

Unterdrückung elektromagnetischer Felder

Autor(en): **Kuen, Helmut**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **90 (1999)**

Heft 1

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-901894>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Unterdrückung elektromagnetischer Felder

In diesem Artikel werden Massnahmen beschrieben, die zur Reduzierung elektromagnetischer Felder (EMF) in der Medizintechnik angewendet werden können. Eigenstörungen eines Gerätes lassen sich am besten durch eine räumliche Trennung sensibler Schaltkreise vermeiden. Gegen externe, durch andere Geräte eingekoppelte Störungen sollte auf ein sorgfältiges Design des Gehäuses und der Abschirmung sowie auf eine adäquate Filterung der Signale geachtet werden.

Geräte und Systeme, die in der Medizintechnik eingesetzt werden, bestehen aus einer Vielzahl von komplexen elektronischen Komponenten und Baugruppen. Sie unterscheiden sich erheblich hinsichtlich Funktionsweise, Leistung, Störemissionen und Störimmunität.

Grundsätzlich strahlt jedes elektronische System elektromagnetische Strahlung ab (Störquelle). Wenn die Strahlung stark genug ist, erzeugt sie in anderen Geräten (Störsenken) Fehlfunktionen. Viele medizinische Geräte werden nicht nur im Operationssaal eingesetzt. Beispielsweise wird die hochfrequente Strahlung sowohl in der Chirurgie als auch bei kosmetischen Behandlungen (Entfernen von Warzen und Muttermalen) oder beim Zahnarzt zur Blutstillung verwendet. Dabei werden hohe Stromdichten bei Frequenzen oberhalb 100 kHz über eine «Schneide»-Elektrode dem Gewebe zugeführt, das sich so rasch erwärmt, dass die Zellen an der Kontaktstelle platzen und sich das Gewebe wie durch einen Schnitt öffnet. Der Vorteil ist dabei, dass die lokale Erwärmung gleichzeitig zum Verschluss der durchtrennten Blutgefässe führt [1].

Die Wärmetherapie setzt hochfrequente elektromagnetische Felder ein, die über grossflächig angelegte Elektroden auch tief liegendes Körpergewebe erwärmen. Am häufigsten werden Kurzwellengeräte (27,12 MHz) für die Wärmetherapie eingesetzt. Die hochfrequenten Ströme in den nicht abgeschirmten Ver-

bindungsleitungen zu den Elektroden können in der näheren Umgebung (bis zu etwa 1 m Abstand) ein hochfrequentes Streufeld mit beträchtlichen Feldstärken bzw. Intensitäten verursachen.

Bei Mikrowellen-Wärmetherapiegeräten (2,45 GHz) werden abgeschirmte Verbindungsleitungen benutzt (Koaxialkabel), deren Streufeld vernachlässigbar ist.

Medizinische Geräte nehmen daher bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) keine Sonderstellung ein. Jedoch können die technischen Massnahmen zur Verbesserung der EMV einen erhöhten Aufwand erfordern, um die besonderen Anforderungen an die Zuverlässigkeit und elektrische Sicherheit dieser Geräte einhalten zu können.

Beeinflussung durch das elektromagnetische Feld

Art und Umfang von Störungen, die durch die elektromagnetische Strahlung des Funkverkehrs verursacht werden, sind stark von der verwendeten Modulationstechnik (Amplitudenmodulation oder Frequenzmodulation) des Trägersignals abhängig. Die Störungen sind eine Folge von zufälliger Gleichrichtung des modulierten Trägers an nichtlinearen Elementen in den Schaltkreisen des beeinflussten Gerätes. Durch die Gleichrichtung (Demodulation) wird je nach dem Verlauf der Kennlinie des nichtlinearen Elements der negative Teil des hochfrequenten Trägers unterdrückt, so dass ein pulsierender Gleichstrom übrigbleibt.

Amplitudenmodulierte (AM) und frequenzmodulierte (FM) hochfrequente Träger, wie zum Beispiel Ton- und Fernsehfunksender, Amateurfunk, können zu störenden Geräuschen bei akustischer Wiedergabe (z.B. Hörgeräte) der zu übermittelnden Nachricht führen, aber auch zu Arbeitspunktverschiebungen (Offset) in analogen Sensor-Schaltkreisen und damit zu Fehlern beim detektierten Nutzsignal.

Mit Pulsen modulierte Träger (Mobilfunk-D-Netz) oder getastete Träger (Radaranlagen) haben im Gegensatz zu den

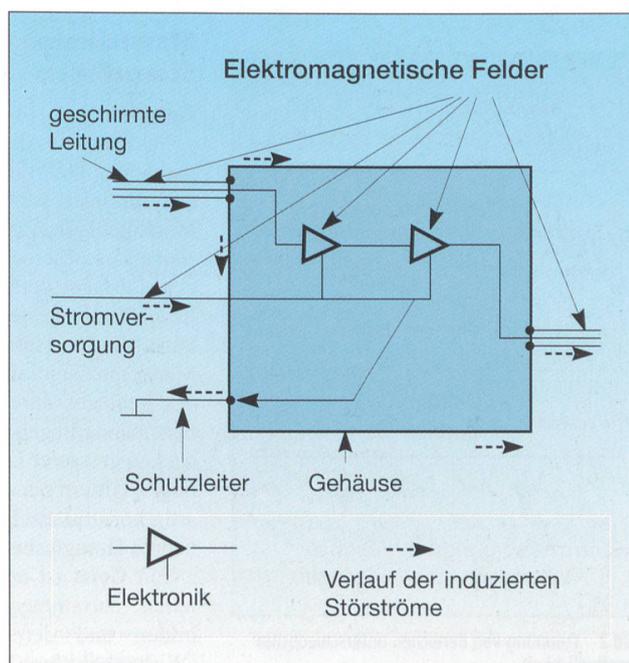


Bild 1 Einkopplungswege elektromagnetischer Felder

Adresse des Autors

Helmut Kuen, Dipl. Ing. HTL
Schweizerischer Elektrotechnischer Verein
(SEV), 8320 Fehraltorf

geschilderten Verfahren weniger «kontinuierliche» Störungen als vielmehr puls-förmige, «diskontinuierliche» Störungen zur Folge. Diese verdienen besondere Beachtung bei Personen mit Herzschrittmachern, wenn die Modulationsfrequenz beziehungsweise die Repetitionsfrequenz des gepulsten Signals («Burst»-Paket) in der Größenordnung der Herzfrequenz liegt. Bei modernen Herzschrittmachern überwacht eine Reizelektrode die Herzaktivität und gibt erst dann einen Stimulationsimpuls ab, wenn die Eigen-erregung länger als eine vorgegebene Toleranzzeit ausbleibt. Die Missdeutung des Störsignals führt somit zu einer Unterdrückung der Stimulation. Wenn gleichzeitig die Eigen-erregung längere Zeit ausbleibt, kann dies zu einer Gefährdung führen [1].

Worauf sollten Geräte-entwickler achten?

Die EMV-Aspekte müssen von Anbeginn des Geräteentwurfs berücksichtigt werden, um ohne wesentliche Zusatzkosten in der Serienproduktion die Grenzwerte mit der in den EMV-Normen geforderten statistischen Wahrscheinlichkeit einhalten zu können. Die Grenzwerte zur EMV stellen naturgemäss einen Kompromiss dar zwischen den idealen Forderungen für jede denkbare Konstellation und dem wirtschaftlich zumutbaren Aufwand. Die Anforderungen gelten gesamthaft für die «innere» EMV eines Gerätes wie auch für seine Kopplung zur elektromagnetischen Umgebung. Daher müssen Massnahmen an Geräten zum Erreichen der EMV an den Kopplungsstellen ansetzen, wobei wegen der zu-

nehmenden Hochfrequenzbelastung der Umwelt die Schirmung immer bedeutender wird.

Einkopplungswege

Um die Beeinflussbarkeit beurteilen zu können, sind sowohl leitungsgeführte als auch feldgebundene Wege der Kopplung zu beachten. Letztere sind in höheren Frequenzbereichen dadurch gekennzeichnet, dass Kabellängen und Gerätedimensionen in die Größenordnung der betrachteten Wellenlänge (die Wellenlänge ist umgekehrt proportional zur Frequenz) kommen. Das abgestrahlte Feld induziert dann Störströme direkt in den Kabeln (Hin-/Rückleiter-Schleife) und den Geräten.

Massnahmen gegen interne Störgrössen

- Räumliche Trennung von Bereichen unterschiedlicher Leistungen, Funktionen und Störniveaus (Bild 2).
- Entkopplung von interner Elektronik und externen, mit hochfrequenten Störgrössen behafteten Leitungen mittels Schirmung, Filterung, Trennung durch Optokoppler, Übertrager mit kleiner Koppelkapazität.
- Vermeidung von Leiterschleifen. Hin- und Rückleiter sollten so nahe wie möglich nebeneinander liegen, insbesondere, wenn sie Schalter in ihrem Leitungszug enthalten, weil beim Öffnen induktiv belasteter Kontakte sehr hochfrequente transiente elektromagnetische Felder (Burst-Pakete) entstehen (Bild 3).

Massnahmen gegen externe Störgrössen

Gehäuse

Wirksames Abschirmmaterial allein garantiert noch nicht, dass die Emissionen eliminiert werden. Selbst ein solides Metallgehäuse kann infolge von Schlitz- und Löchern stark strahlen. Sobald eine Öffnung vorhanden ist, in die eine Kreditkarte gesteckt werden könnte, muss mit Emissionen gerechnet werden. Man kann sie minimieren durch Ersetzen des Schlitzes durch mehrere kleine, nebeneinanderliegende Löcher, durch Abdecken grösserer Löcher mit maschenförmigen Gittern oder Unterteilen in kaminartig konstruierte Einzelöffnungen (sogenannte Honigwabenkonstruktion).

Ein Gerät ist aus einzelnen Gehäuseteilen zusammengesetzt, die Fugen bilden und deren Kontaktwiderstand (Wirkanteil der Transferimpedanz des

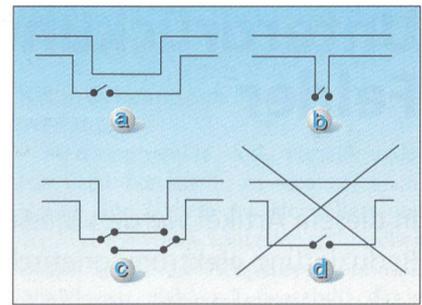


Bild 3 Topologie von Stromkreisen, die Schalter enthalten

Mögliche Lösungen, um Hin- und Rückleiter beisammenzuhalten (a, b, c). Konfiguration d sollte nicht verwendet werden [2].

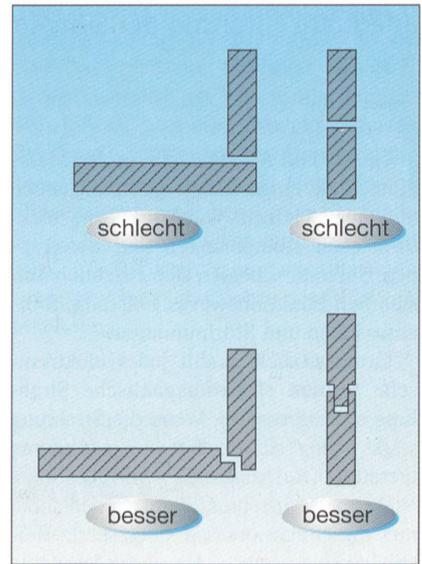


Bild 4 Beispiele zur Gestaltung von Gehäusefugen

Gehäuses) die Schirmwirkung bei hohen Frequenzen wesentlich beeinflusst. Der Kontaktwiderstand über den Fugen muss klein gehalten werden. Er hängt hauptsächlich ab von Druck, Material, Oberfläche und Korrosion. Bild 4 zeigt mögliche Gehäusekonstruktionen.

Da die Oberflächenkorrosion die Abschirmleistung des Gehäuses stark beeinflusst, muss ihr beim Entwurf des Gehäuses entsprechende Beachtung geschenkt werden. Wenn immer möglich sollten Metalle mit unterschiedlichem Elektrodenpotential nicht in Kontakt zueinander kommen, damit galvanische Zellen vermieden werden.

Die Kontaktfläche sollte eine gewisse Rauigkeit aufweisen, weil zu glatte Oberflächen nicht genug mikroskopische Kontaktpunkte haben könnten.

Die elektromagnetische Dämpfung der Strahlung steigt mit wachsender Frequenz und Wanddicke des Schirms an.

Für die elektrostatische Abschirmung ist eine direkte Verbindung zwischen Me-

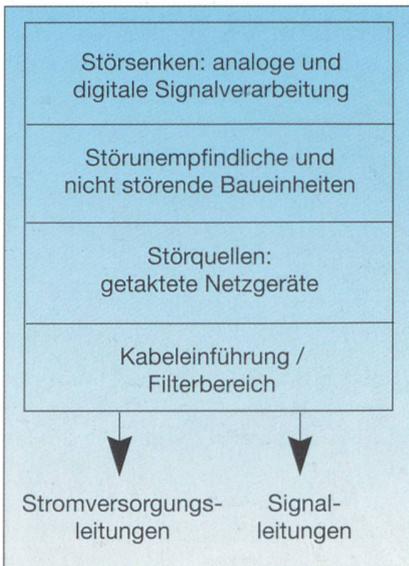


Bild 2 Trennung von Bereichen unterschiedlicher Empfindlichkeit

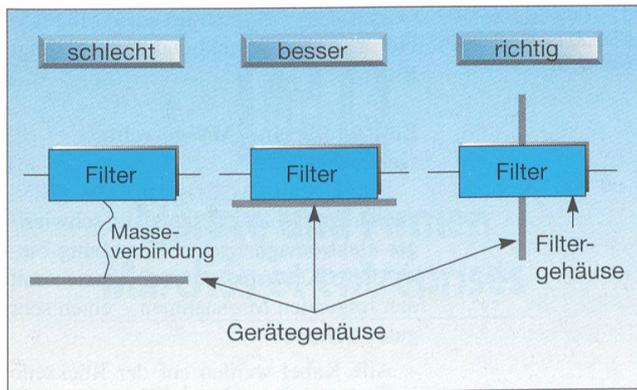


Bild 5 Beispiele für den Einbau von Filtern in das Gerätegehäuse

tallisierung einerseits und Störquellengehäuse oder Schutzerdung andererseits zur Ableitung von elektrischen Ladungen aus der Abschirmung unerlässlich, andernfalls konzentrieren sich die induzierten Ladungen auf der äusseren Hülle des Schirms. Dadurch wird ein elektrisches Feld in anderen Elementen induziert. Das sehr schnelle Ableiten von elektrostatischen Pulsen (ESD=Electro Static Discharge) gegen Masse oder Erde kann jedoch breitbandige elektromagnetische Störungen in benachbarten elektronischen Schaltkreisen induzieren. Die Lösung dieses Problems ist ein Kompromiss zwischen verlangsamtem Potentialausgleich und guter elektromagnetischer Schirmung. Man wählt eine Leitfähigkeit, die beiden Anforderungen so gut wie möglich gerecht wird.

Filterung

Damit keine Störungen über Leitungen in das oder aus dem geschirmten Gerät gelangen, müssen alle durch die Gehäuseschirmung führenden Leitungen mit Filtern versehen werden. Die Filter sind in hochfrequenzdichten Gehäusen aufgebaut und enthalten Drosselpulen und Kondensatoren, die den Ableitstrom (Leckstrom) zwischen netzspannungsführenden Leitern und dem Schutzleiter erhöhen. Zusätzlich können Entladewiderstände und Überspannungsableiter eingebaut sein. Die gegen den Schutzleiter oder das Filtergehäuse geschalteten Kondensatoren müssen besonders hohe elektrische Anforderungen erfüllen, da sie die Isolation eines Gerätes überbrücken. Der kapazitive Ableitstrom kann bei einer Berührung des Gerätegehäuses durch den Menschen zur Erde fließen und muss daher begrenzt oder so abgeleitet werden, dass im Falle eines Fehlers keine gefährlichen Spannungen an berührbaren Metallteilen auftreten. Bei dreiphasigen Filtern kompensieren sich die Ableitströme im Schutzleiter nur teilweise, weil in der Praxis Netzunsymmetrien und Toleranzen in der Kapazität der

Kondensatoren (im Neuzustand in der Regel $\pm 10\%$) vorhanden sind.

Direkte Blitzentladungen auf ein geschütztes Gebäude werden über die Ableitungsanlage in die Erdungsanlage abgeleitet. Der dabei fließende Blitzstrom verursacht am Stoss-Erdungswiderstand der Anlage eine Potentialanhebung, am Einschlagpunkt und in Leitern eine Temperaturerhöhung. Er hat ein magnetisches Nahfeld zur Folge, das dem Blitzstrom proportional ist und aufgrund seiner Änderungsgeschwindigkeit Stossspannungen und -ströme in Leiterschleifen der Installation innerhalb des Gebäudes induziert. Der Frequenzbereich kann sich bis zu einigen Megahertz erstrecken.

Der Schutz elektronischer Geräte gegen solche Überspannungen besteht aus diversen Massnahmen, angefangen bei Blitzschutzmassnahmen am Gebäude (Ableitung, Vermaschung der metallischen Installation, Raumabschirmung, Überspannungsableiter, Potentialausgleich, Erder usw.) bis zum eigentlichen Geräteschutz (Störfestigkeit der Geräte,

Leitungsschutz). Schutzschaltungen für Geräte sind häufig in Funk-Entstörfilter integriert und bauen die Stossspannungen durch hintereinander geschaltete überspannungsbegrenzende Bauelemente und Entkopplungsglieder in Stufen ab. Die erste Stufe besteht aus einem Grobschutz mit hoher dynamischer Energiebelastbarkeit, gefolgt von Entkopplungsgliedern (Induktivitäten, Widerstände, Kondensatoren) und einem Feinschutz zur Unterdrückung eventuell noch vorhandener transienter Spannungsspitzen in der Restspannung. Filterschaltungen sind bei hohen Frequenzen nur in Verbindung mit einem EMV-gerechten Geräteaufbau (Vermeidung von Kopplungswegen, Massekonzept, Schirmung einzelner Schaltkreise) wirksam (Beispiele siehe Bild 5).

Die gefilterte Leitung muss in möglichst grosser Distanz zur ungefilterten (abstrahlenden) Leitung verlegt werden.

Lokale Filterung an der Störquelle wird dadurch erreicht, dass die abstrahlenden Leitungen durch einen Ferrit-Kern mit einer entsprechenden Öffnung geführt werden. Dabei erhöht sich weder der Ableitstrom (im Falle eines Schutzleiters) noch verschlechtert sich das Nutzsignal. Auf solide mechanische Befestigung der Ferrite ist zu achten. Ihre Eigenschaften (Dämpfung, Impedanz) verschlechtern sich jedoch, wenn sie starken mechanischen Spannungen ausgesetzt werden.

Kabelschirme

Kabelschirme schützen Schaltkreise gegenüber Einkopplungen aus der Umwelt und verringern die Abstrahlung. Vor-

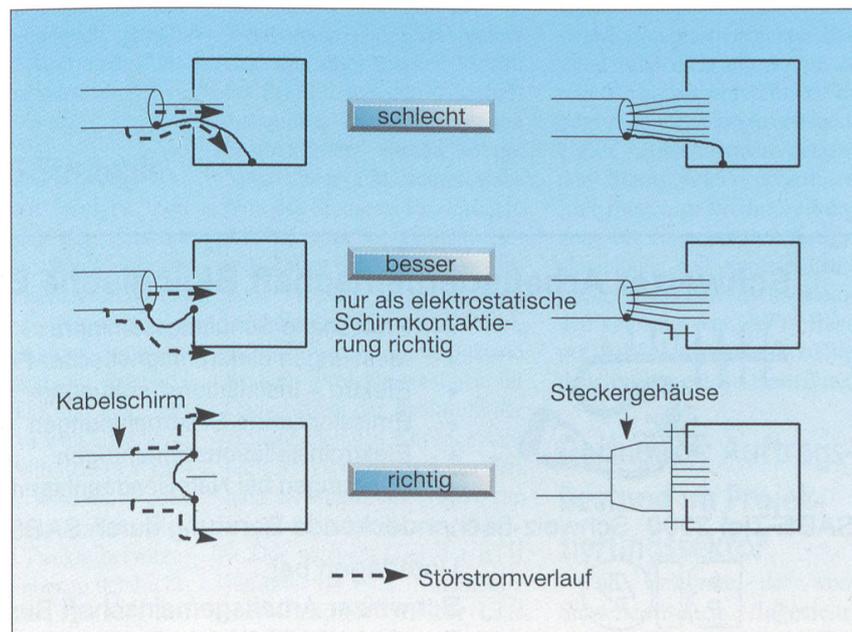


Bild 6 Kontaktierungsarten des Kabelschirms

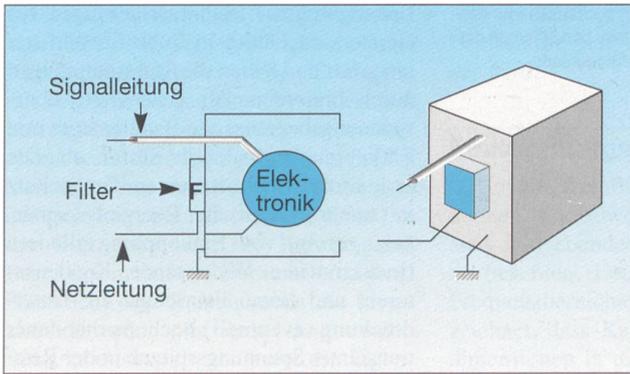


Bild 7 EMV-Gehäuse für den Schutz empfindlicher Elektronik [2]

Gerät (Schutzleiter nötig) wird. Möglichkeiten der Schirmkontaktierung zeigt Bild 6.

Beispiel für ein EMV-gerechtes Gehäusedesign

Bild 7 zeigt das Beispiel eines EMV-gerechten Gehäusedesigns. In schwieriger elektromagnetischer Umgebung bietet diese Konstruktion – zusammen mit den folgenden Massnahmen – einen sehr guten Schutz:

- Alle Kabel werden auf der Rückseite eingeführt.
- Schirme oder Aussenleiter (bei Koaxial- bzw. Triaxialkabeln) werden rundum auf der Rückseite kontaktiert.
- Aussen befindet sich das Netzfilter, gut kontaktiert mit der Gehäuserückwand. Ein zusätzlicher Schutzleiter ist nahe beim Filter angeschlossen.
- Kontaktierung der Frontseite über elektrisch leitfähige Dichtung und klein gewählte Befestigungsabstände (im Verhältnis zur kürzesten Wellenlänge des störenden Frequenzspektrums). Das Schraubenanzugsmoment muss der Dichtung angepasst sein.

Das Resultat ist eine minimale Transferimpedanz zwischen den Störströmen ausserhalb des Gehäuses und der Elektronik innerhalb und damit eine minimale Einkopplung einerseits bzw. Abstrahlung elektromagnetischer Felder andererseits.

Literatur

- [1] Norbert Leitgeb: Strahlen, Wellen, Felder. Stuttgart: Georg-Thieme-Verlag 1990.
 [2] Arbeitspapier IEC 77B/168/CDV vom Oktober 95 zu IEC 1000-5-2 Ed. 1.

aussetzung ist allerdings ein richtiger Anschluss, also eine grossflächige Kontaktierung auf dem gesamten Umfang des Schirms (360 Grad) am adäquat geschirmten Steckergehäuse. Schlecht angeschlossene Schirme sind bestenfalls gegen elektrostatische Felder wirksam. Gleiches gilt für den Übergang vom Stecker- auf das Gerätegehäuse; denn falls die Abschirmung nur eine einzige

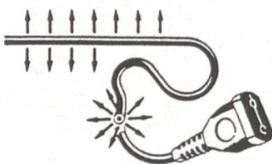
schlechte Stelle aufweist, kann diese die gesamte Schirmwirkung limitieren. Die mangelhafte Abschirmung äussert sich in einer erhöhten Transferimpedanz des Kabels.

Ein nachträglicher Einbau eines geschirmten Kabels kann die doppelte Isolierung verunmöglichen, so dass ein Gerät der Schutzklasse II (Schutzleiter nicht nötig) zu einem Schutzklasse-I-

Mesures contre les champs électromagnétiques

L'article ci-dessus décrit des mesures permettant de réduire les champs électromagnétiques sur les appareils médicaux. Le meilleur moyen de supprimer les perturbations internes dues à l'appareil même consiste à éloigner les circuits sensibles les uns des autres. Pour protéger les appareils des perturbations externes induites par d'autres appareils, on veillera à adopter une conception soignée du boîtier et du blindage ainsi qu'un filtrage approprié des signaux.

Schweizer Arbeitsgemeinschaft Biologische Elektrotechnik – SABE



- Praxisnahe Schulungsseminare
- Messungen elektromagnetischer Felder
- Elektro – Installationsberatungen
- Emissionsarme Elektroplanungen
- Elektroinstallationssanierungen
- Beratungen bei Natelsendeanlagen



SABE Ziel 2000 Schweiz-flächendeckende Beratung durch SABE elektrobiologie Messspezialisten



Unterlagen bei:

Schweizer Arbeitsgemeinschaft Biologische Elektrotechnik SABE
 Postfach, 8050 Zürich; Telefon 01 311 91 30