

EMV – Beeinflussungen, Störquellen und ihre Wirkung

R. Gehrke, Berlin

Die konkrete Bedeutung des Begriffs EMV ist vielen noch relativ unklar. Welche Gesetze, Regeln und Normen es gibt und wie groß die darin geforderten Grenzwerte sind wurde in [1] behandelt. Im folgenden Beitrag werden mögliche Störquellen und ihre Wirkung genannt und die Beeinflussungsmechanismen aufgezeigt.

1 Mögliche Störquellen und ihre Wirkung

Störquellen im **hochfrequenten Bereich** können durch den Betrieb von Sendeanlagen, Mobilfunkanlagen, elektronischen Geräten oder Schaltheilungen entstehen.

In Tafel 1 sind die Leistungen, Betriebsfrequenzen sowie deren Expositionswerte in ausgewählten Abständen zusammengestellt. Die Richtwerte des Strahlenschutzes werden in der Regel in den zugänglichen Abständen eingehalten. Sollte es zu Störungen an elektrotechnischen und elektronischen Geräten kommen, ist nur eine Abschirmung der betreffenden Geräte zu empfehlen.

In den Tafeln 2 und 3 sind typische Werte von magnetischen und elektrischen Feldern im **niederfrequenten Bereich** zusammengestellt, wie sie in der Nähe von Haushaltsgeräten auftreten.

An der Oberfläche von Haushaltsgeräten können durchaus Werte über 100 μT (Grenzwert gemäß der 26. BImSchV) auftreten. Es zeigt sich jedoch, dass bereits nach wenigen Zentimetern dieser Wert erheblich unterschritten wird. Darüber hinaus ist zu beachten, dass diese Geräte nur kurzzeitig betrieben werden und der Grenzwert der 26. BImSchV für eine Dauereinwirkung von magnetischen Feldern gilt.

Die elektrischen Feldstärken in der Nähe von Haushaltsgeräten werden in keinem hier aufgeführten Fall überschritten. Gemäß 26. BImSchV sind bei einer Dauereinwirkung 5 kV/m zulässig.

Weitere mögliche Störquellen im niederfrequenten Bereich können Bahnanlagen und Teile von Energieversorgungsanlagen sein, z. B. Freileitungen, Kabel, Stromschienen, Transformatoren und Verteilungsanlagen. Durch diese Anlagen können vor allem elektronische Geräte gestört werden, die

ggf. einzeln abzuschirmen sind. Zum Schutz der Allgemeinheit wurde vom Länderausschuss für Immissionsschutz eine Empfehlung herausgegeben, in der Schutzbereiche zu Energieversorgungs- und Bahnanlagen

Tafel 3 Elektrische Feldstärken von Haushaltsgeräten in unterschiedlichen Abständen [5][6]

Gerät in cm	Abstand in V/m	Elektrische Feldstärke
Heizdecke	1	4500
Elektrorasierer	1	100
Boiler	30	260
Bügeleisen	30	120
Haarfön	30	80
Farbfernseher	30	60
Kaffeemaschine	30	60
Staubsauger	30	50
Uhr (Netzbetrieb)	30	30
Elektrischer Kochherd	30	8
Bildschirm MPR II	50	25

Tafel 1 Elektromagnetische Felder in der Umgebung von ortsfesten und mobilen hochfrequenten Anlagen [2]

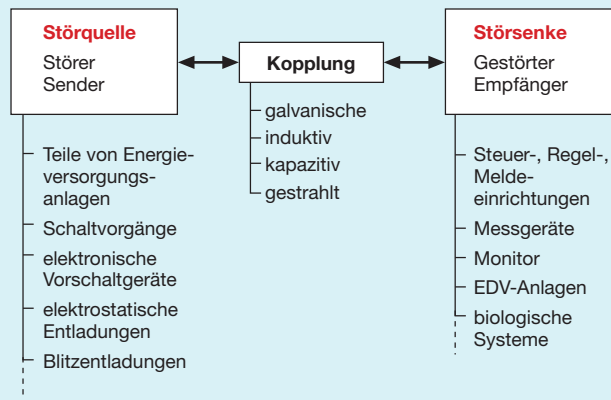
Quelle	Frequenz/ Leistung	Abstand	Typische Werte der Exposition	Strahlenschutz- Richtwerte
Rundfunksender				
• Mittelwelle	1,4 MHz 1,8 MW	50 m 300 m	450 V/m 90 V/m	73,5 V/m
• Kurzwelle	6 – 10 MHz 750 kW	50 m 200 m	121,5 V/m 27,5 V/m	27,5 – 36 V/m
• UKW	88 – 108 MHz ≤ 100 kW	etwa 1,5 km	$< 0,05$ W/m ²	2 W/m ²
Fernsehsender				
• VHF	174 – 216 MHz ≤ 300 kW	etwa 1,5 km	$< 0,02$ W/m ²	2 W/m ²
• UHF	470 – 890 MHz ≤ 5 MW	etwa 1,5 km	$< 0,005$ W/m ²	2 – 4 W/m ²
Mobilfunk				
• Basisstation D-Netz	890 – 960 MHz ≤ 50 W je Kanal	etwa 50 m	0,001 W/m ²	4 W/m ²
• Antenne am Mobiltelefon (Telefonhörer)	890 – 960 MHz	3 cm	< 2 W/m ²	SAR < 2 W/kg wird bis 2 W eingehalten
Mikrowellen- kochgeräte	2,45 GHz (1 – 1,5 kW [3], S. 90)	5 cm 30 cm	0,62 W/m ² $< 0,06$ W/m ²	5 cm von der Oberfläche < 50 W/m ²
Diebstahlsiche- rungssysteme	0,9 – 10 GHz	im Nutzstrahl	$< 0,002$ W/m ²	5 – 10 W/m ²

Tafel 2 Magnetische Flussdichten von Haushaltsgeräten in unterschiedlichen Abständen [4]

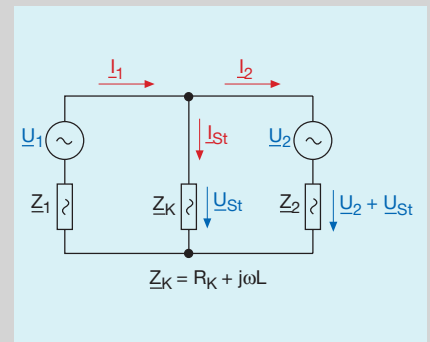
Gerät	Magnetische Flussdichte [in μT] im Abstand von		
	3 cm	30 cm	100 cm
Haarfön	6 – 2000	0,01 – 7	0,01 – 0,3
Trockenrasierer (Schwinganker)	15 – 1500	0,08 – 9	0,01 – 0,3
Bohrmaschine	400 – 800	2 – 3,5	0,08 – 0,2
Staubsauger	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
Mikrowellengerät	73 – 200	4 – 8	0,25 – 0,6
Radio (tragbar)	16 – 56	1	$< 0,01$
Küchenherd	1 – 50	0,15 – 0,5	0,01 – 0,04
Bügeleisen	8 – 30	0,12 – 0,3	0,01 – 0,03
Computer	0,5 – 3	$< 0,01$	
Uhr (Netzbetrieb)	300	2,25	$< 0,01$
Heizofen	10 – 180	0,15 – 5	0,01 – 0,25
Fernsehgerät	2,5 – 50	0,04 – 2	0,01 – 0,15
Kleintransformator	153 – 150	0,6 – 1,05	0,24

Autor

Prof. Dr.-Ing. Renate Gehrke unterrichtet an der Berliner FHTW im Fachbereich Ingenieurwissenschaften.



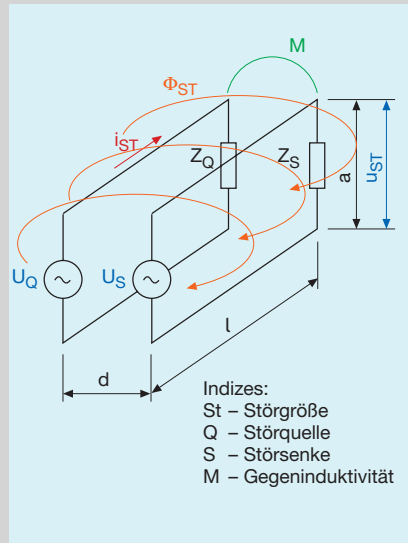
1 EMV-Modell für Störquelle, Kopplung und Störsenke



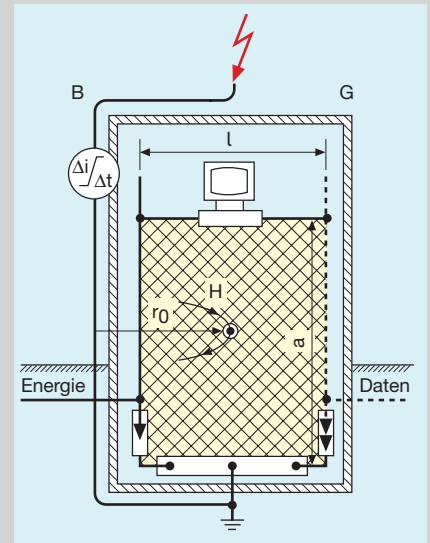
2 Ersatzschaltbild der galvanischen Kopplung

Tafel 4 Schutzbereiche gemäß den Empfehlungen des Länderausschusses für Immissionsschutz [7]

Freileitungen	Breite des jeweils an den ruhenden äußeren Leiter angrenzenden Streifens
380 kV	20 m
220 kV	15 m
110 kV	10 m
< 110 kV	5 m
Erdkabel	Bereich im Radius um das Kabel 1 m
Bahnoberleitungen	Breite des jeweils zu beiden Seiten an das elektrifizierte Gleis angrenzenden Streifens, von Gleismitte 10 m
Umspannanlagen/Unterwerke	Breite des jeweils an die Anlage angrenzenden Streifens 5 m
Ortsnetzstationen/Transformatoren	Breite des jeweils an die Einhausung angrenzenden Streifens 1 m



3 Prinzipielle Anordnung für eine induktive Beeinflussung



4 Induktive Beeinflussung durch Leiter-schleifen bei Blitzenntladungen [10]

enthalten sind. In Tafel 4 sind diese Werte zusammengestellt. Auf die detaillierte Verteilung der elektrischen und magnetischen Felder um Energieversorgungs- und Bahnanlagen soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

2 Beeinflussungsmechanismen

Das Zusammenwirken von der Störquelle (auch Störer oder Sender) auf der einen Seite und der Störsenke (auch Gestörter oder Empfänger) auf der anderen Seite wird im Bild 1 verdeutlicht. Nicht alle Anlagenteile lassen sich immer eindeutig der Störquelle oder der Störsenke zuordnen. Es besteht zwischen diesen eine Wechselwirkung. Die Beeinflussungsmöglichkeiten zwischen Störquelle und Störsenke wird auch als Kopplung bezeichnet. Es gibt vier Grundkopplungsarten, die galvanische, induktive, kapazitive Kopplung und die Strahlung, die selten einzeln auftreten. Nachfolgend werden die Kopplungsarten vorgestellt.

2.1 Galvanische Kopplung

Eine galvanische Beeinflussung setzt eine direkte Verbindung zwischen verschiedenen Stromkreisen voraus. Diese kann über

gemeinsame Leiter (z. B. Bezugsleiter), Schutz- oder Erdungsleitungen, über Masseverbindungen oder über gemeinsame Impedanzen erfolgen. Die prinzipielle Anordnung ist in Bild 2 dargestellt.

Die Impedanz des gemeinsamen Leitungstücks wird als Koppelimpedanz Z_K bezeichnet und kann mit Hilfe von Gleichung (1) berechnet werden:

$$Z_K = R_K + j\omega L \quad (1)$$

Die Koppelimpedanz hat einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Störspannung u_{St} , die sich mit der Betriebsspannung des Senkenkreises U_2 überlagert. Die Störspannung u_{St} ergibt sich aus:

$$u_{St} = R_K i_{St} + L_K (di_{St}/dt) \quad (2)$$

mit

$$R_K = \frac{l}{\kappa \cdot A} = R_K' \cdot l \quad (3)$$

Induktivität eines langen parallelen Leiters [8]

$$L_K = \frac{l \cdot \mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{d}{r} + \frac{1}{4} \right) \quad (4)$$

l einfache Leitungslänge
 d Abstand der parallelen Leiter
 r Leiterradius

Induktivität von rechteckförmigen Leitern (Bändern) [9]

$$L_K = \frac{l \cdot \mu_0}{\pi} \ln \left(1 + \frac{b}{a+b} \right) \quad (5)$$

a Bandbreite
 b Banddicke

Bei niederfrequenten Störströmen I_{St} überwiegt der ohmsche Anteil und bei hochfrequenten Störströmen (z. B. durch Schaltvorgänge hervorgerufen) der induktive Anteil. Der Betriebsstrom ist wesentlich kleiner als der Störstrom und die Störspannung nimmt in diesem Fall eine Größenordnung an, die die Betriebsspannung im Senkenkreis kaum beeinflusst.

Gegenmaßnahmen: Diese lassen sich zum größten Teil schon aus den Berechnungsgleichungen herleiten. Dazu gehören [10]:

- kürzestmögliche Leitungslängen l (kompakte Bauweise, sternförmige Verkabelung der Stromversorgung mehrerer Geräte)
- angemessene große Leiterquerschnitte A (Zum Teil bis 100 mm² und mehr für Bezugsleiter erforderlich, wenn die Störspannung wirksam herabgesetzt werden soll.)
- geringe Leiterabstände d bei parallelen

Leitern (Hin- und Rückleiter dicht beieinander führen)

- impedanzarme, insbesondere induktivitätsarme Ausführung von Leitungen und Leitungszügen wie Bezugspotentialleiter, Stromversorgungs- und Erdungsleitungen, die zu mehreren Stromkreisen gehören (auch flache, bandförmige Leiterprofile einsetzen)
- di_{St}/dt klein halten (ist selten realisierbar)
- vermeiden galvanischer Verbindungen zwischen Systemen, die voneinander unabhängig sind und zwischen denen kein Informationsaustausch vorgesehen ist (Einsatz von Trenntransformatoren, Optokopplern, Symmetrierungsschaltungen oder Lichtwellenleitern, je nachdem wie hoch die Frequenz des Störstroms ist).

2.2 Induktive Kopplung

Ursache für die induktive Kopplung ist die Flussverkettung Φ_{St} zwischen verschiedenen Betriebsstromkreisen. Störströme i_{St} können auch durch Blitzentladungen oder einer elektrostatischen Entladung hervorgerufen werden. Wie aus Bild 3 zu entnehmen ist, bestimmt vor allem die Gegeninduktivität M die Höhe der Störspannung u_{St} :

$$u_{St} = M (di_{St}/dt) \quad (6)$$

Die Gegeninduktivität zwischen parallelen Stromkreisen wird gemäß der im Bild 3 dargestellten Anordnung ermittelt über

$$M = (\mu_0 l / 2\pi) \ln[1 + (a/d)^2] \quad (7)$$

a Abstand der Leitungen im Senkenstromkreis (z. B. Messleitungen)

d Abstand zwischen Stör- und Senkenstromkreis

l parallellaufende Leitungslänge.

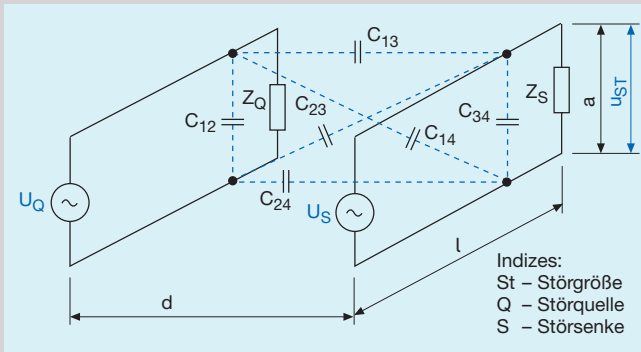
Im Senkenstromkreis wird eine Spannung in Abhängigkeit des diesen Kreis durchsetzenden magnetischen Fluss Φ_{St} induziert. Durch die Induktionsspannung wird ein Strom im Senkenkreis hervorgerufen, der eine Störspannung u_{St} über Z_S bewirkt. Neben der Größe des magnetischen Flusses Φ_{St} ist die Fläche $a \cdot l$, die vom Fluss durchsetzt wird, und der Abstand d zwischen Stör- und Senkenstromkreis für die Höhe der Störspannung von entscheidender Bedeutung. Daher ist darauf zu achten, dass solche Flächen (z. B. Installationsschleifen) nicht in der Nähe von Stromkreisen mit hohen Strömen vorhanden sind. Ungewollt große Installationsschleifen können bei-

spielsweise, wie im Bild 4 [10] ersichtlich, durch einen unzuverlässigen Anschluss der Stromzuführung und der Datenleitung an einen Computer entstehen.

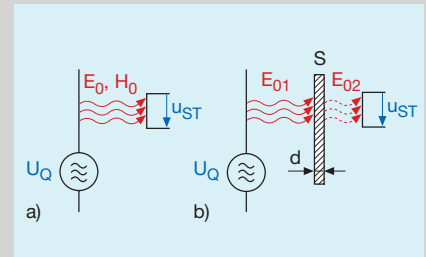
Bei Blitzentladungen können bei entsprechenden Abmessungen induzierte Störspannungen im kV-Bereich entstehen und nur durch einen zusätzlichen Überspannungsschutz [10] oder durch eine geeignetere Leitungsführung kann der Computer geschützt werden. In elektronischen Geräten genügen schon Abmessungen von Leiterschleifen von wenigen Zentimetern, um bei entsprechender magnetischer Feldwirkung Störspannungen in Größenordnung der Betriebsspannung hervorzurufen.

Gegenmaßnahmen:

- kurze parallelgeführte Leitungslängen l
- Minimierung der Installationsfläche $a \cdot l$
- großer Abstand d , z. B. zwischen Energie- und Informationsleitungen (nicht gemeinsam in einen Kabelbaum einbinden)
- Installieren einer Kurzschlusschleife in der Nähe des Senkenstromkreises, z. B. durch einen beidseitig geerdeten Kabelmantel (Stromtragfähigkeit des Kabelmantels beachten!)



5 Prinzipielle Anordnung für eine kapazitive Beeinflussung



6 Prinzipielle Anordnung für eine Strahlungsbeeinflussung a) und Anordnung mit Schirmwand b)

- Einsatz von verdrehten Leitungen (Durch die Induktionsfläche aufgeteilt und in benachbarten Flächen werden gegenläufige Ströme induziert, die sich in ihrer Wirkung weitestgehend aufheben.)
- Schirmen von Geräten, Kabeln und Leitungen durch
 - ferromagnetische Schirme (Mumetall, Rohre, Metallschläuche, Stahlblechgefäße), Empfehlung aus wirtschaftlichen Gründen, wenn die Frequenz des Störstroms $f_{St} < 100$ kHz ist
 - unmagnetische Schirme (Aluminium- und Kupfergeflechte, Gehäuse aus Kunststoff-Metall-Verbundmaterialien oder mit Leitlack beschichtete Kunststoffgehäuse) Empfehlung aus technologischen Gründen für $f_{St} > 100$ kHz.

2.3 Kapazitive Kopplung

Zwischen unterschiedlichen Potentialen baut sich ein elektrisches Feld auf und es kommt zu einem zusätzlichen Verschiebungsstrom. Im Ersatzschaltbild (s. Bild 5) werden diese elektrischen Verbindungen über Kapazitäten dargestellt. Wenn der Störquellen- und der Störsenkenstromkreis auf gleiches Potential (Erde oder gemeinsame Bezugserde) gebracht werden, entfallen im Ersatzschaltbild die Kapazitäten C_{14} , C_{23} und C_{24} . Die Störspannung ist dann im Wesentlichen von der Spannung im Störquellenstromkreis und von der Kapazität C_{13} abhängig. Die Kopplungskapazität ergibt sich nach [11] zu

$$C_{13} = \frac{\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot l}{\ln \left[\frac{d}{D} + \sqrt{\left(\frac{d}{D} \right)^2 - 1} \right]} \quad (8)$$

und ist abhängig vom Abstand d zwischen den Systemen, der gemeinsamen parallelen Länge l , dem Leiterdurchmesser D und dem Isoliermedium ϵ_r zwischen den sich beeinflussenden Leitungen.

Gegenmaßnahmen:

- kurze gemeinsame parallele Leitungslänge l
- kleiner Leiterdurchmesser D
- Leiterisolierung mit kleinen Dielektrizitätskonstanten ϵ_r
- Leiter der einzelnen Systeme paarweise verdrehen
- Verwendung abgeschirmter Leitungen, die einseitig geerdet werden (dabei ist die richtige Schirmanbindung zu beachten, weitere Hinweise s. [10] [11]).

2.4 Strahlungsbeeinflussung

Bei der Strahlungsbeeinflussung werden von der Störquelle elektromagnetische Wellen ausgesendet, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten und bei einem genügend großen Abstand (im Fernfeld) in der Senke eine Störspannung hervorrufen (s. Bild 6 a). Störer können Sendeanlagen, Schaltvorgänge oder Blitzenladungen sein.

Bei elektromagnetischen Wellen sind im Fernfeld das elektrische und das magnetische

sche Feld in Phase und stehen senkrecht aufeinander. Aufgrund dieser starren Verknüpfung im freien Raum gilt zwischen dem elektrischen Feld E_0 und dem magnetischen Feld H_0 die Beziehung:

$$Z_0 = \frac{E_0}{H_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 376,73 \Omega \approx 377 \Omega \quad (9)$$

Die Konstante Z_0 wird als Wellenwiderstand der Luft bezeichnet.

Gegenmaßnahmen:

- Einsatz von Schirmmaterialien (s. Bild 6 b)
- Leitungslängen sollten so kurz wie möglich gehalten werden, damit sie keine geeignete Antenne für den Sender oder den Empfänger darstellen.

Die Wirksamkeit des Schirms ist von der Absorptions- und Reflexionsfähigkeit sowie der Dicke d des eingesetzten Materials abhängig. Berechnungsgleichungen für die Bemessung des Schirms sind in [12] zu finden.

Literatur

- [1] Gehrke, R.: EMV – Gesetze, Regeln, Normen. Elektropaktiker Berlin, 57(2003)2, Seite 116 bis 118.
- [2] Strahlenthemen – Radio- und Mikrowellen. Bundesamt für Strahlenschutz, Ausgabe November 1994.
- [3] Haubrich, H.-J.: Sicherheit im elektromagnetischen Umfeld. Berlin-Offenbach: VDE-Verlag 1990.
- [4] Strahlenthemen – elektrische und magnetische Felder im Haushalt. Bundesamt für Strahlenschutz, Ausgabe April 1995.
- [5] Feldbelastung durch Elektrogeräte bei 50 Hz. Fachhochschule Aachen: Sicherheitsinfo 5/97. <http://www.fh-aachen.de>
- [6] Elektrische und magnetische Felder im Haushalt. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: <http://www.uis-extern.um.bwl.de>
- [7] 94. Sitzung des Länderausschusses für Immissionsschutz – Stand 02.06.1998.
- [8] Weißberger, W.: Elektrotechnik für Ingenieure 1. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg Verlag 2000.
- [9] Philippow, E.: Taschenbuch der Elektrotechnik, Bd. 1 „Allgemeine Grundlagen“. Berlin: Verlag Technik 1986.
- [10] Habiger, E.: Elektromagnetische Verträglichkeit – Grundlagen, Maßnahmen, Systemgestaltung. Berlin: Verlag Technik 1992.
- [11] Habiger, E.: Elektromagnetische Verträglichkeit – Grundzüge ihrer Sicherstellung in der Geräte- und Anlagentechnik. Heidelberg: Hüthig-Verlag 1998.
- [12] Weber, A.: EMV in der Praxis. Heidelberg: Hüthig-Verlag 1994.

Anzeige