

FACHKOMMISSION GEBÄUDE- UND BETRIEBSTECHNIK

des Hochbauausschusses der ARGEBAU (LAG Hochbau)

Elektromagnetische Verträglichkeit in Gebäuden



März 1993

Elektromagnetische Verträglichkeit in Gebäuden

Aufgestellt und herausgegeben von der **Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik** des Hochbauausschusses der Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder - ARGEBAU -

Geschäftsstelle der Fachkommission:

HIS Hochschul-Informationen-System GmbH
Goseriede 9 30159 Hannover

Telefon: (0511) 1220-284

1. EINLEITUNG	5
2. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN VON STÖRMECHANISMEN	7
3. POTENTIELLE STÖRQUELLEN UND STÖRSENKEN	11
3.1 Störquellen	11
3.2 Störsenken	13
4. EMV-MASSNAHMEN	17
4.1 Vorgehensweise	17
4.2 Durchführung von Maßnahmen	18
5. ZUSAMMENFASSUNG	21
6. VERWENDETE EINHEITEN UND BEZEICHNUNGEN	23
7. LITERATUR	25

1. EINLEITUNG

Unter dem Begriff Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) wird die Fähigkeit einer elektromagnetischen Einrichtung verstanden, innerhalb ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren und diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, nicht unzulässig zu beeinflussen [1]. Potentielle Störquellen treten immer dort auf, wo elektrische Energie erzeugt, transportiert oder in andere Energieformen (z.B. mechanische Energie) umgewandelt wird. Die dabei entstehenden Störgrößen lassen sich unterteilen in:

- elektrische Gleich- und Wechselfelder
- magnetische Gleich- und Wechselfelder
- elektromagnetische Wellen

In der Praxis treten die häufigsten Störungen durch Wechselfelder auf, die aus dem Stromversorgungsnetz oder von betriebstechnischen Anlagen herrühren. Impulsförmige Störungen, die beim Schalten großer Leistungen zu beobachten sind, lassen sich wie hochfrequente Wechselfelder betrachten. Gleichfelder treten lediglich in speziellen Anwendungsfällen (z.B. Kernspintomographie) als Verursacher von Störungen in Erscheinung.

Durch die mit der technischen Weiterentwicklung verbundene Verfeinerung der Meßmethoden im technisch-wissenschaftlichen und medizinischen Bereich und den hohen Anteil an elektronischen Geräten, die dort verwendet werden, gewinnt die EMV immer mehr an Bedeutung. Im Zusammenhang mit der europäischen Harmonisierung wurde die Richtlinie 89/336/EWG vom 3. Mai 1989 erlassen, die mit Datum vom 9. November 1992 durch das „Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG)“ in nationales Recht überführt wurde [2]. Es regelt die Vergabe des CE-Funkschutzzeichens, ohne das elektrotechnische Erzeugnisse nicht mehr vermarktet werden dürfen. Ausnahmeregelungen vorgesehen jedoch u.a. für Geräte, die zur ausschließlichen Verwendung in Labor- und Werkstattbereichen vorgesehen sind. Die Anforderungen sind auf allgemeine Anwendungen ausgelegt und somit weniger relevant für die Einstrahlfestigkeit von hochempfindlichen Meß- und Diagnosegeräten.

Ziel dieses Papiers ist es, neben der Vermittlung einiger Grundlagen zum Thema, die EMV bereits bei der Bau- bzw. Raumplanung zu berücksichtigen. Durch das Erkennen von potentiellen Störquellen und deren räumlicher Trennung von stöempfindlichen Geräten lassen sich die außerordentlich kostenträchtigen Maßnahmen zur Abschirmung reduzieren, wenn nicht gar vermeiden. Die Einstrahlfestigkeit der verwendeten Geräte sollte ein wichtiges Kriterium bei der Beschaffung sein, da die hier beschriebenen Maßnahmen nicht zur Kompensation mangelhafter Gerätequalität geeignet sind. In diesem Zusammenhang sind das BZT-Funkschutzzeichen (seit 10.3.92, vorher ZZF) und das CE-Zeichen als Mindestanforderung zu nennen.

Innerhalb dieser Empfehlung wird ausschließlich auf das „verträgliche Nebeneinander“ von betriebstechnischen Anlagen und medizinischer Technik bzw. Labormeßtechnik eingegangen. Gegenstand der Betrachtungen sind Einkopplungen über Felder bzw. Wellen. Leitungsgebundene Störungen werden nicht betrachtet. Gleiches gilt auch für die Bereiche Abschirmung und Filterung.

2. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN VON STÖRMECHANISMEN

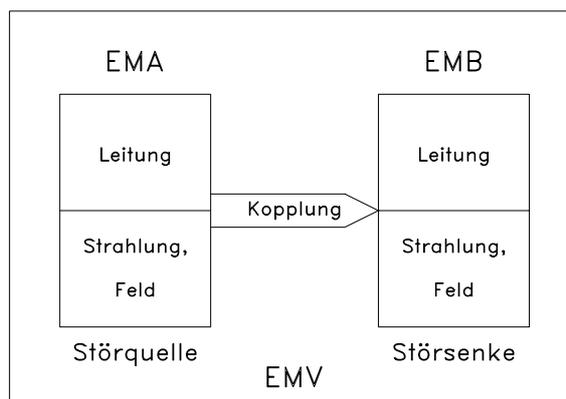


Abb. 1 EMV-Modell

Ursache für die elektromagnetische Beeinflussung (EMB) eines Gerätes oder allgemein einer Störsenke ist die Störaussendung (EMA = Elektromagnetische Aussendung) eines Gerätes oder allgemein einer Störquelle. Die Störung wird dabei von der Quelle in die Senke eingekoppelt (Abb. 1). Dies kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen:

- a) galvanisch: auf direktem Wege über gemeinsame Versorgungs- und Signalleitungen
- b) kapazitiv: durch elektrostatische Felder (Influenz), wie etwa über das elektrische Wechselfeld zwischen benachbarten Leitern oder von Hochspannungsleitungen
- c) induktiv: durch magnetische Felder (Induktion), das magnetische Feld eines vom Wechselstrom durchflossenen Leiters induziert eine Spannung in einem Nachbarleiter, entsprechend verhalten sich magnetische Wechselfelder von Transformatoren, Motoren etc.
- d) Strahlung: über elektromagnetische Felder und Wellen. Dabei tritt die Störquelle als Sender in Erscheinung, die Störsenke als Empfänger, wobei z.B. Leitungen als Antenne wirksam werden.

Grundsätzlich sind beim Ladungstransport (Stromfluß durch einen Leiter) alle unter a) bis d) genannten Kopplungsmechanismen vorhanden, jedoch lassen sich die meßbaren Auswirkungen einer der Kategorien zuordnen. Voraussetzung für die Einkopplung von Störungen sind Wechselfelder. Wird eine Leiterschleife von einem magnetischen Wechselfeld durchsetzt, so wird in ihr eine Spannung induziert. Gleiches gilt nach dem Induktionsgesetz auch für ein statisches Magnetfeld, in dem eine Leiterschleife bewegt wird. Als Ursache für Störungen kommen also auch Gleichfelder in Frage. Statische elektrische Felder (statische Aufladungen) können zu energiereichen Entladungsimpulsen führen, die, obwohl für den Menschen ungefährlich, ausreichen, um empfindliche Geräte zu zerstören.

Die Auswirkungen wie impulsartige Störungen, Schaltvorgänge oder die beschriebenen Auswirkungen statischer Felder (Entladungen, Induktion von Spannungsimpulsen) lassen sich physikalisch als Signale hoher Frequenz (Frequenzspektrum) betrachten. Dennoch ist für die praktische Beurteilung und Beseitigung von Störungen die Untergliederung in periodische Vorgänge (sinusförmig und nicht-sinusförmig), nichtperiodische Vorgänge und Einzelvorgänge bedeutsam.

Die Eigenschaften der beschriebenen Feldformen sollen hier näher erläutert werden, da sie bereits Hinweise über mögliche Abhilfemaßnahmen geben können.

a) Elektrische Felder

Elektrische Felder werden durch ihre Feldlinien räumlich bestimmt. Die Feldlinien entstehen zwischen Punkten mit unterschiedlichem Potential.

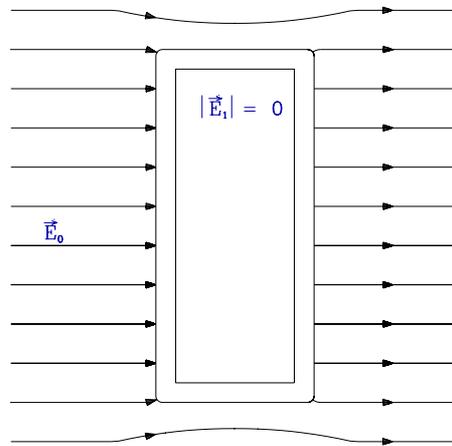


Abb. 2 Gut leitender Potentialkäfig in einem elektrischen Feld

Die elektrischen Feldlinien beginnen an Punkten mit dem höheren Potential und enden an Punkten mit dem niedrigeren Potential.

Aus der Abbildung ist direkt ersichtlich, daß eine Abschirmung elektrischer Felder über eine gut leitende Hülle (Potentialkäfig) möglich ist (Abb. 2).

b) Magnetische Felder

Magnetische Feldlinien entstehen immer dann, wenn ein Strom fließt. Sie sind immer geschlossen, eine Unterbrechung wie bei elektrischen Feldlinien ist nicht möglich.

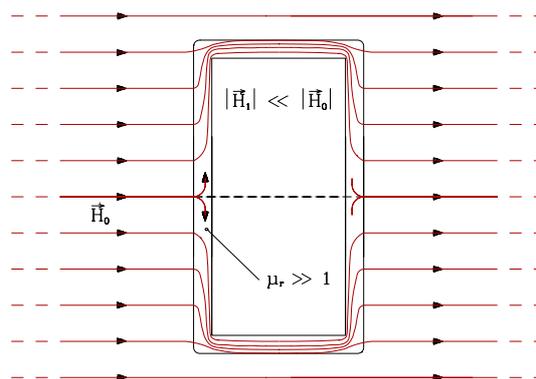


Abb. 3 Magnetische Feldlinien

Zur Abschirmung kann lediglich versucht werden, die Feldlinien durch einen magnetisch gut leitenden Schirm um den zu schirmenden Bereich herumzuleiten (Abb. 3). Diese Maßnahme ist in der Regel sehr aufwendig, die erforderlichen Materialien sind sehr teuer.

Bei magnetischen Wechselfeldern mit hoher Frequenz (ab etwa 10 kHz) sorgt der Skin-Effekt für eine erhöhte Abschirmwirkung auch von Materialien, die keine guten magnetischen Leiter sind. Infolge der durch das Magnetfeld entstehenden Wirbelströme findet eine Stromverdrängung in Richtung der Oberfläche statt, die zu einer Schwächung des Feldes im Inneren führt. Somit haben hochfrequente magnetische Wechselfelder nur eine begrenzte Eindringtiefe (materialabhängig) in Metallen.

c) Elektromagnetische Wellen

Im Fernfeld, d.h. sehr kleine Wellenlänge gegenüber dem Abstand Sender - Empfänger, ist eine getrennte Betrachtung von elektrischer und magnetischer Komponente einer Strahlung nicht mehr sinnvoll. Elektrisches und magnetisches Feld sind über den sog. Wellenwiderstand miteinander verkoppelt ($\Gamma_0 = 377 \text{ Ohm}$, Wellenwiderstand des freien Raumes). Sie verhalten sich in der Ausbreitung wie Licht. Treffen Wellen auf eine Grenzfläche (z.B. eine Wand), so teilen sie sich gemäß Abb. 4 (vereinfacht) in einen Anteil A, der reflektiert wird (Grenzfläche Luft/Wand), einen zweiten Reflektionsteil B (Grenzfläche Wand/Raum) und einen Durchgangsteil C.

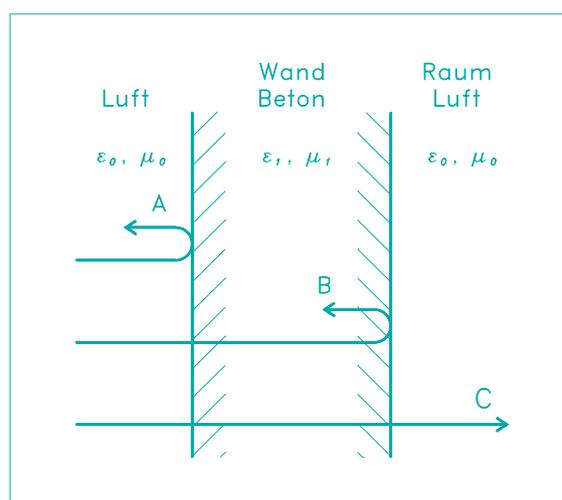


Abb. 4 Verhalten von elektromagnetischen Wellen an einer Wand

In der Regel wird die Einkopplung in Form von elektromagnetischen Wellen erst im Fernfeld wirksam. Es beschreibt den räumlichen Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional von der Entfernung abhängen [1]. Überschlägig gilt dafür ein Abstand, der in der Größenordnung der betrachteten Wellenlänge liegt oder größer ist. Beispielsweise beträgt die Wellenlänge bei 50 Hz in Luft ca. 6.000 km. Hier spielen also ausschließlich induktive, kapazitive und galvanische Einkopplungen von magnetischen oder elektrischen Feldern im Nahfeld eine Rolle.

Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen über 10 KHz wird als Hochfrequenz bezeichnet. Entsprechende Anlagen werden durch das Bundesamt für Zulassung in der Telekommunikation (BZT) kontrolliert (vormals ZZf, Zentralamt für Zulassung im Fernmeldewesen). Richtlinien für niederfrequente elektromagnetische Wellen und pulsartige Kopplungen werden derzeit ausgearbeitet.

Frequenz [Hz]	Wellenlänge [m] ^{*)}	Anwendung
16 ⅔	18·10 ⁶	Bahnstromversorgung
50	6·10 ⁶	Stromversorgungsnetz
100	3·10 ⁶	Einphasen-Vollweggleichrichtung
150, 300	2·10 ⁶ , 1·10 ⁶	Drehstrombrückengleichrichter
400	0,75·10 ⁶	Spez. Stromversorgungen
< 30k	> 10·10 ³	VLf-Bereich; Stromversorgung (Netzteile)
30k...300k	10·10 ³ ... 1·10 ³	LF-Bereich; Funkverkehr, Rundfunk, Navigation, Zeitzeichen, Stromversorgung (Schaltnetzteile)
300k...3M	1000...100	MF-Bereich; Funkverkehr, Rundfunk
3M...30M	100...10	HF-Bereich; Funkverkehr, Rundfunk, Fernsteuersender, Medizintechnik
30M...300M	10...1	VHF-Bereich; Funkverkehr, Fernsteuersender, Rundfunk, Fernsehen, Medizintechnik
300M...3G	1...0,1	UHF-Bereich; Funkverkehr, Richtfunk, Fernsehen
> 3G	< 0,1	SHF, EHF, Infrarotbereich; Satellitenrundfunk und -fernsehen Radar, Richtfunk, Navigation, Mikrowellen

^{*)} ... Wellenlänge für Ausbreitung im freien Raum

Tab. 1 Charakteristische Frequenzbereiche

Eine Übersicht über charakteristische Frequenzbereiche zeigt Tabelle 1. Die in der Tabelle aufgeführten Frequenzbereiche für Stromversorgung (Schaltnetzteile), Gleichrichter und Stromrichterschaltungen geben lediglich die Frequenz der Grundwelle an. Alle nicht-sinusförmigen Signalverläufe beinhalten auch Oberwellen, d.h. Vielfache der Grundfrequenz. So enthält ein ideales Rechtecksignal neben der Grundfrequenz f unendlich viele Harmonische (Oberwellen) beginnend mit $2f$, $3f$, etc.

3. POTENTIELLE STÖRQUELLEN UND STÖRSENKEN

3.1 Störquellen

Der Frequenzbereich, in dem Störungen im allgemeinen wirksam werden, kann hier von 0 Hz bis etwa 1 GHz angesetzt werden. Die nachstehend aufgeführten Einrichtungen sind als potentielle Störquellen zusammen mit ihren möglichen störenden Auswirkungen oder den beteiligten Komponenten dargestellt (Tab. 2):

Anlagenart	Störquellen	Art der Einkopplung	Frequenzbereich
Aufzugsanlagen	Motoren, Zuleitungen, Leistungssteuerung, Schaltvorgänge	M-Feld, leitungsgebundene Störungen, EM-Wellen	50 Hz bis 20 MHz, impulsförmige Störungen, Magnetfeld bis 10 KHz
EDV	Netzteile, Takterzeugung	leitungsgebunden, EM-Wellen	50kHz bis 50 MHz
Hochspannungsleitungen		E-Feld	50 Hz
Leistungssteuerung	Netz, Motoren, etc.	M-Feld, leitungsgebunden, EM-Wellen	Grundwellen bis 300 Hz, Oberwellen bis einige MHz
Leuchtstofflampen	Gasentladung, elektron. Vorschaltgeräte	leitungsgebunden, M-Feld, EM-Wellen	25 kHz bis 3 MHz
Mittelspannungsversorgung	Schaltvorgänge, Leitungen	leitungsgebunden, M-Feld	leitungsgebunden bis in den MHz-Bereich, 50 Hz (M-Feld)
Motoren	Leitungen, Leistungssteuerung, Schaltvorgänge, Kommutierung	leitungsgebunden, E-Feld, M-Feld, EM-Wellen	50 Hz bis 20 MHz, M-Feld bis 10 kHz
Niederspannungsnetz	Leistungskabel, Schaltvorgänge, Spannungseinbrüche	leitungsgebunden, M-Feld	leitungsgebunden bis in den MHz-Bereich, 50 Hz (M-Feld)
PKW	Zündung	EM-Wellen	impulsförmig bis in den MHz-Bereich
Röntgendiagnostik und Therapieanlagen		M-Feld, EM-Wellen	bis in den MHz-Bereich
Schaltvorgänge (mechanisch)	Schalter, Relais, Schütze	leitungsgebunden, EM-Wellen	bis in den MHz-Bereich
Sendeanlagen	Rundfunk- u. Fernsehsender, Funkanlagen, Sprechfunkgeräte	EM-Wellen	bis in den GHz-Bereich
Straßenbahn, elektr. Bahn	Leitungsnetz, Stromabnehmer	EM-Wellen	impulsförmig, bis in den MHz-Bereich
Transformatoren		M-Feld	50 Hz

M-Feld ... magnetisches Feld E-Feld ... elektrisches Feld
EM-Wellen ... elektromagnetische Wellen

Tab. 2 Potentielle Störquellen und deren Auswirkungen

Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft die Größe der magnetischen Felder bei Gießharz-Trockentransformatoren bei Nennlast [3]. Das Magnetfeld nimmt näherungsweise mit der 3. Potenz der Entfernung ab:

Abstand [m]	Trafo 800 kVA	Trafo 1000 kVA
1	190 μ T	211 μ T
3	9 μ T	10 μ T
6	1,3 μ T	1,5 μ T
10	0,3 μ T	0,36 μ T

Tab. 3 Größenordnung magnetischer Felder bei Gießharz-Trockentransformatoren

3.2 Störsenken

Die innerhalb von technisch-wissenschaftlichen und klinischen Einrichtungen verwendeten Geräte lassen sich aufgrund ihrer Vielfalt nicht einheitlich nach Störgrenzwerten klassifizieren. Beispielhaft sollen hier einige innerhalb eines Klinikums potentiell elektromagnetisch beeinflussbare Geräte betrachtet werden (Zulässige maximale Grenzwerte für magnetische Flußdichten statischer oder niederfrequenter Magnetfelder [4], [5]):

- Computer, DV-Anlagen (1 mT)
- EEG (0,2 μ T)
- EKG (0,4 μ T)
- Herzschrittmacher (0,5 mT)
- Insulinpumpen (0,5 mT)
- Computertomographen (0,2 mT)
- Farbmonitore (0,1 mT)
- magnetische Datenträger (1 mT, Lagerung: 0,5 mT)
- Meßgeräte, eichfähige Meßgeräte
- Röntgenbildverstärker (Störungen bereits ab 1 μ T, u.a. Erdmagnetfeld als Störquelle)

Die angegebenen Werte sind als Orientierungshilfe zu verstehen. Im Einzelfall sind die genauen Daten vom Hersteller zu erfragen. Innerhalb der VDE 0107 sind derzeit nur die maximal zulässigen magnetischen Störfelder festgelegt für:

EEG mit 0,2 μ T und EKG mit 0,4 μ T (bei 50 Hz, Spitze-Spitze-Meßwert) [5].

Zur Prüfung läßt sich z.B. ein Elektrokardiograph einsetzen. Weitere Hinweise dazu sowie Richtwerte für einzuhaltende Abstände zu induktiven Betriebsmitteln in [5].

Für Herzkatheterisierungsräume ist ein 5-Leiter-Netz vorgeschrieben (Hin- und rückführende Leiter in einem Kabel), so daß sich die Magnetfelder um den Leiter weitestgehend aufheben.

In der Kernspin-Tomographie, auch als magnetische Resonanz (MR) bezeichnet, sind homogene statische Magnetfelder zwischen 0,5 T und 1,5 T üblich. Hinzu kommen hochfrequente impulsförmige Magnetfelder hoher Amplitude im Bereich einiger MHz bis über 100 MHz. Dabei arbeitet das Gerät in zwei zeitlich versetzten Phasen, d.h. als Sender und als Empfänger und tritt somit als Störquelle und Störsenke auf. Während für den HF-Teil eine lückenlose Abschirmung des Raumes Bestandteil der Installation ist, ist die Abschirmung des statischen Magnetfeldes nicht zwingend erforderlich. In den Datenblättern wird daher die 0,5-mT-Linie als einzuhaltender Mindestabstand definiert. Außerhalb dieses Bereichs ist eine Gefährdung von Patienten mit Herzschrittmacher oder Insulinpumpe ausgeschlossen. Zum Vergleich sind in der folgenden Tabelle die einzuhaltenden Mindestabstände (0,5-mT-Linie) bei Tomographen mit verschiedenen statischen Magnetfeldern dargestellt [6]:

Abstand vom Magnetfeldzentrum	1-T-Magnet mit aktiver Abschirmung	1,5-T-Magnet mit aktiver Abschirmung	1,5-T-Magnet ohne Abschirmung
radial (x,y)	2,4 m	3,1 m	9,7 m
axial (z)	4,3 m	5,1 m	12,3 m

Tab. 4 0,5-mT-Linie bei unterschiedlichen Kernspintomographie-Systemen

Während diese Geräte bis vor wenigen Jahren durch schwere (bis über 30 t) Eisenkonstruktionen abgeschirmt wurden, haben sich mittlerweile aktive Abschirmsysteme durchgesetzt, die eine erhebliche Gewichtsreduzierung mit sich brachten (auf ca. 10 t) und somit auch für den Einsatz in vorhandenen Gebäuden mit geringerer Bodentragfähigkeit geeignet sind. Aus der Tabelle ist auch ersichtlich, daß sich die einzuhaltenden Sicherheitsabstände durch den Einsatz derartig abgeschirmter Magnetsysteme erheblich reduzieren. Abb. 5 zeigt die Verteilung der Magnetfeldstärke an einem konkreten Planungsbeispiel.

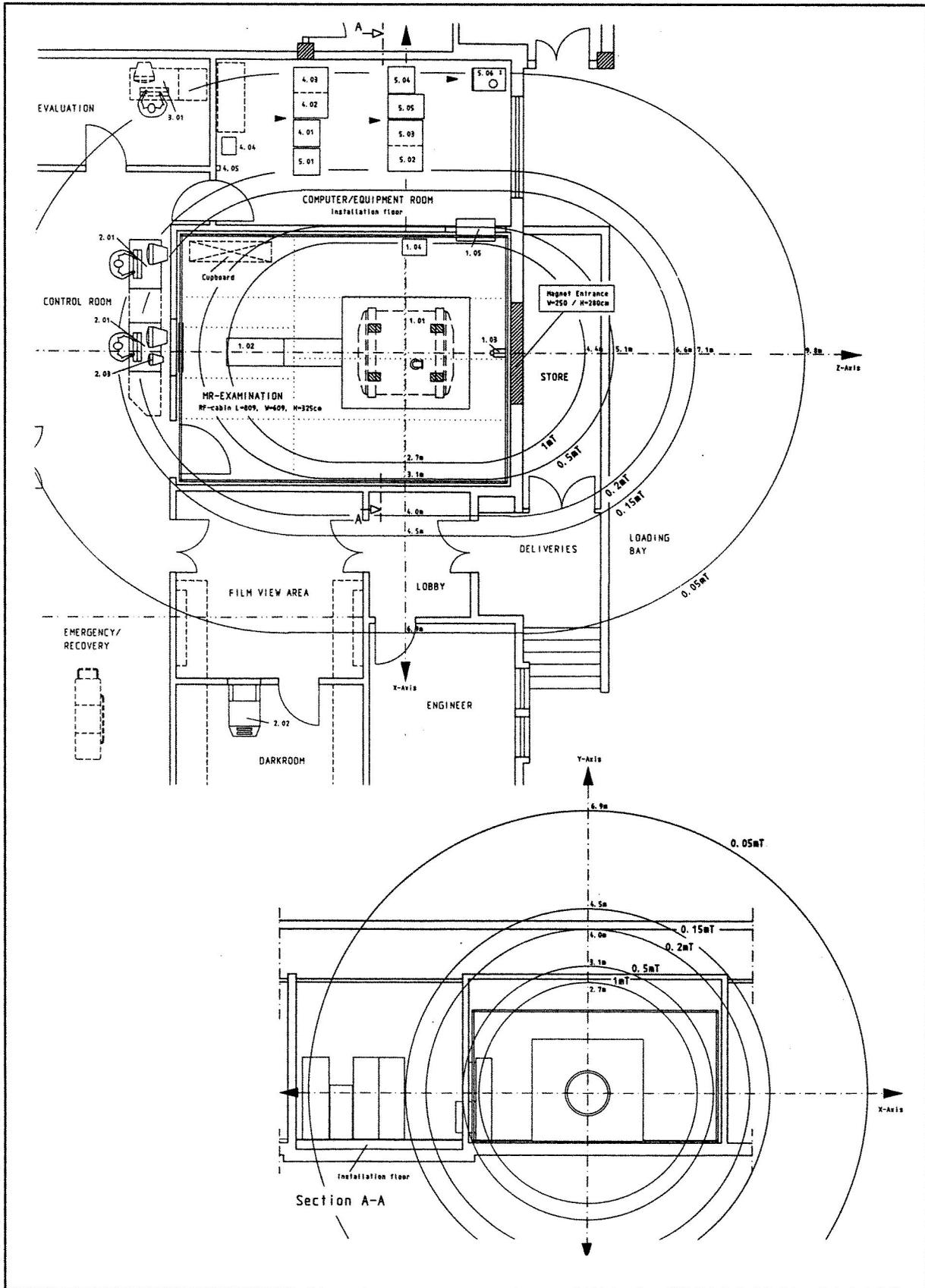


Abb. 5 Magnetische Feldlinien eines Kernspintomographen mit aktiv geschirmtem 1,5-T-Magnetsystem [6]

4. EMV-MASSNAHMEN

Die hier vorgestellten Maßnahmen dienen der Verminderung der elektromagnetischen Beeinflussung von Geräten in technisch-wissenschaftlichen Laboratorien und im medizinischen Bereich. Hierbei handelt es sich um Möglichkeiten, bereits während der Bau- und Planungsphase die EMV, z.B. durch räumliche Trennung von potentiellen Störquellen und -senken, zu gewährleisten. Entstörungs- und Abschirmungsmaßnahmen werden dagegen nur am Rande betrachtet. Ziel ist es vielmehr, die letztgenannten Maßnahmen weitgehend überflüssig zu machen.

4.1 Vorgehensweise

Zunächst müssen die Anforderungen an die EMV formuliert werden. Ist beispielsweise bekannt, welche betriebstechnischen und medizinischen Anlagen innerhalb eines Gebäudes benötigt werden, so ist das Ziel, eine möglichst geringe elektromagnetische Beeinflussung der Geräte untereinander, durch räumliche Trennung zu gewährleisten. Dabei sind nicht nur die Geräte an sich interessant, sondern auch die Verlegung von Kabeln, Blitzschutzanlagen und die Umgebung außerhalb des Gebäudes. Zu beachten ist weiterhin, daß potentielle Störsenken (z.B. EDV-Anlagen) auch als Störquellen wirksam werden können.

Als Hilfe dient hierzu die Erstellung einer Liste der in Frage kommenden Störquellen und Störsenken. Diese wird ergänzt um die Sammlung EMV-relevanter Daten. Letzteres gestaltet sich häufig als schwierig, da die entsprechenden Angaben von den Herstellern nur sehr schwer oder gar nicht zu bekommen sind. Es können jedoch Abschätzungen getroffen werden, die auf Erfahrungswerten beruhen oder sich aus dem Studium von Datenblättern ergeben. Sofern die Möglichkeit besteht, sollten auch Messungen durchgeführt werden (vgl. hierzu [5], [7], [8] u. [9]).

Jeder Raum kann für sich als Störquelle und Störsenke betrachtet werden. Aufgrund der ermittelten Daten lassen sich um einen Raum kugelförmige Hüllflächen legen, die den Störpegel repräsentieren, den dieser Raum in einem bestimmten Abstand verursacht. In der Praxis wird es allerdings ausreichend sein, Abstände in horizontaler und in vertikaler Richtung zu betrachten. Jedem Raum wird außerdem ein zulässiger Maximalwert für den eindringenden Störpegel zugeordnet.

Diese Zuordnungen sind getrennt nach physikalischen Gegebenheiten (Art des Feldes bzw. der Strahlung, Frequenzbereich) durchzuführen. Zur Reduzierung der Datenmenge lassen sich sinnvolle Aufteilungen wählen (50-Hz-Magnetfeld, Frequenzbereichsaufteilungen etc.). Als Grundlage dienen Datenblätter der Hersteller, Erfahrungs- und Messwerte.

Mit Hilfe der so ermittelten Daten lassen sich die Räume innerhalb des Gebäudes so anordnen, daß die gegenseitige elektromagnetische Beeinflussung minimal wird. Hilfreich zur Überprüfung des Ergebnisses ist eine EMV-Beeinflussungsmatrix, wie sie in [10] u. [14] vorgeschlagen wird (Abb. 6). Diese Matrix ist ortsabhängig, d.h. für jeden gefährdeten Raum aufzustellen.

Stör- quelle	Störsenke		...		Leitung A		Leitung B		...		BTA A		BTA B		...	
	Gerät A	Gerät B														
Gerät A	+				-	-					-	-				
Gerät B	?	-			-	-					-	-				
⋮																
Leitung A	?	+			-	-					-	-				
Leitung B	?	+			-	-					-	-				
⋮																
BTA A	+	+			-	-					-	-				
BTA B	?	?			-	-					-	-				
⋮																

- keine Beeinflussung ? Auswirkungen nicht bekannt + Beeinflussung zu erwarten

Abb. 6 EMV-Beeinflussungsmatrix

4.2 Durchführung von Maßnahmen

Die im folgenden beschriebenen Maßnahmen sind unter vier Oberbegriffen zusammengefaßt und unter Kostengesichtspunkten geordnet (beginnend mit den kostengünstigsten Maßnahmen).

a) Zeitliche Entkopplung

Die effizienteste und kostengünstigste Lösung ist die Verlegung von Betriebszeiten. Sofern organisatorisch möglich, kann durch das unterschiedliche zeitliche Betreiben von Geräten, die als Störquelle auftreten und solchen, die als Störsenke reagieren, zu verschiedenen Zeiten, bereits sofort ein Wegfall der Störbeeinflussung erreicht werden.

b) Räumliche Entkopplung

Die räumliche Trennung von potentiellen Störquellen und Störsenken bereits während der Planungsphase eines Gebäudes stellt eine praktikable und kostengünstige Möglichkeit zur Erhaltung der EMV dar. Im Nachhinein, d.h. in einem fertigen Bauwerk, ist diese Maßnahme - zumindest bei fest installierten Anlagen (Betriebstechnik) - allerdings nicht mehr ohne weiteres möglich.

c) Leitungsverlegung

Während der Bauplanungsphase sind Entscheidungen, die die Leitungsverlegung betreffen, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der EMV zu treffen.

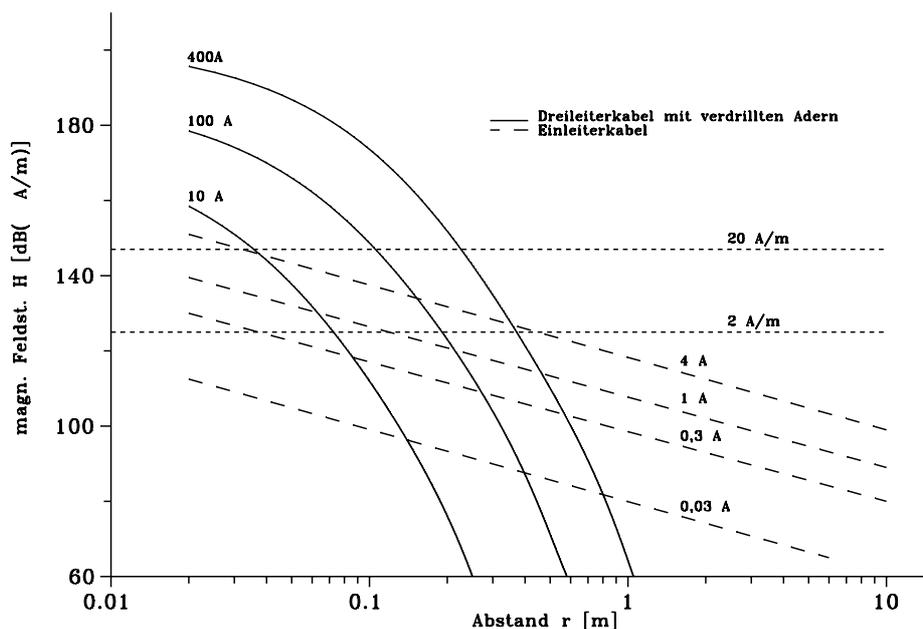


Abb. 7 Magnetisches Feld von Dreileiterkabeln mit symmetrischer Stromverteilung und von Einleiterkabeln (Siemens)

Die richtige Auswahl und Anordnung von Leistungskabeln kann dazu beitragen, das äußere Magnetfeld zu reduzieren.

- Die enge Zusammenlegung von Drehstromsammelschienen im Dreieck führt dazu, dass sich die einzelnen Magnetfelder gegenseitig kompensieren.
- Reduzierung des äußeren Magnetfeldes durch symmetrisch belastete 3- und 5-Leitersysteme. Einleiterkabel sind zu vermeiden (s. Abb. 7).
- Die Verwendung von verdrehten Leitungen wird zur Vermeidung von Störungsaussendungen (Schwächung des äußeren Magnetfeldes) und zur Vermeidung des Eindringens von Störungen empfohlen. Stegleitungen, wie sie in der Elektroinstallation zur Unterputzverlegung Verwendung finden, sind bezüglich des magnetischen Streufeldes äußerst ungünstig.
- Leitungen, deren Felder sich gegenseitig störend beeinflussen können, sollten nicht parallel in geringem Abstand voneinander verlegt werden. Werden entsprechende Leitungen an Kreuzungspunkten senkrecht zueinander geführt, sind die Einkopplungen dagegen minimal.
- Es ist genügend Abstand zu Blitzschutzeinrichtungen einzuhalten. Dadurch werden Einkopplungen sehr energiereicher Impulse über Leiterschleifen bei Blitzeinschlägen vermieden. Leitungen sollten aus diesem Grunde in der Nähe von Blitzschutzeinrichtungen nicht parallel zu diesen geführt werden.

d) Schirmung

Für den Fall, das alle unter a) bis c) beschriebenen Maßnahmen nicht zum Erfolg führen oder nicht durchführbar sind, kommen nur noch Abschirmmaßnahmen zum Tragen, die dann allerdings enorme Kosten verursachen. Die Verwendung abgeschirmter Leitungen, die Schirmung von Kabelsträngen oder im Extremfall von ganzen Räumen gehören dazu.

- Schirmung gegen elektrische und elektromagnetische Felder durch den Einsatz von Stahlpanzerrohren und metallische Kanalsysteme. Es ist darauf zu achten, daß die Abschirmungen keine geschlossenen Ringverbindungen (Maschen) bilden. Niederfrequente Magnetfelder werden dagegen durch diese Maßnahme in ihrer Auswirkung nicht oder nur unwesentlich geschwächt.
- Die teilweise oder vollständige Abschirmung von ganzen Räumen ist die teuerste und somit letzte Möglichkeit, elektromagnetische Störungen zu eliminieren. In Abhängigkeit von der Empfindlichkeit der Störsenke, die durch mehrere Störquellen beeinflusst werden kann, ist die Entscheidung zu treffen, ob Quelle oder Senke geschirmt werden. Am Aufwendigsten ist die Schirmung gegen niederfrequente bzw. statische Magnetfelder. Hier kommen Materialien hoher Permeabilität ($\mu_r > 1$) wie Mu-Metall zum Einsatz.
- Die Massung dient der Schutzfunktion und der Betriebserdung. Als Masse gilt die Gesamtheit aller untereinander verbundenen inaktiven Teile eines Betriebsmittels, die auch im Fehlerfall keine gefährliche Berührungsspannung annehmen können [11]. Das Massepotential sollte gegenüber dem Erdpotential niedrig gehalten werden. Schnellreagierende Abschaltglieder und Potentialausgleich sind als Schutzmaßnahme vorzusehen. Die Massung dient auch der Ableitung von Störströmen von Schirmen und Filtern. Das Schirmpotential wird dadurch so festgelegt, daß das Auftreten von Sekundärstrahlung vermieden wird. Die Ausführung kann sternförmig, flächenförmig oder hybrid erfolgen. Wichtig ist das Vermeiden von Schleifen, da andernfalls Störungen eingekoppelt werden. Hinweise zur praktischen Ausführung finden sich in [12]. Zu beachten sind dabei die sicherheitsrelevanten Aspekte (VDE-Bestimmungen), insbesondere [11] u. [13].

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorgeschlagenen Maßnahmen sind als Unterstützung eines EMV-Gesamtkonzeptes gedacht. Bevor aufwendigere EMV-Maßnahmen, die in der Regel mit hohen Kosten verbunden sind, durchgeführt werden, kann während der Bauplanungsphase bereits eine EMV-gerechte Raumaufteilung sowie die Berücksichtigung elementarer Regeln bezüglich der Leitungsverlegung zu einem wirkungsvollen Ergebnis führen. Dadurch lassen sich Abschirmmaßnahmen reduzieren oder sogar vollständig vermeiden. Nicht unterschätzt werden sollte auch die Schaffung eines Bewußtseins für die Problematik. Zusammen mit den durchgeführten Datenerfassungen stehen dadurch Informationen zur Verfügung, die bei der Lösung von Problemen, die erst später bzw. bei Nachinstallationen auftreten, sehr hilfreich sein können.

6. VERWENDETE ABKÜRZUNGEN UND BEZEICHNUNGEN (Einheiten in [])

[A]	Einheit des Stromes (Ampère)
B	Betrag der magnetischen Induktion (auch als Flußdichte bezeichnet); Einheit: Tesla [T]
BTA	Betriebstechnische Anlage
BZT	Bundesamt für Zulassung in der Telekommunikation
CE	Communautés Européennes; das CE-Zeichen als Produktkennzeichnung bestätigt die Konformität eines Produktes mit den EG-Richtlinien
E	elektrische Feldstärke (Betrag); Einheit: [V/m]
EHF	Extremely High Frequency, Frequenzen im Gigahertz-Bereich zwischen 30 und 300 GHz, unterhalb des Frequenzbereichs des infraroten Lichtes.
EMA	Elektromagnetische Aussendung
EMB	Elektromagnetische Beeinflussung
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
H	Betrag der magnetischen Erregung; Einheit: [A/m]
HF	High Frequency oder Hochfrequenz, Frequenzbereich zwischen 3 MHz und 30 MHz (kein eindeutig gebrauchter Begriff, oft wird lediglich zwischen LF bzw. NF und HF unterschieden)
[Hz]	Einheit der Frequenz (Hertz); $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$
LF	Low Frequency, Frequenzbereich zwischen 30 u. 300 kHz (kein eindeutig gebrauchter Begriff, oft lediglich zur Abgrenzung zur HF verwendet)
MF	Medium Frequency, Frequenzbereich zwischen 300 kHz u. 3 MHz
NF	Niederfrequenz, kein eindeutig gebrauchter Begriff, s.a. LF
SHF	Super High Frequency, Frequenzbereich zwischen 3 und 30 GHz
[T]	Einheit der magnetischen Induktion (Tesla); $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$
UHF	Ultra High Frequency, Frequenzbereich zwischen 300 MHz und 3 GHz
[V]	Einheit der Spannung (Volt)
VHF	Very High Frequency, Frequenzbereich zwischen 30 MHz und 300 MHz
VLF	Very Low Frequency, Frequenzbereich bis etwa 30 kHz
Z	hier Wellenwiderstand; in Luft beträgt der Wellenwiderstand $Z_0 = 377 \text{ Ohm}$ (neuere Bezeichnung: Γ_0). Der Wellenwiderstand errechnet sich für eine elektromagnetische Welle aus dem Betrag der Elektrischen Feldstärke geteilt durch den Betrag der Magnetischen Erregung. Er ist materialabhängig.
ZZF	Zentralamt für Zulassung im Fernmeldewesen

- Γ_0 Wellenwiderstand bei Ausbreitung im freien Raum (s.a. Z)
- ε Dielektrizitätskonstante $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$, mit $\varepsilon_0 = 0,885 \cdot 10^{-11}$ As/Vm (Naturkonstante) und ε_r (Materialkonstante, = 1 für Luft)
- μ Permeabilität $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$, mit $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am (Naturkonstante) und μ_r (Materialkonstante, = 1 für Luft)

7. LITERATUR

- [1] DIN 57870/VDE 0870 Teil 1; Elektromagnetische Beeinflussung (EMB), Begriffe; Hrsg.: Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE); Beuth Verlag GmbH, Berlin 1984
- [2] Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG) vom 9. 11. 1992; Bundesgesetzblatt Teil I, 1992, S. 1864-1870
- [3] S. Alber; Streufelder von Transformatoren; Referat an der Technischen Akademie Esslingen vom 10. 5. 1988
- [4] --; Berücksichtigung der elektromagnetischen Verträglichkeit bezogen auf die Installation und den Betrieb; Vortrag vor der Fachvereinigung Krankenhaustechnik am 6. 5. 1992; Siemens AG, Bereich Medizinische Technik, Erlangen
- [5] DIN-VDE 0107; Starkstromanlagen in Krankenhäusern und medizinisch genutzten Räumen außerhalb von Krankenhäusern; Hrsg.: Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE); Beuth Verlag GmbH, Berlin 1989
- [6] --; Magnetom, Ganzkörper-Kernspintomographen; Technische Unterlagen der Siemens AG, Bereich Medizinische Technik, Erlangen
- [7] DIN 57847/VDE 0847/DIN-VDE 0847; Meßverfahren zur Beurteilung der elektromagnetischen Verträglichkeit, Teil 1: Messen leitungsgeführter Störgrößen, Teil 2 (Entwurf): Störfestigkeit gegen Leitungsgeführte Störgrößen, Teil 4 (Entwurf): Störfestigkeit gegen gestrahlte Störgrößen; Hrsg.: Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE); Beuth Verlag GmbH, Berlin 1981 und 1987
- [8] VG 95370; Elektromagnetische Verträglichkeit, Elektromagnetische Verträglichkeit von und in Systemen, Teil 12: Meßverfahren für Störfeldstärken; Hrsg.: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung; 1987
- [9] VG 95377; Elektromagnetische Verträglichkeit, Teil 10: EMV-Meßeinrichtungen; Hrsg.: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung; 1987
- [10] VG 95374; Elektromagnetische Verträglichkeit, Teil 4 (Vornorm): Programme und Verfahren, Verfahren für Systeme ; Hrsg.: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung; 1981
- [11] DIN VDE 0160 (Entwurf); Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln; Hrsg.: Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE); Beuth Verlag GmbH, Berlin 1990

- [12] VG 95375; Elektromagnetische Verträglichkeit, Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung von Systemen, Teil 6: Messung; Hrsg.: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung; 1979
- [13] DIN VDE 0100; Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V, Teil 540: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel, Erdung, Schutzleiter, Potentialausgleichsleiter; Hrsg.: Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE); Beuth Verlag GmbH, Berlin 1991
- [14] Meyer, H.; Einführung in die elektromagnetische Verträglichkeit EMV; Text zur Vorlesung im SS 1992, Universität Hannover
- [15] Pauli, P.; Einstrahlung? - Abschirmung; Elektronik 18/1988, S. 92-95; Franzis Verlag, München
- [16] --; EMV Raumabschirmung, Kabinen Bauteile Filter; Datenbuch 1983/84; Siemens AG, München
- [17] Hasse, P.; EMV-orientiertes Blitz-Schutzzonen-Konzept mit Beispielen aus der Praxis; Sonderdruck Nr. 24 der Firma Dehn + Söhne GmbH & Co. KG, 1991

weitere Literatur:

- [18] Habiger, E.; Elektromagnetische Verträglichkeit. Grundzüge ihrer Sicherstellung in der Geräte- und Anlagentechnik; Hüthig Verlag, Heidelberg 1992
- [19] Peier, D.; Elektromagnetische Verträglichkeit; Hüthig Verlag, Heidelberg 1990
- [20] Schwab, A.; Elektromagnetische Verträglichkeit; Springer Verlag, Berlin 1990
- [21] Wilhelm, J. u.a.; Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Expert Verlag, Ehningen; 4. Aufl. 1989

Eine Zusammenstellung EMV-relevanter Normen bieten die im Beuth Verlag, Berlin erschienenen DIN Taschenbücher 515 (DIN/VDE-Normen) und 516 (VG-Normen)

Bearbeitung:

Hans-Rüdiger Drings (Obmann)	Kiel,	Finanzministerium Schleswig-Holstein
Eberhard Frey	Ulm,	Staatl. Hochbau- und Universitätsbauamt
Manfred Kahle	Hannover,	HIS Hochschul-Informations-System GmbH
Ralf-Dieter Person	Hannover,	HIS Hochschul-Informations-System GmbH

