

Thema: Elektromagnetische Verträglichkeit	Datum: .....
Name: .....	Seite: 1 von 7

Aus der Physik ist Bekannt: Verschiedenartige Pole ziehen sich an, und gleichartige Pole stoßen sich ab. Nach diesem Prinzip richtet sich auch eine Kompaßnadel im Erdmagnetfeld aus.

Wie stark sind nun magnetische Felder im täglichen Leben? Wird z.B. eine 60 Watt Schreibtischlampe eingeschaltet, erzeugt der Wechselstrom in beiden Adern der Leitung jeweils ein Magnetfeld. Da die beiden Adern im Stromkabel eng zusammenliegen und die Stromrichtung entgegengesetzt ist, heben sich die Felder weitgehend auf. So werden in 5 cm Abstand nur noch ca. 0,2  $\mu\text{T}$  gemessen. Wären die beiden Leitungen dagegen weiter voneinander getrennt (z. B. bei Halogendeckenlampen), wäre das Magnetfeld in 5 cm Abstand wesentlich stärker, nämlich ca. 6,6  $\mu\text{T}$  (an beiden Leitungen!). Erst in einer Entfernung von ca. 1,5 Metern sinkt der Wert wieder auf 0,2  $\mu\text{T}$ .

Mit wachsendem Abstand von der Stromleitung nimmt die Stärke des Magnetfeldes ab. Liegen Hin- und Rückleitung dicht beieinander, heben sich die Magnetfelder teilweise gegenseitig auf.

Nach dem Ausschalten der Lampe ist der Stromfluß gestoppt und das Magnetfeld verschwindet. Bleibt das Lampenkabel an die Steckdose angeschlossen, erzeugt die Spannung auf der Leitung (auch ohne daß ein Strom fließt) ein elektrisches Feld. Die Stärke des elektrischen Feldes wird in Volt pro Meter (V/m) angegeben. Auch diese Feldstärke nimmt mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab. Erst wenn auch der Stecker herausgezogen wird, ist das elektrische Feld verschwunden.

In der Leitung zur Lampe fließt ein Wechselstrom, die Stromrichtung wechselt also in rascher Folge hin und her (50mal in einer Sekunde). Diese Frequenz gilt auch für die mitschwingenden Felder. Die Wirkung dieser Felder ändert sich mit der Frequenz. Dabei werden hauptsächlich zwei Bereiche unterschieden:

1. **Niederfrequenzbereich** (bis 30 000 Hz bzw. 30 Kilohertz)
2. **Hochfrequenzbereich** (von 30 Kilohertz bis 300 Gigahertz)

Das gesamte elektromagnetische Spektrum reicht vom Wechselstrom über Rundfunk und Mikrowellen bis hin zur Infrarot- und UV - Strahlung und zur radioaktiven Gammastrahlung. Mit zunehmender Frequenz erfolgt eine enge Verbindung des elektrischen und magnetischen Feldes zum elektromagnetischen Feld. Dieser Umstand macht eine gemeinsame Messung sinnvoll (die Betriebsfrequenzen für Radio- und Fernsehsender, Mobilfunksender, Radargeräte und verschiedene Mikrowellengeräte gehören beispielsweise in diesen Bereich). Bei Frequenzen von weniger als 30 kHz ist dagegen eine getrennte Messung und Darstellung von elektrischen und magnetischen Feldern zweckmäßig.

Niederfrequente magnetische Felder durchdringen die meisten Materialien fast ungehindert. Deshalb ist die Stärke der Magnetfelder beispielsweise in Gebäuden praktisch genauso groß wie außerhalb.

Niederfrequente magnetische Felder sind durchdringend.

Thema: Elektromagnetische Verträglichkeit	Datum: .....
Name: .....	Seite: 2 von 7

In leitenden Gegenständen (z. B. im menschlichen Körper) werden durch Magnetfelder unter anderem sogenannte Wirbelströme ausgelöst. Unter einer Hochspannungsleitung ändert sich die Richtung von Strömen im Takt des Wechselstroms der Leitung. Die magnetischen Wechselfelder erzeugen also im Körper Wechselströme der gleichen Frequenz.

Während sich die magnetischen Felder einer Hochspannungsleitung in Gebäuden fast ungehindert ausbreiten, werden die elektrischen Felder stark verringert (um ca. 90 %).

Niederfrequente elektrische Felder sind abschirmbar.

Bei ideal leitenden Gegenständen (z.B. in einem Auto) wird das elektrische Feld vollkommen abgeschirmt. Deshalb bieten Autos als sogenannter "Faradayscher Käfig" einen sicheren Schutz bei Gewitter.

Hochfrequente elektromagnetische Felder breiten sich wellenförmig aus. Sie werden deshalb auch Wellen oder Strahlen genannt. Auch sie schwächen sich über größere Entfernungen ab. Aus diesem Grunde haben Radio- und Fernsehsender nur eine begrenzte Reichweite. Wie tief diese Felder in den menschlichen Körper oder in Geräte eindringen und was sie dort bewirken, ist von der Frequenz abhängig.

Hochfrequente elektromagnetische Felder sind eindringlich.

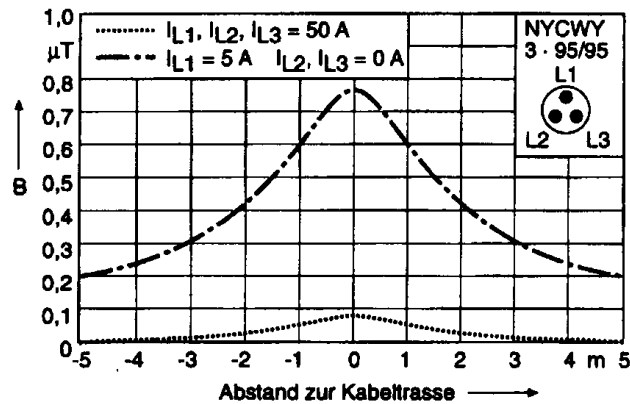
Die Energie dieser Felder, die pro Sekunde auf eine Fläche fällt, wird in Watt pro Quadratmeter ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) gemessen.

Menschen und Geräte sind in allen Bereichen des täglichen Lebens von elektromagnetischen Feldern umgeben. Bei Geräten wurde schon seit langer Zeit festgestellt, daß ihre Funktion durch Felder, die andere Geräte oder Installationsanlagen aussenden, beeinträchtigt werden kann. Durch Messungen wurde erkannt, daß die Beeinflussung von der Stärke der Felder abhängig ist.

Unter Hochspannungsfreileitungen z.B. sind die Felder sehr stark, weil die Leitungen aus Isolationsgründen nicht dicht aneinander geführt werden können. Bei Erdkabeln (kleinere Spannungen) kann das elektrische Feld fast völlig abgeschirmt werden: Das ist zum einen auf die Metallhüllen um die Kabel, zum anderen auf die isolierende Wirkung des Erdreichs zurückzuführen. Die geringeren Abstände zwischen den Adern sorgen für eine deutlich bessere Kompensation der Magnetfelder im Vergleich zu Freileitungen.

Nur unmittelbar über Kabeln können noch Werte auftreten, die sich mit denen oberirdischer Hochspannungsleitungen vergleichen lassen.

Das folgende Diagramm zeigt den Verlauf des Magnetfeldes in 1,3 m Höhe über einem Mehrleiter-Niederspannungskabel mit symmetrischer und unsymmetrischer Belastung



Auch in der Nähe von Transformatoren ist das magnetische Feld durch die Spulen besonders hoch.

Neben Leistungstransformatoren wird erstaunlicherweise ungefähr die gleiche magnetische Induktion gemessen wie neben Geräten der Unterhaltungselektronik und Klingeltransformatoren.

Der Grund dafür ist im Aufbau des jeweiligen Transformators zu finden. Die aktiven Teile eines Leistungstransformators werden meistens in einem Metallkessel untergebracht (aus Kühlungs- und Isolationsgründen), der eine gute Abschirmung bewirkt. In den anderen Fällen werden nur einfache Transformatoren eingesetzt, die große magnetische Felder verursachen.

Klingeltransformatoren und Geräte der Unterhaltungselektronik werden in der Regel nur auf der Niederspannungsseite ausgeschaltet.

Bei ausgeschaltetem Gerät fließt daher noch etwas Strom durch die Zuleitung und die Netzspannungsseite der Transformatoren. Die Folgen sind vermeidbare magnetische Felder und Energieverluste.

Ganz besonders in Mehrfamilienhäusern summieren sich die Felder von zahlreichen Verbrauchern. Elektrogeräte wie Kühlschrank, Staubsauger, Waschmaschine, Fernseher oder Radio gehören zur Grundausstattung der meisten Haushalte. Dazu kommen ständig neue Geräte, die oft im Dauerbetrieb eingesetzt werden. Dadurch entsteht nicht nur ein höherer Stromverbrauch, sondern auch ein Zuwachs an elektromagnetischen Feldern.

Felder entstehen nicht nur in den Geräten, sondern auch in den Steigleitungen der Gebäude. Deren magnetische Feldstärke bemisst sich nach der Summe aller jeweils gerade eingeschalteten Geräte.

In einem Mehrfamilienhaus wurden zur Mittagszeit direkt an der Steigleitung schon Magnetfelder zwischen 5 und 25 Mikrottesla gemessen. Dabei war in der betroffenen Wohnung kein einziges Gerät eingeschaltet!

**Niederspannungs-Halogenlampen** können **kräftige** und **großflächige Magnetfelder** verursachen. Besonders kritisch ist es, wenn die Zuleitungen unter der Decke verspannt sind. Werden die Halogenlampen mit 12 Volt statt 230 Volt betrieben, ist der Strom (und damit auch das Magnetfeld) auf der Sekundärseite des Trafos fast 20mal so groß wie auf der Primärseite (und in der Zuleitung). Hinzu kommt noch, daß die Hin- und die Rückleitung an der Decke oft so weit auseinander montiert sind, daß sich die beiden Felder gegenseitig kaum aufheben können.

Die Magnetfelder der Halogenanlage sind in den darüberliegenden Räumen meistens noch meßbar.

Die folgende Tabelle zeigt magnetische Felder von Haushaltsgeräten:

Gerät	Magnetische Feldstärke in $\mu\text{T}$ Gerät bei einem Abstand vom Gerät von		
	3 cm	30 cm	100 cm
Bohrmaschine	400-800	2-3,5	0,08-0,2
Bügeleisen	8-30	0,12-0,3	0,01-0,03
Computer	0,5-3,0	< 0,01	
Elektrischer Dosenöffner	1000-2000	3,5-30	0,07-1
Fernsehgerät	2,5-50	0,04-2	0,01-0,15
Geschirrspüler	3,5-20	0,6-3	0,01-0,3
Haarfön	6-2000	0,01-7	0,01-0,3
Heizofen	10-180	0,15-5	0,01-0,25
Kleintransformator	135-150	0,60-1,05	0,24
Küchenherd	1-50	0,15-0,5	0,01-0,04
Kühlschrank	0,5-1,7	0,01-0,25	< 0,01
Leuchtstofflampe (Gasentladung)	40-400	0,5-2	0,02-0,25
Mikrowellengerät	73-200	4-8	0,25-0,6
Monitor (Farbe)	5,6-10	0,45-1,0	< 0,01-0,03
Staubsauger	200-800	2-20	0,13-2
Toaster	7-18	0,06-0,7	< 0,01
Trockenrasierer	15-1500	0,08-9	0,01-0,3
Videorecorder	1,5	< 0,1	< 0,01
Waschmaschine	0,8-50	0,15-3	0,01-0,15
Wasserkochtopf (1 kW)	5,4	0,08	< 0,01

Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz, 1995

Aus der oberen Tabelle ist klar zu erkennen, daß die Feldstärken gleichartiger Geräte stark variieren können und daß die Stärke der magnetischen Felder mit zunehmendem Geräteabstand deutlich abnimmt. Besonders in der Nähe von Bahntrassen entsteht je nach Zugverkehr eine große Bandbreite magnetischer Feldstärken.

Thema: Elektromagnetische Verträglichkeit	Datum: .....
Name: .....	Seite: 5 von 8

Feldwerte wie unter einer 420-kV-Höchstspannungsleitung wurden noch in 50 Meter Entfernung von einer ICE-Strecke nachgewiesen.

Transformatoren, Kabel und Stromschienen zählen zu den Störquellen, die vor allem ein magnetisches Feld verursachen.

Beim Einsatz von Niederspannungstransformatoren ist aufgrund ihres Aufbaus und der Zugänglichkeit eine größere Gefährdung zu erwarten als bei Leistungstransformatoren.

Kabel haben bei symmetrischer Belastung und kleinen Abständen zwischen den stromführenden Leitern ein geringes magnetisches Umfeld.

In der Praxis muß zwischen der magnetischen Wirkung auf Menschen (und Tiere) und von Geräten bzw. auf Geräte unterscheiden werden.

### **Elektromagnetische Wirkung auf Menschen**

Der menschliche Körper ist **elektrisch leitfähig**, weil sich in der Körperflüssigkeit positiv sowie negativ geladene Teilchen frei bewegen. Diese Ladungsträger reagieren auf **elektrische** und **magnetische Felder**. Die Wirkung der dadurch ausgelösten Effekte im Körper ist z. B. abhängig von

- der Stärke und Frequenz der Felder,
- dem Zustand der betroffenen Gewebe (z.B. Wassergehalt) und
- dem Aufbau der betroffenen Körperteile.

Daß elektromagnetische Felder Wirkungen im menschlichen Körper auslösen können, ist unbestritten; über eventuelle Folgen bestehen jedoch gravierende Meinungsverschiedenheiten. An dieser Stelle sollen einige Erkenntnisse wartungsfrei aufgezählt werden.

#### Unbestrittene Wirkungen

Niederfrequente Felder üben Kraftwirkungen auf die geladenen Teilchen im menschlichen Körper aus und führen damit zum Fluß von kleinen Wechselströmen. Bei der Grenzwertsetzung wird davon ausgegangen, daß Gehirn und Herz am empfindlichsten sind. Mit den Grenzwerten sollen Reizwirkungen an Nerven- und Muskelgewebe verhindert werden.

Es ist erforscht, daß jede lebende Körperzelle elektrisch aktiv ist: An ihrer Außenmembran läßt sich eine elektrische Spannung von 50 bis 100 mV messen. Die "erregbaren" Nerven- und Muskelzellen können schon durch elektrische Reize von ca. 20 mV so beeinflußt werden, daß sie Impulse im Nervensystem und im Muskelgewebe auslösen. Diese bioelektrischen Vorgänge sind z.B. für die schnellen und lebensnotwendigen Reaktionen des Nervensystems und der Muskulatur von Tieren und Menschen auf äußere Reize verantwortlich.

Thema: Elektromagnetische Verträglichkeit	Datum: .....
Name: .....	Seite: 6 von 8

Elektrische und magnetische Felder können zu akuten und dauerhaften Schädigungen führen, wenn sie im Nerven- und Muskelgewebe zu starke Ströme erzeugen.

Ein magnetisches Wechselfeld mit 50 Hz kann ab ca. 150 000  $\mu\text{T}$  zu Reizwirkungen am Gehirn führen. Ab 100 000  $\mu\text{T}$  wird das Herzkammerflimmern ausgelöst. Zusätzlich zu diesen Reizwirkungen kann es bei höheren Feldstärken und längeren Einwirkungen der Felder auch zur Erwärmung des Gewebes kommen, bis hin zu Verbrennungen.

Hochfrequente elektromagnetische Felder können im Körper ebenfalls Ströme erzeugen und zur Erwärmung führen.

Im Mikrowellenbereich kommt die Wärmeerzeugung meist durch einen anderen Effekt zustande: Vor allem Wassermoleküle werden in Schwingungen versetzt und lassen durch ihre Reibung mit dem umliegenden Gewebe Wärme entstehen.

Die derzeit gültigen Grenzwerte für den Hochfrequenzbereich sollen sicherstellen, daß die Erwärmung des menschlichen Körpers oder einzelner Teile davon 0,1 Grad Celsius nicht übersteigt.

#### Strittige Effekte

Die bisher beschriebenen Wirkungen beruhen auf bekannten biophysikalischen Mechanismen. Andere Wirkungen wurden durch experimentelle Untersuchungen an Mikroorganismen, Zellkulturen, Versuchstieren und teilweise auch an Menschen nachgewiesen.

Es gibt Hinweise darauf, daß die Durchlässigkeit der Zellmembran bei einem magnetischen Feld von ca. 0,08  $\mu\text{T}$  verändert wird. Weiterhin kann unter dem Einfluß elektromagnetischer Felder die Zellteilungsaktivität sowohl stimuliert als auch gehemmt werden. Bei einigen Tierarten wurden erhöhte Mißbildungsraten beobachtet. Wegen der unzureichenden Wiederholbarkeit der Einzelergebnisse gelten diese Effekte allerdings nicht als bewiesen. Über Einflüsse auf Hormone und das Immunsystem wurde in einigen Forschungsergebnissen berichtet.

Solange Einflußmöglichkeiten auf Lebewesen nicht ausgeschlossen werden können, sollten bei der Planung und Nutzung elektrischer Anlagen und Geräte einige Sicherheitsvorschläge zumindest bedacht werden.

Die Verbraucherzentralen empfehlen, einen Vorsorgewert von 0,2  $\mu\text{T}$  als Dauerbelastung im direkten menschlichen Umfeld nicht zu überschreiten.

#### **Elektromagnetische Wirkung auf Geräte und von Geräten**

Seit Januar 1996 müssen elektrische Geräte, elektronische Produkte und Neuinstallationen in Gebäuden die Schutzziele der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) einhalten.

Thema: Elektromagnetische Verträglichkeit	Datum: .....
Name: .....	Seite: 7 von 8

Die EMV umfaßt den Komplex der Störaussendung (Emission) und den der Störfestigkeit (Immunität) im Frequenzbereich von 0 Hz bis 400 GHz.

Das trifft zu, gleichgültig ob es sich um ein einzelnes frei käufliches Modul oder Gerät oder um eine komplette Gebäudeinstallation handelt. Der Begriff Gerät wird im EMVG (§ 2 Abs. 4) definiert. Danach sind alle elektrischen und elektronischen Apparate, Anlagen und Systeme, die elektrische oder elektronische Bauteile enthalten, betroffen. Um den Verbraucher darüber zu informieren, daß ein Produkt die EMV - Bedingungen erfüllt, muß es mit dem CE - Zeichen (Conformité Européenne) versehen sein. Ein möglicher Weg zum Nachweis ist die Übereinstimmung mit gültigen Normen, z.B. mit den Klassifikationen der VDE 0875 und VDE 0750 (Norm für medizinische elektrische Geräte und Systeme).

Die Vorgaben für die EMV sind von den Firmen sehr ernst zu nehmen, da inzwischen eine Marktüberwachung aufgebaut worden ist. Hersteller und Anlagenerrichter, die Produkte ohne CE - Kennzeichen auf den Markt der EU bringen bzw. die Einhaltung der Schutzziele der Richtlinie nicht beachten, können zu empfindlichen Strafen herangezogen werden.

Nachfolgend soll auf einige mögliche EMV - Probleme bei einer Gebäudeinstallation hingewiesen werden:

- ⚡ UKW- oder TV-Sender können in Gebäude einstrahlen und PC-Systeme oder andere elektrische und elektronische Einrichtungen stören.
- ⚡ Rechner- und Kommunikationstechnik (Zentralrechner, PC, Telefon, Fax) kann durch andere Systeme (z. B. Aufzug, Klimaanlage, Heizungssteuerung) gestört werden.
- ⚡ Funkbetriebene Kommunikationssysteme in Bahnen oder PKW können die Gebäudetechnik beeinträchtigen.
- ⚡ Niederfrequente Magnetfelder von Trafos sowie Mittelspannungsschaltanlagen können benachbarte Monitore beeinflussen.
- ⚡ Die Telefonanlage kann PC - Netze beeinflussen.
- ⚡ Der Aufzug kann Studios, medizinische Labore oder andere Testräume stören.
- ⚡ Klimaanlage und Heizung können Störfelder für PC und Busleitungen erzeugen.
- ⚡ Eine Rolltreppe kann erhebliche Störungen des Hausnetzes bewirken.
- ⚡ Die Beleuchtungsanlage kann PC-Netze stören.
- ⚡ Antennensysteme können sich gegenseitig beeinflussen und die Gebäudetechnik stören.
- ⚡ Besondere Gefahr besteht für hochsensible Spezialtechnik (z. B. in Rechenzentren und in der Medizintechnik). Sie müssen gesondert installiert und gegebenenfalls abgeschirmt werden.

Thema: Elektromagnetische Verträglichkeit	Datum: .....
Name: .....	Seite: 8 von 8

Grundsätzlich müssen Sender wie Empfänger elektromagnetisch verträglich sein, d.h., ein Sender soll die Umgebung nicht zusätzlich beeinflussen, und ein Empfänger muß eine ausreichende Störfestigkeit aufweisen. Bei elektrischen Einrichtungen ist zu beachten, daß ein Empfänger gleichzeitig ein Sender sein kann.