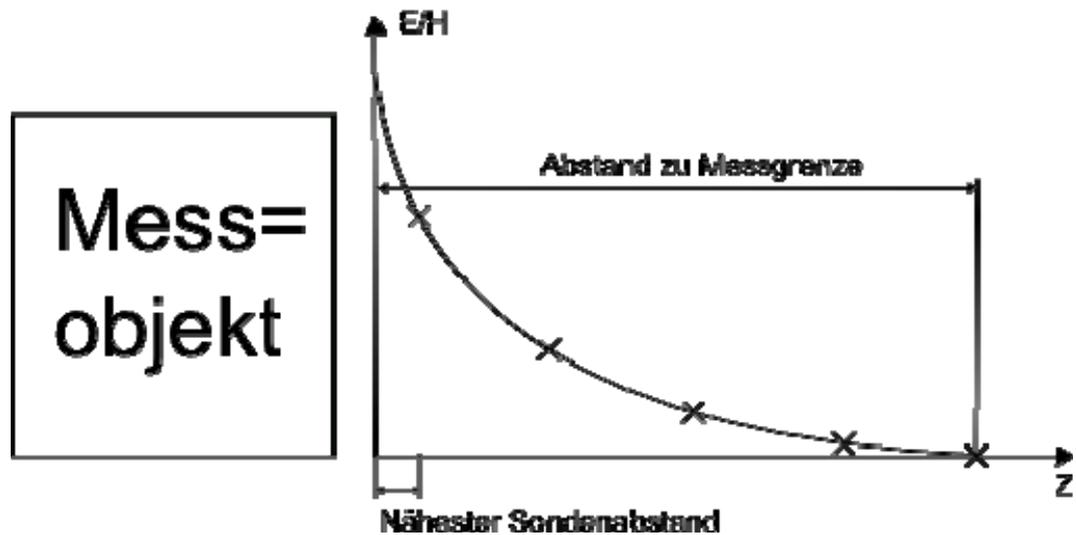


Abbildung E.4.2 Beispielhafte Feldabnahme mit zunehmendem Abstand zum Messobjekt. Eingezeichnet sind die Stützstellen zum berechnen des Feldabnahmekoeffizienten.

Ein kleines Beispiel:

Es wird mit einer Sonde mit 10 cm Durchmesser gemessen, in 70cm Entfernung vom Messobjekt sind keine Felder mehr zu messen.

$$70 \text{ cm} - 10 \text{ cm} \cdot 1,5 = 55 \text{ cm}$$

$$55/4 = 13,75 \rightarrow \text{ca. } 14 \text{ cm}$$

Der erste Messpunkt ist bei 15 cm, der zweite bei $15 + 14 = 29$ cm, der dritte bei 43 cm und so weiter.

E.4.2 H-Feld

E.4.2.1 ELT 400

Einstellungen:

Messung des Expositionskoeffizienten:

Die Magnetfeldsonde wird mittels Verlängerungskabel auf das Handgerät aufgesteckt und eingeschaltet. Mit der Taste „MODE“ „ICNIRP 1998 Gen. Pub.“

auswählen, mit „DETECT“ auf „RMS“-Detektion stellen, mit „LOW CUT“ auf „1 Hz“ und „RANGE“ auf „low“ stellen.

Das Messgerät ist möglichst weit vom Körper entfernt zu halten und die Oberfläche des Messobjektes abzufahren.

Handscan: Ein frequenzselektiver Scan mit dem Handgerät ist hier nicht möglich, es muss eine frequenzselektive Messung an den Flächenmitten der jeweiligen Seiten des Messobjektes vorgenommen werden.

Frequenzselektive Messung:

Das „NF Messsystem“ wird eingeschaltet und mit dem beiliegenden Kabel mit dem Handgerät verbunden, auf dieses wird mittels Verlängerungskabel die Magnetfeldsonde aufgesteckt. Jetzt muss der Messrechner eingeschaltet werden, der dann mit dem NF Messsystem verbunden wird.

Am Handgerät sind folgende Einstellungen vorzunehmen:

Mit der Taste „MODE“ auf „320 μ T“ stellen und mit „RANGE“ auf „low“ gehen. Als „LOW CUT“ wird „1 Hz“ eingestellt, mittels „DETECT“ wird auf „RMS“ geschaltet und „MAX HOLD“ wird deaktiviert.

Zuerst wird das Programm „Pfadsetzer.exe“ gestartet. Unter „Pfad für Messdaten“ wird der gewünschte Ablageort der Messdaten angegeben.

Unter „Pfad für die Messeinstellungen“ ist auf unserem System immer folgender Pfad einzugeben: D:\NF System Anwendung\PXI_neu\Konfig

Unter „Pfad für die Sondendaten (Kalibr., Offset, Linearität“ ist auf unserem System immer folgender Pfad anzugeben: D:\NF System Anwendung\PXU_neu\Sonden

Mit „Speichern & Beenden“ werden die Pfade gesetzt.

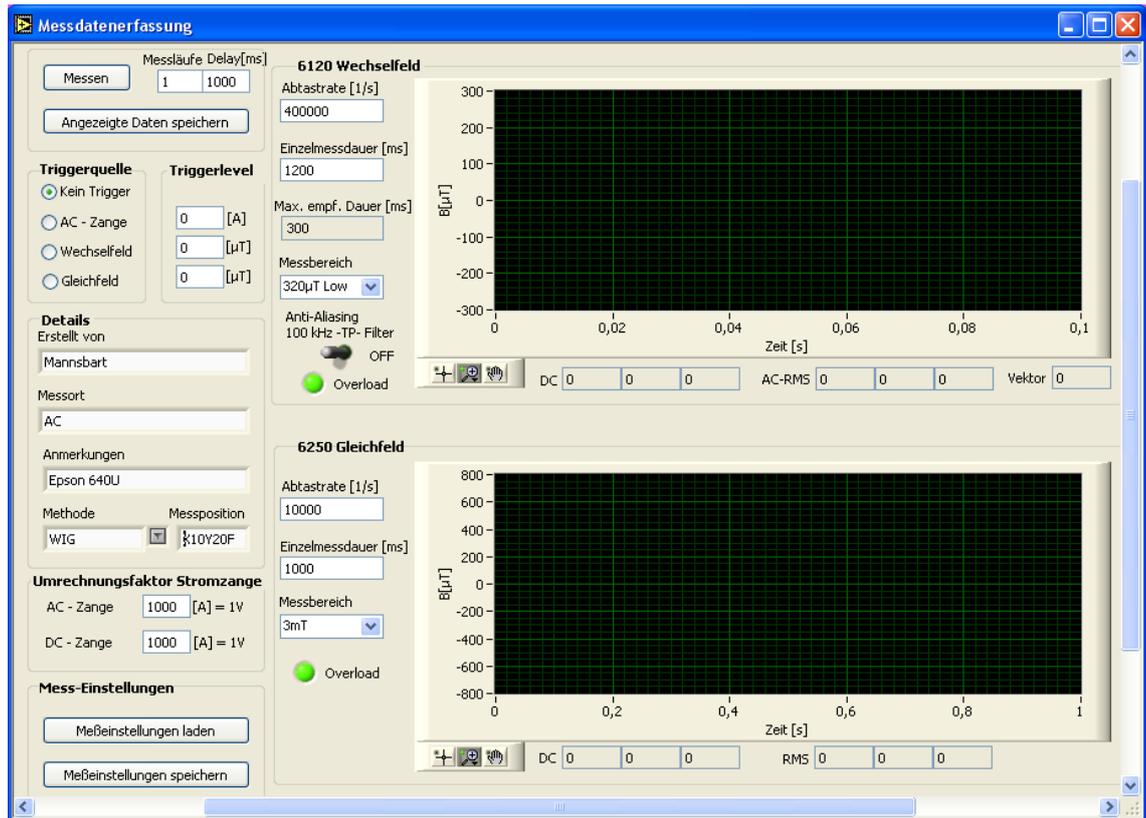


Abbildung E.4.3 Screenshot Messdatenerfassung und ihre Einstellungen.

Nun wird das Programm „Messdatenerfassung.exe“ gestartet. Als „Abtastrate [1/s]“ wird „400000“ eingestellt und die „Einzelmessdauer [ms]“ auf „1200“ gestellt, „Messbereich“ ist „320 μ T low“.

Im Abschnitt „Details“ wird der Name des Messtechnikers eingetragen, unter „Messort“ die Absorberhalle „ABH“, bei „Anmerkungen“ wird die Gerätebezeichnung angegeben und unter „Messposition“ die in Abschnitt E.3.2 definierte Positionsbezeichnung eingetragen.

Diese Daten können unter „Messeinstellungen speichern“ abgespeichert werden und später wieder geladen werden.

Um die Messung zu starten wird der Button „Messen“ betätigt und nach beendeter Messung auf „Angezeigte Daten speichern“ gedrückt.

Um nun eine FFT der Messdaten durchführen zu können, wird das Programm „Messdatenverarbeitung“ gestartet. Hier werden unter „Pfad zur Rohdatendatei“ die

vorher gespeicherten Messdaten gesucht und die Datei mit der Endung „..._WF.acq“ ausgewählt. Bei „Pfad zur Sondenkalibrierungsdatei“ wird „e0614.cal“ ausgewählt.

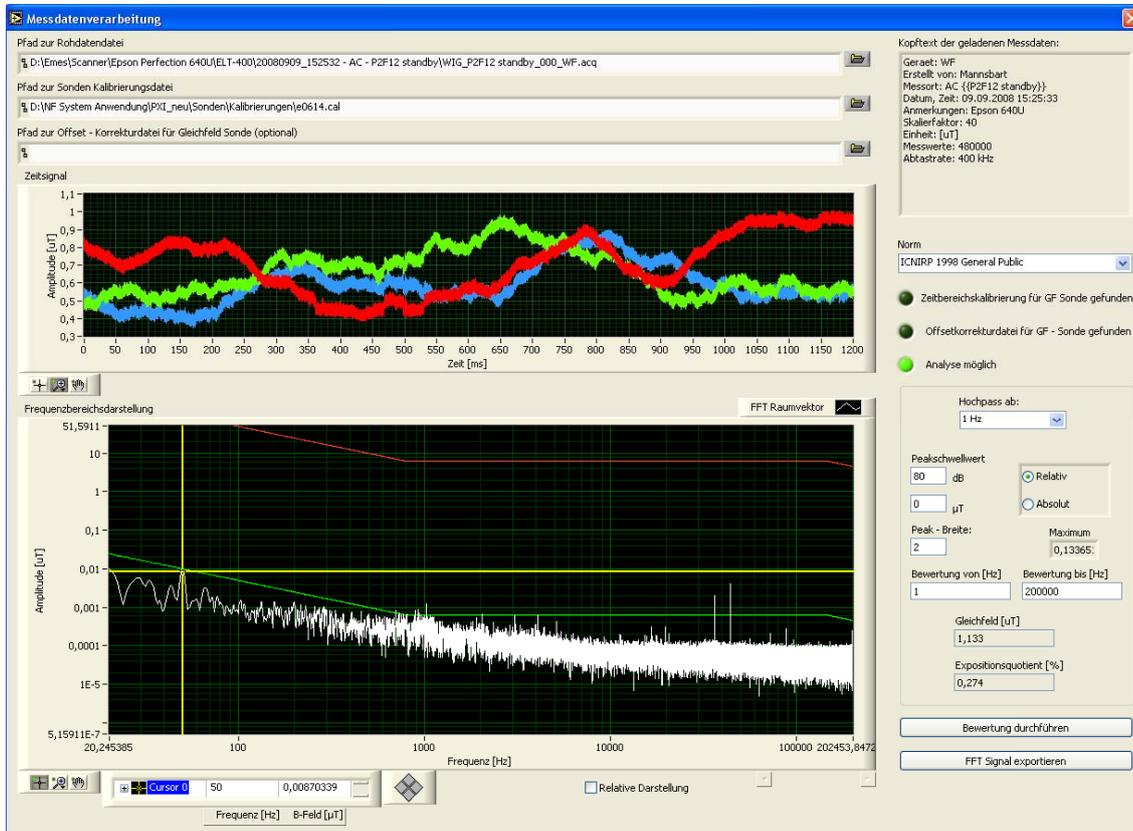


Abbildung E.4.4 Screenshot Messdatenverarbeitung und seine Einstellungen.

Auf der rechten Seite die „Norm“ „ICNIRP 1998 General Public“ auswählen. Bei „Hochpass ab:“ „1 Hz“ einstellen, „Peakschwellwert“ auf „80 dB“ setzen und „Bewertung von [Hz]“ auf 1 Hz bis 200000 Hz stellen. Die restlichen Einstellungen werden auf ihren Standardwerten gelassen. Jetzt auf „Bewertung durchführen“ klicken, warten bis die Berechnungen abgeschlossen sind und auf „FFT Signal exportieren“ drücken.

Einstellungen Sonde: 1 Hz Filter (3dB), 320 μ T, low (sofern keine großen Felder zu vermuten sind), RMS, Live Modus

Einstellungen SW: Abtastrate 400000 (für max. Frequenzbereich 200 kHz), Messdauer 1200 ms

E.4.2.2 SRM 3000 mit H Feld Antenne

Einstellungen:

Messung des Expositionskoeffizienten:

Die H-Feldsonde wird auf das SRM-3000 aufgesteckt und verbunden, nun wird das Gerät mittels „ON/OFF“-Schalter eingeschaltet. Mit der Taste „MODE“ gelangt man in ein Menü, wählt „Spectrum Analysis“ aus und bestätigt mit „ENT“. Um eine kurze „Sweep Time“ zu erreichen, wird der mögliche Frequenzbereich zweigeteilt von 100 kHz bis 10 MHz und von 10 MHz bis 250 MHz. Es wird am Bildschirmmenü „Fmin“ bzw. „Fmax“ ausgewählt und die entsprechende Frequenz eingegeben. Unter „RBW“ wird im niedrigen Frequenzbereich 10 kHz und im höheren 100 kHz eingestellt. „Meas. Range“ wird mittels Stellrad auf „129 dB μ V/m“ gestellt und als „Resolut type“ wird „AVG“ gewählt. Mit der Taste „UNIT“ wird im Menü „%“ ausgewählt. Mit der Taste „CONF“ kann unter „Standard“ „ICNIRP 1998 general public“ eingestellt werden. Nun auf die Taste „EVAL“ drücken und „Integration over a frequency band“ auswählen. Am Display rechts oben kann jetzt unter „Value“ der Expositionskoeffizient in % abgelesen werden.

Handscan:

Die H-Feldsonde wird auf das SRM-3000 aufgesteckt und verbunden, nun wird das Gerät mittels „ON/OFF“-Schalter eingeschaltet. Mit der Taste „MODE“ gelangt man in ein Menü, wählt „Spectrum Analysis“ aus und bestätigt mit „ENT“. Um eine kurze „Sweep Time“ zu erreichen wird der mögliche Frequenzbereich zweigeteilt. Einmal von 100 kHz bis 10 MHz und ein anderes mal von 10 MHz bis 250 MHz. Es wird am Bildschirmmenü „Fmin“ bzw. „Fmax“ ausgewählt und die entsprechende Frequenz eingegeben. Unter „RBW“ wird im niedrigen Frequenzbereich 10 kHz und im höheren 100 kHz eingestellt. „Meas. Range“ wird mittels Stellrad auf „129 dB μ V/m“ gestellt und als „Resolut type“ wird „AVG“ gewählt. Bei „Meas. Range“ ist Vorsicht geboten, wenn größere Felder gemessen werden. Es sollte zuerst der größte mögliche Messbereich eingestellt werden (167 dB μ V/m) und dann abhängig von den gemessenen Feldstärken ein kleinerer Messbereich gewählt werden.

Frequenzselektive Messung:

Die H-Feldsonde wird mit dem Antennenkabel und dieses mit dem SRM-3000 verbunden. Weiters wird eine Verbindung zwischen der seriellen Schnittstelle des Rechners und des SRM-3000 hergestellt. Nun wird das SRM-3000 eingeschaltet. Das Programm „Nose Pro_v3.1.5“ starten, auf den Button „Station Manager“ klicken und auf „Setup“ gehen. Jetzt unter „File“ „New“ auswählen und weiter auf die Registerkarte „Hardware“ drücken. Dort unter „Spectrum Analyzer“ das SRM-3000 auswählen und unter „Interface“ auf „COM1“ stellen. Bei „Positioning“ „SRM Probe“ auswählen. Bei „Antenna Factor File“ und „Cable Factor File“ können die Häkchen weggelassen werden, da die Korrekturfaktoren schon im SRM-3000 gespeichert sind und dort berücksichtigt werden. Jetzt auf die Registerkarte „Measurement Settings“ gehen und in der Spalte „Name“ „SRM H“ eingeben. Mit der rechten Maustaste „Settings...“ auswählen und folgende Einstellungen vornehmen:

Start Frq.: 0.1 MHz Stop Frq.: 10 MHz RBW: 10 kHz VBW: auto
Attenuation: -27 dBm Detector: max

und in einer zweiten Zeile,

Start Frq.: 10 MHz Stop Frq.: 250 MHz RBW: 100 kHz VBW: auto
Attenuation: -27 dBm Detector: max

Die Registerkarte „Method“ auswählen, unter „Method for each trace sweep“ „Use Average“ einstellen und bei „Repeat“ 10 times eingeben. Mit „OK“ bestätigen und kontrollieren, ob in „SRM H“ unter „Active“ ein Häkchen gesetzt ist. Mit „OK“ bestätigen und die Fehlermeldung bezüglich des Antennenfaktors ignorieren. Diese Einstellungen bleiben gespeichert und können beim nächsten Programmstart wieder abgerufen werden.

Mit der „START“-Taste im „Station Manager“ kann nun die Messung begonnen werden. Ist die Messung beendet steht unter „Status“ „finished“. Den Button „Data“ drücken und die letzte Zeile markieren. Jetzt auf „Download“ drücken und das Fenster wieder schließen, im Hauptfenster erscheint rechts unten das neue Messfile. Wird in der Checkbox daneben ein Häkchen gesetzt, so werden die Messergebnisse graphisch dargestellt. Mit der rechten Maustaste kann der Name der Datei geändert werden. Es ist darauf achten, dass nur das gewünschte Ergebnis ausgewählt ist und

auf „Graph Data“ drücken. Es geht ein Fenster auf, dort weiter mit „Export“, den Dateinamen angeben und im gewünschten Ordner speichern.

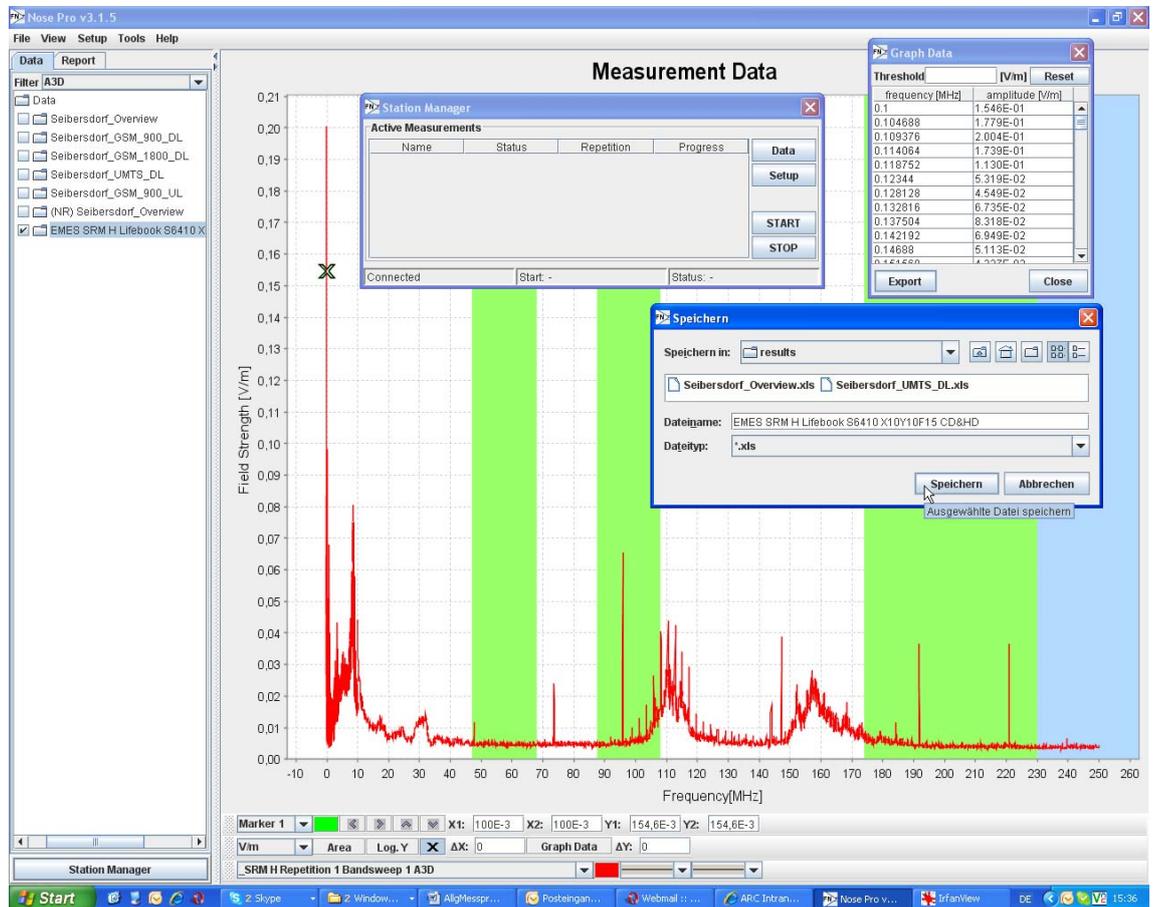


Abbildung E.4.5 Screenshot SRM-3000 mit H-Feldsonde im Frequenzbereich von 100 kHz bis 250 MHz.

E.4.3 E-Feld

E.4.3.1 EFA-300

Während der Messung sollte immer der Pfeil der X-Achse des aufgezeichneten Achsenkreuzes in Richtung Messobjekt zeigen. Somit wird gewährleistet, dass kein zusätzlicher Fehler aufgrund unterschiedlicher Ausrichtung der Sonde auftritt.

Einstellungen:

Messung des Expositionskoeffizienten:

Für den Handscan ist der E-Feld Würfel auf eine Verlängerung aufzuschrauben, in unserem Fall auf die schwarze PVC Stange(50 cm). Der Würfel ist mit dem EFA-300 Handgerät zu verbinden und beide Geräte sind einzuschalten. Warten bis die E-Feldsonde erkannt wurde. Hier treten öfters Schwierigkeiten auf! (Steckrichtung kontrollieren, mehrfach ein-/ausstecken)

Die Taste „Mode“ drücken, im Menü „EXPOSURE STD“ auswählen und mit „ENTER“ bestätigen. Dann unter „CONF“, „STANDARDS“ den entsprechenden Standard auswählen. In unserem Fall „ICN98 GNPUB“.

Unter „F3“ auf „LIVE“ stellen, der Frequenzbereich 5 Hz-32 kHz ist automatisch eingestellt.

Den Würfel mittels der Stange so weit als möglich vom Körper fernhalten und die Oberfläche langsam abscannen, dabei sollte die X-Achse zum Messobjekt zeigen. Durch Beobachten des Displays lässt sich die Stelle mit dem höchsten Expositionskoeffizienten auffinden.

Handscan:

Für den Handscan ist der E-Feld Würfel auf eine Verlängerung aufzuschrauben, in unserem Fall auf die schwarze PVC Stange(50 cm). Der Würfel ist mit dem EFA-300 Handgerät zu verbinden und beide Geräte sind einzuschalten. Warten bis die E-Feldsonde erkannt wurde. Hier treten öfters Schwierigkeiten auf! (Steckrichtung kontrollieren, mehrfach ein-/ausstecken)

Die Taste Mode drücken und im Menü „Spectrum FFT“ auswählen. Auf den oberen 4 Tasten F1 bis F4 „Range Auto“, „ACT RMS“, „LIVE“ und „40 Hz-32 kHz“ einstellen.

Den Würfel mittels der Stange so weit als möglich vom Körper fernhalten und die Oberfläche langsam abschannen, dabei sollte die X-Achse zum Messobjekt zeigen. Durch Beobachten des Displays lässt sich die Stelle mit dem höchsten Feldwert finden (Hot Spot).

Frequenzselektive Messung:

Die E-Feldsonde (gelber Würfel) mittels Lichtwellenleiter(LWL) und RS232-Adapter mit dem Computer verbinden und die Sonde am Einschaltknopf einschalten, so dass die grüne LED leuchtet. Am Messcomputer das Programm „EFA-TS Remote“ starten, den richtigen COM-Port (COM 2) auswählen und die Verbindung zum Würfel aufbauen. Die Registerkarte „FFT“ anklicken.

Es sind folgende Einstellungen vorzunehmen: Auf die Registerkarte „Configuration“ klicken. Display auf „LIVE“, Meas. Range auf „AUTO“, Detection auf „ACT RMS“, Filter entsprechend auf „5 Hz..2 kHz“ oder auf „ 40 Hz..32 kHz“, Spectrum auf „absolute“, Channels auf „ISOTROPIC“, No. of avrg FFT auf „4“ stellen.

Nun muss gewartet werden, bis die Einstellungen übernommen worden sind und am Bildschirm links oben der Aufnahmeknopf (Pfeil) grün wird. Auf den Aufnahmeknopf drücken und warten, bis die Messung abgeschlossen ist. Jetzt wird das Registerblatt „Storing into Database“ ausgewählt und der Button „Single“ angeklickt. Damit wird die Messung in der Database gespeichert. Der gleiche Vorgang wird mit dem zweiten Frequenzbereich wiederholt.

Auf den Reiter „Database“ klicken und mit der rechten Maustaste „EFA-300...“ anklicken, dann „Export to File“, „All“ und „OK“ einen Dateinamen auswählen und abspeichern. Nun wieder mittels rechter Maustaste „EFA-300...“ und zum Löschen „Erase“ klicken.

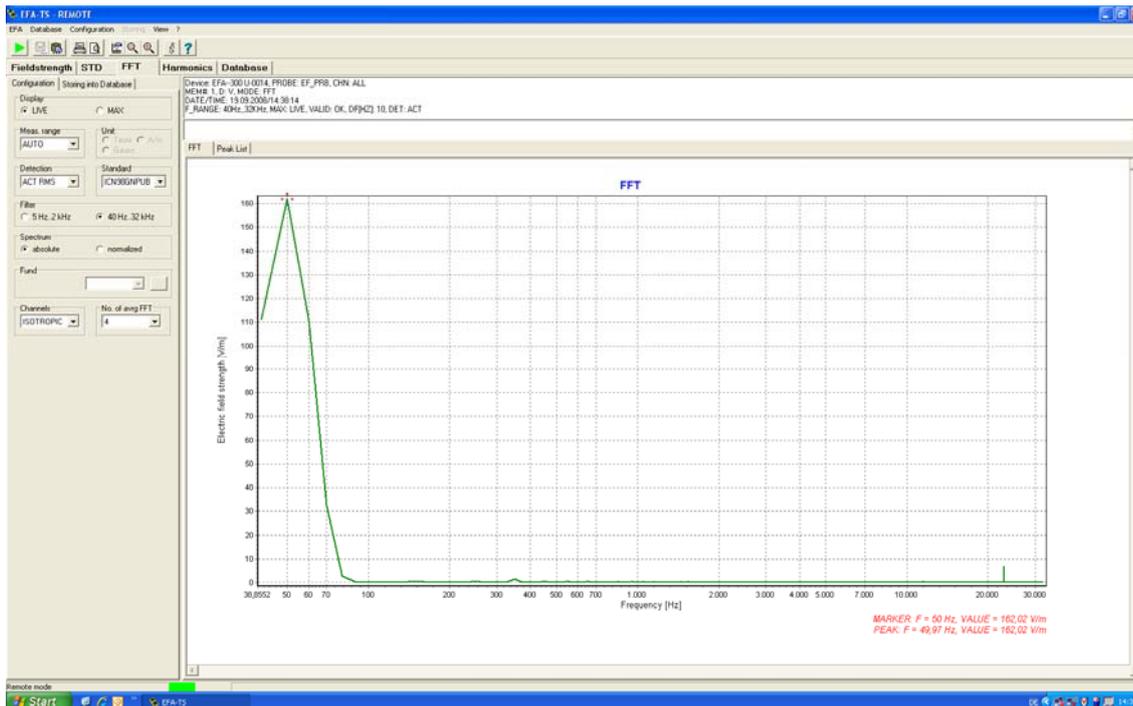


Abbildung E.4.6 Screenshot EFA-TS-Remote mit Einstellungen.

E.4.3.2 EHP 200

Während der Messung sollte immer der Pfeil der X-Achse des aufgezeichneten Achsenkreuzes in Richtung Messobjekt zeigen. Somit wird gewährleistet, dass kein zusätzlicher Fehler aufgrund unterschiedlicher Ausrichtung der Sonde auftritt.

Einstellungen:

Messung des Expositionscoeffizienten:

Die Software zu diesem Messgerät ist nicht in der Lage, einen Expositionscoeffizienten zu berechnen. Daher muss der Messtechniker selber anhand der Abstände zur Limtkurve abschätzen, wo die größte Exposition auftritt. Die Verwendung des Messgerätes und die Einstellungen werden wie unter „Handscan“ beschrieben vorgenommen.

Handscan:

Für den Handscan ist des EHP-200 auf eine Verlängerung aufzuschrauben, in unserem Fall auf die schwarze PVC Stange(50 cm).

Des EHP-200 wird auf die mittels Lichtwellenleiter und USB-Adapter an den Rechner angeschlossen und das Programm „EHP200.exe“ gestartet. Im Registerblatt „Sweep“ als Start-Frequenz wird „0.09 MHz“ und als Stop-Frequenz „30 MHz“ angegeben. Die „RBW“ auf „300 kHz“ stellen.

Im Registerblatt „Mode“ auf „Free Scan“, „Electric“ und „V/m“ stellen.

Im Registerblatt „Limit“ „ICN98GenPub“ auswählen und das Häkchen bei „ON“ setzen.

Des EHP-200 mittels der Stange so weit als möglich vom Körper fernhalten und die Oberfläche langsam abschnappen, dabei sollte die X-Achse zum Messobjekt zeigen. Durch Beobachten des Displays lässt sich die Stelle mit dem höchsten Expositionscoeffizienten auffinden.

Frequenzselektive Messung:

Das EHP-200 ist auf einem geeigneten Stativ vor dem Messobjekt zu positionieren.

Das EHP-200 wird mittels Lichtwellenleiter und USB-Adapter an den Rechner angeschlossen und das Programm „EHP200.exe“ gestartet. Im Registerblatt „Sweep“ wird als Start-Frequenz „0.09 MHz“ und als Stop-Frequenz „30 MHz“ angegeben. Die „RBW“ auf „30 kHz“ stellen.

Im Registerblatt „Mode“ auf „Free Scan“, „Electric“ und „V/m“ stellen.

Im Registerblatt „Limit“ „ICN98GenPub“ auswählen und das Häkchen bei „ON“ setzen.

Im Registerblatt „Data“ auf „Save As Text“ klicken und die Datei im gewünschten Ordner abspeichern.

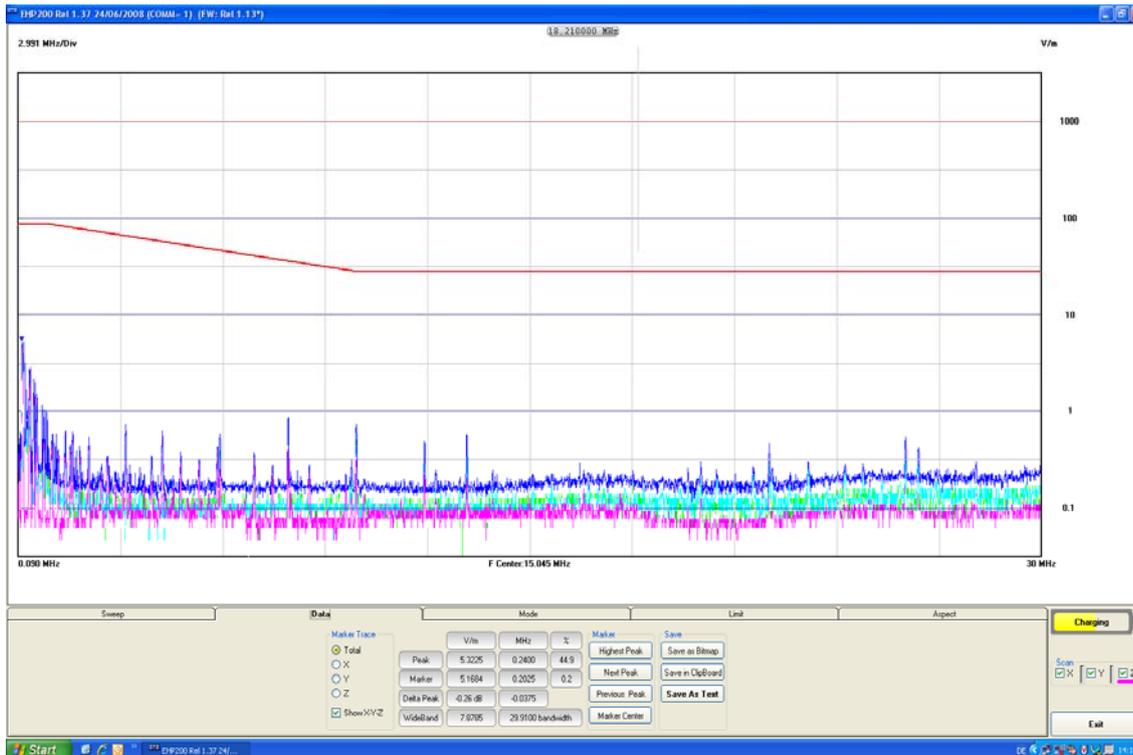


Abbildung E.4.7 Screenshot EHP 200. Die rote Linie stellt den ICNIRP 1998 general public Referenzwert dar.

E.4.3.3 SA E4405B mit PCD3100 Antenne

Einstellungen:

Messung des Expositionscoeffizienten:

Hier ist keine Messung des Expositionscoeffizienten möglich.

Handscan:

Hier ist kein Handscan möglich.

Frequenzselektive Messung:

Die PCD3100 wird mit dem Antennenkabel und dieses mit dem SRM-3000 verbunden. Weiters wird eine Verbindung zwischen der seriellen Schnittstelle des Rechners und des SRM-3000 hergestellt. Nun das SRM-3000 einschalten. Das Programm „Nose Pro_v3.1.5“ starten, auf den Button „Station Manager“ klicken und auf „Setup“ gehen. Jetzt unter „File“ „New“ auswählen und weiter auf die

Registerkarte „Hardware“ drücken. Dort unter „Spectrum Analyzer“ das SRM-3000 auswählen und unter „Interface“ auf „COM1“ stellen. Bei Positioning „Manual“ auswählen. Bei „Antenna Factor File“ und „Cable Factor File“ können die entsprechenden Files eingetragen werden. Jetzt auf die Registerkarte „Measurement Settings“ gehen und in der Spalte „Name“ „PCD3100“ eingeben. Mit der rechten Maustaste „Settings...“ auswählen und folgende Einstellungen vornehmen:

Start Frq.: 30 MHz Stop Frq.: 75 MHz RBW: 100 kHz VBW: auto
Attenuation: 10 dBm Detector: max

Die Registerkarte „Method“ auswählen, unter „Method for each trace sweep“ „Use Average“ einstellen und bei „Repeat“ 10 times eingeben. Mit „OK“ bestätigen und kontrollieren, ob in „PCD3100“ unter „Active“ ein Häkchen gesetzt ist. Mit „OK“ bestätigen und die Fehlermeldung bezüglich des Antennenfaktors ignorieren. Diese Einstellungen bleiben gespeichert und können beim nächsten Programmstart wieder abgerufen werden.

Mit der „START“-Taste im „Station Manager“ kann nun die Messung begonnen werden. Ist die Messung beendet steht unter „Status“ „finished“. Den Button „Data“ drücken und die letzte Zeile markieren. Jetzt auf „Download“ drücken und das Fenster wieder schließen, im Hauptfenster erscheint rechts unten das neue Messfile. Wird in der Checkbox daneben ein Häkchen gesetzt, so werden die Messergebnisse graphisch dargestellt. Mit der rechten Maustaste kann der Name der Datei geändert werden. Darauf achten, dass nur das gewünschte Ergebnis ausgewählt ist und auf „Graph Data“ drücken. Es geht ein Fenster auf, dort weiter mit „Export“, den Dateinamen angeben und in gewünschtem Ordner speichern.

E.4.3.4 SRM 3000 mit E Feld Antenne

Einstellungen:

Messung des Expositionskoeffizienten:

Die E-Feldsonde wird auf das SRM-3000 aufgesteckt und verbunden, nun wird das Gerät mittels „ON/OFF“-Schalter eingeschaltet. Mit der Taste „MODE“ gelangt man in ein Menü, wählt „Spectrum Analysis“ aus und bestätigt mit „ENT“. Um eine kurze „Sweep Time“ zu erreichen, wird der mögliche Frequenzbereich dreigeteilt, von 75 MHz bis 300 MHz, von 300 MHz bis 1 GHz und von 1 GHz bis 3 GHz. Es

wird am Bildschirmmenü „Fmin“ bzw. „Fmax“ ausgewählt und die entsprechende Frequenz eingegeben. Unter „RBW“ wird im niedrigen Frequenzbereich 200 kHz, im nächst höheren 1 MHz und schließlich 5 MHz eingestellt. „Meas. Range“ wird mittels Stellrad auf „128 dB μ V/m“ gestellt und als „Resolut type“ wird „AVG“ gewählt. Mit der Taste „UNIT“ wird im Menü „%“ ausgewählt. Mit der Taste „CONF“ kann unter „Standard“ „ICNIRP 1998 general public“ eingestellt werden. Nun auf die Taste „EVAL“ drücken und „Integration over a frequency band“ auswählen. Am Display rechts oben kann jetzt unter „Value“ der Expositionskoeffizient in % abgelesen werden.

Handscan:

Die E-Feldsonde wird auf das SRM-3000 aufgesteckt und verbunden, nun wird das Gerät mittels „ON/OFF“-Schalter eingeschaltet. Mit der Taste „MODE“ gelangt man in ein Menü, wählt „Spectrum Analysis“ aus und bestätigt mit „ENT“. Um eine kurze „Sweep Time“ zu erreichen, wird der mögliche Frequenzbereich dreigeteilt, von 75 MHz bis 300 MHz, von 300 MHz bis 1 GHz und von 1 GHz bis 3 GHz. Es wird am Bildschirmmenü „Fmin“ bzw. „Fmax“ ausgewählt und die entsprechende Frequenz eingegeben. Unter „RBW“ wird im niedrigen Frequenzbereich 200 kHz, im nächst höheren 1 MHz und schließlich 5 MHz eingestellt. „Meas. Range“ wird mittels Stellrad auf „128 dB μ V/m“ gestellt und als „Resolut type“ wird „AVG“ gewählt. Bei „Meas. Range“ ist Vorsicht geboten, wenn größere Felder gemessen werden. Es sollte zuerst der größte mögliche Messbereich eingestellt werden (166 dB μ V/m) und dann abhängig von den gemessenen Feldstärken ein kleinerer Messbereich gewählt werden.

Frequenzselektive Messung:

Die E-Feldsonde wird mit dem Antennenkabel und dieses mit dem SRM-3000 verbunden. Weiters wird eine Verbindung zwischen der seriellen Schnittstelle des Rechners und des SRM-3000 hergestellt. Nun das SRM-3000 einschalten. Das Programm „Nose Pro_v3.1.5“ starten, auf den Button „Station Manager“ klicken und auf „Setup“ gehen. Jetzt unter „File“ „New“ auswählen und weiter auf die Registerkarte „Hardware“ drücken. Dort unter „Spectrum Analyzer“ das SRM-3000 auswählen und unter „Interface“ auf „COM1“ stellen. Bei Positioning „SRM Probe“

auswählen. Bei „Antenna Factor File“ und „Cable Factor File“ können die Häkchen weggelassen werden, da die Korrekturfaktoren schon im SRM-3000 gespeichert sind und dort berücksichtigt werden. Jetzt auf die Registerkarte „Measurement Settings“ gehen und in der Spalte „Name“ „SRM E“ eingeben. Mit der rechten Maustaste „Settings...“ auswählen und folgende Einstellungen vornehmen:

Start Frq.: 75 MHz Stop Frq.: 100 MHz RBW: 100 kHz VBW: auto
Attenuation: -27 dBm Detector: max

und in einer zweiten Zeile:

Start Frq.: 100 MHz Stop Frq.: 3 GHz RBW: 1 MHz VBW: auto
Attenuation: -27 dBm Detector: max

Die Registerkarte „Method“ auswählen, unter „Method for each trace sweep“ „Use Average“ einstellen und bei „Repeat“ 10 times eingeben. Mit „OK“ bestätigen und kontrollieren, ob in „SRM E“ unter „Active“ ein Häkchen gesetzt ist. Mit „OK“ bestätigen und die Fehlermeldung bezüglich des Antennenfaktors ignorieren. Diese Einstellungen bleiben gespeichert und können beim nächsten Programmstart wieder abgerufen werden.

Mit der „START“-Taste im „Station Manager“ kann nun die Messung begonnen werden, ist die Messung beendet, steht unter „Status“ „finished“. Den Button „Data“ drücken und die letzte Zeile markieren. Jetzt auf „Download“ drücken und das Fenster wieder schließen, im Hauptfenster erscheint rechts unten das neue Messfile. Wird in der Checkbox daneben ein Häkchen gesetzt, so werden die Messergebnisse graphisch dargestellt. Mit der rechten Maustaste kann der Name der Datei geändert werden. Es ist darauf zu achten, dass nur das gewünschte Ergebnis ausgewählt ist und auf „Graph Data“ drücken. Es geht ein Fenster auf, dort weiter mit „Export“, den Dateinamen angeben und in gewünschtem Ordner speichern.