

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

F. Börner, Sankt Augustin
M. Fischer, Köln

10.1 Elektrostatische Felder

Statische Elektrizität kann entstehen, wenn zwei unterschiedliche Materialien aneinander gerieben und anschließend getrennt werden (Reibungselektrizität). Beim Reiben entsteht Wärme, die dazu führt, dass sich an der Oberfläche der beiden Materialien die Materialstruktur kurzzeitig ändert. Das hat zur Folge, dass Elektronen von der einen Oberfläche zur anderen wandern. Auf beiden Oberflächen entsteht hierdurch ein Ladungsüberschuss gleicher Größe, aber mit entgegengesetztem Vorzeichen. Können diese Ladungen durch die Trennung der Oberflächen nicht abfließen, d. h. sich nicht ausgleichen, entsteht ein elektrisches Feld, das als statische Elektrizität bezeichnet wird.

Die Größe und Polarität des Feldes hängen ab von

- der Art der beteiligten Materialien, insbesondere ihrer relativen Stellung in der elektrochemischen Spannungsreihe,
- der Intensität des Vorgangs Berühren/Trennen,
- der Oberflächenleitfähigkeit und
- den Umgebungsbedingungen (z. B. der relativen Luftfeuchte).

Aufladungsvorgänge entstehen überall dort, wo Berührungen und Bewegungen zwischen unterschiedlichen nicht leitfähigen Materialien auftreten. Vorzugsweise ist dies möglich zwischen synthetischen Materialien, z. B. beim

- Begehen eines Kunststoffteppichs,
- Teilen eines Stoffes,
- Abziehen eines Bandes von einer Rolle,
- Zerkleinern, Versprühen und Zerstäuben von Materialien und
- Strömen von Stoffen, z. B. Flüssigkeiten oder Stäube, an Wänden entlang.

Personen können sich beim Bewegen oder durch Ladungsverschiebungen (Influenz) aufladen. Kleidungsstücke mit nicht ausreichender Leitfähigkeit begünstigen die Aufladung. Beim Berühren aufgeladener Gegenstände kann eine Aufladung auch durch Ladungsübertragung erfolgen. Einen Überblick über die Spannungen, die durch elektrostatische Aufladungen bei typischen Bürotätigkeiten erzeugt werden, gibt Tabelle 18 (siehe Seite 94).

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Tabelle 18:
Spannungswerte, die durch elektrostatische Aufladungen erzeugt werden können

Tätigkeit	Spannung in V
Laufen über einen Teppichboden	1 500 bis 35 000
Laufen über einen unbehandelten Vinylbodenbelag	250 bis 12 000
Arbeiten an einem Arbeitstisch	700 bis 6 000
Papierbogen in einen Umschlag aus Vinyl stecken	600 bis 7 000
Aufheben einer Plastiktüte von einem Arbeitstisch	1 200 bis 20 000

Eine Voraussetzung für elektrostatische Aufladungen ist, dass der Oberflächenwiderstand der beteiligten Materialien mehr als 109 W beträgt und die relative Luftfeuchte unter 45 % liegt.

Falls aufgeladene Gegenstände oder Personen geerdete elektrisch leitfähige Stoffe oder andere Personen berühren oder sich diesen soweit annähern, dass aufgrund der Höhe der elektrischen Feldstärke Funken entstehen, können elektrostatische Entladungen auftreten. Faktoren, von denen der Entladungsvorgang abhängt, sind u. a. die

- Höhe der elektrostatischen Spannung,
- Annäherungsgeschwindigkeit des elektrostatisch geladenen Objektes an das leitfähige oder geerdete Objekt,
- Umgebungsbedingungen, z. B. Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Staubpartikel, sowie
- Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit der Objekte.

Die bekanntesten alltäglichen Entladungseffekte sind Entladungsfunken an Türgriffen, Treppengeländern und Autokarosserien sowie das Knistern oder sogar Funken beim Ausziehen eines Kleidungsstücks aus einem synthetischen Stoff.

Gefahren durch elektrostatische Felder

Für den Menschen stellen elektrostatische Felder im Allgemeinen keine Gefahr dar. Den Aufladungsvorgang bemerkt der Mensch nicht. Jedoch besteht die Gefahr des Erschreckens und hierdurch ausgelöster Fehlhandlungen, wenn sich Personen oder mobile Objekte wie z. B. Stühle, Gerätewagen, Druckertische oder Reinigungsgeräte nach einer elektrostatischen Aufladung schlagartig wieder entladen.

Der Mensch nimmt eine Entladung elektrostatischer Energie von mehr als etwa $5 \cdot 10^{-4}$ J spürbar wahr. Das entspricht bei einer typischen Körperkapazität zwischen Mensch und Erde von 100 bis 250 pF einer Entladungsspannung von 2 000 bis 3 100 V. In Büros kann eine solche Spannung schon bei normalen Tätigkeiten überschritten werden (siehe hierzu Tabelle 18).

Damit Gefährdungen durch elektrostatische Entladungen ausgeschlossen werden können, sollte die über den menschlichen Körper übertragene Energie 350 mJ oder die über den Körper übertragene Ladung 50 μC nicht überschreiten. Bei Entladungen an elektronischen Geräten reichen diese vom Menschen gespeicherten Energien aus, um Halbleiterbauteile im Inneren des Gerätes zu zerstören. Insbesondere kann eine auf wenige Volt aufgeladene Person bei direktem Kontakt mit dem Anschluss eines Halbleiterbauelementes irreparable Schäden an diesem Element erzeugen. So genügen beispielsweise Entladungsspannungen von

- 100 V, um eine Information auf einem magnetischen Datenträger zu löschen,
- 50 V, um einen Funken zu erzeugen, der explosive Gase entzünden kann,
- 5 V, um die hoch empfindlichen Leseköpfe von Hard Disks zu beschädigen.

Neben diesen direkten Schädigungen können elektrostatische Aufladungen auch Partikelansammlungen auf glatten Oberflächen hervorrufen. Die Folge können z. B. verschmutzte Bildschirme und Staubablagerungen sein.

Schutz vor statischer Elektrizität

Die Praxis zeigt, dass elektrostatische Aufladungen niemals ganz zu vermeiden sind. Häufig sind diese sogar so groß, dass Schutzschaltungen in elektronischen Geräten sie nicht mehr vollständig ableiten können. Aus diesem Grund ist es notwendig, Vorkehrungen zu treffen, um elektrostatische Aufladungen zu reduzieren oder abzuleiten. Dies kann man durch folgende Maßnahmen erreichen:

- Kontaktflächen verringern:

Elektrostatische Aufladungen können verringert werden, wenn die Kontaktfläche verkleinert oder verändert wird, z. B. durch Aufrauen der Oberfläche (Mattieren). Häufig wird diese Maßnahme bei Folien oder Folienprodukten, z. B. bei Klarsichthüllen, angewendet.

- Erden:

Bei sachgemäßem Erden wird die vorhandene Ladung schnell abgeleitet. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Ableitwiderstand kleiner als $10^9 \Omega$ ist. Ein sachgemäßes Erden erreicht man durch Verlegen von leitfähigen oder statisch ableitenden Bodenbelägen, Erden leitfähiger Möbel und Arbeitsflächen sowie Ausrüsten von Stühlen und Transportmitteln mit leitfähigen Rollen oder Rädern.

- Oberflächenwiderstand verringern sowie relative Luftfeuchte erhöhen:

Für Innenraumarbeitsplätze kommt ein Verringern des Oberflächenwiderstandes durch Ionisieren der Luft oder Erhöhen der Luftfeuchte als Maßnahme meist nicht infrage. Die Ionisierung der Umgebungsluft ist nur lokal möglich. Ihre Wirkung setzt erst ab einer Mindestspannung ein. Die Anwendung ist nur an industriellen Arbeitsplätzen sinnvoll, wenn elektrostatische Aufladungen stören. Bei einer Erhöhung der Luftfeuchtigkeit sind die in dieser Vorgehensempfehlung beschriebenen Anforderungen an das Raumklima (siehe Kapitel 9) zu beachten.

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Schon bei der Auswahl von Materialien sollte der Schutz vor statischer Elektrizität beachtet werden, damit Maßnahmen vermieden werden können.

10.2 Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder

Der Mensch ist in seiner heutigen Umgebung von natürlichen und technisch erzeugten elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern (EM-Feldern) umgeben. Natürliche Felder sind z. B. das Erdmagnetfeld oder bei Gewitter auftretende elektrische Felder. Technisch erzeugte Felder sind mit der Erzeugung, der Verteilung und dem Verbrauch elektrischer Energie verbunden.

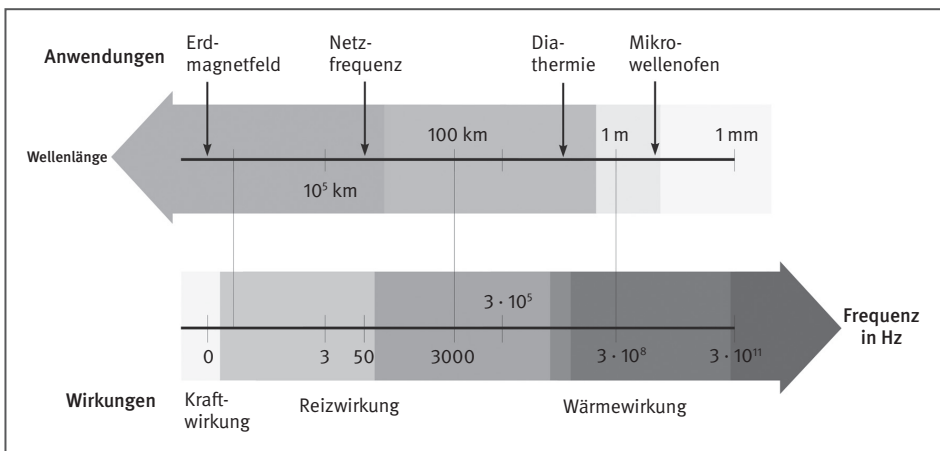
An Arbeitsplätzen können höhere EM-Felder dann auftreten, wenn diese z. B. zur Bearbeitung von Werkstücken bestimmungsgemäß eingesetzt werden (Erwärmungsanlagen,

Schmelzöfen etc.). Solche Arbeitsplätze werden in diesem Beitrag nicht behandelt.

An Innenraumarbeitsplätzen können EM-Felder nur in der direkten Umgebung von dort betriebenen elektrischen Geräten und Anlagen auftreten. Diese Felder sind hinsichtlich der Intensität allerdings wesentlich geringer als die bei der Bearbeitung von Werkstücken genutzten Felder. Häufig werden jedoch Befürchtungen geäußert, dass die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern auch an diesen Arbeitsplätzen zu nachteiligen Wirkungen führen könnte.

Das Frequenzspektrum von EM-Feldern reicht von Gleichfeldern mit der Frequenz 0 Hz bis zu Wechselfeldern mit Frequenzen von bis zu 300 GHz. Eine Einteilung von EM-Feldern in verschiedene Frequenzbereiche und ihre Anwendungen sowie Wirkungen zeigt beispielhaft Abbildung 15.

Abbildung 15:
Frequenzspektrum elektromagnetischer Felder und ihre Wirkungen



Gleichfelder sind zeitunabhängig. Das elektrische und das magnetische Gleichfeld sind getrennt zu betrachten. Elektrische und magnetische Gleichfelder haben an Innenraumarbeitsplätzen praktisch keine Bedeutung. In der Nähe von Permanentmagneten können jedoch aktive Körperhilfsmittel wie z. B. Herzschrittmacher, Defibrillatoren, Insulinpumpen oder Hörgeräte beeinflusst werden.

Der Bereich der niederfrequenten elektromagnetischen Felder umfasst alle Frequenzen zwischen 0 Hz und 30 kHz. Aufgrund der niedrigen Frequenzen sind das elektrische und das magnetische Feld praktisch entkoppelt und können getrennt voneinander betrachtet werden. Daraus folgt, dass das elektrische Feld nur von der Spannung U und das magnetische Feld nur von der Stromstärke I abhängt. Bei Anlagen und Geräten mit hohen Betriebsströmen überwiegt im Allgemeinen das magnetische Feld, während bei Anlagen mit hohen Spannungen das elektrische Feld dominiert.

Auftretende niederfrequente Felder werden im Wesentlichen von der Lage der elektrischen Leitungen und Geräte bestimmt. Dabei verringern sich sowohl die elektrische als auch die magnetische Feldstärke mit zunehmender Entfernung von der Feldquelle. Je nach Lage und Form des stromführenden Leiters weist die magnetische Feldstärke die in Abbildung 16 (siehe Seite 98) gezeigte Abhängigkeit vom Abstand zur Feldquelle auf.

Veränderungen des elektrischen Feldes sind durch leitfähige Materialien, die das Feld verzerren und abschirmen, leicht möglich. Das magnetische Feld kann dagegen nur mit

sehr hohem Aufwand reduziert werden. Es durchdringt nicht magnetische Stoffe nahezu ungehindert [2].

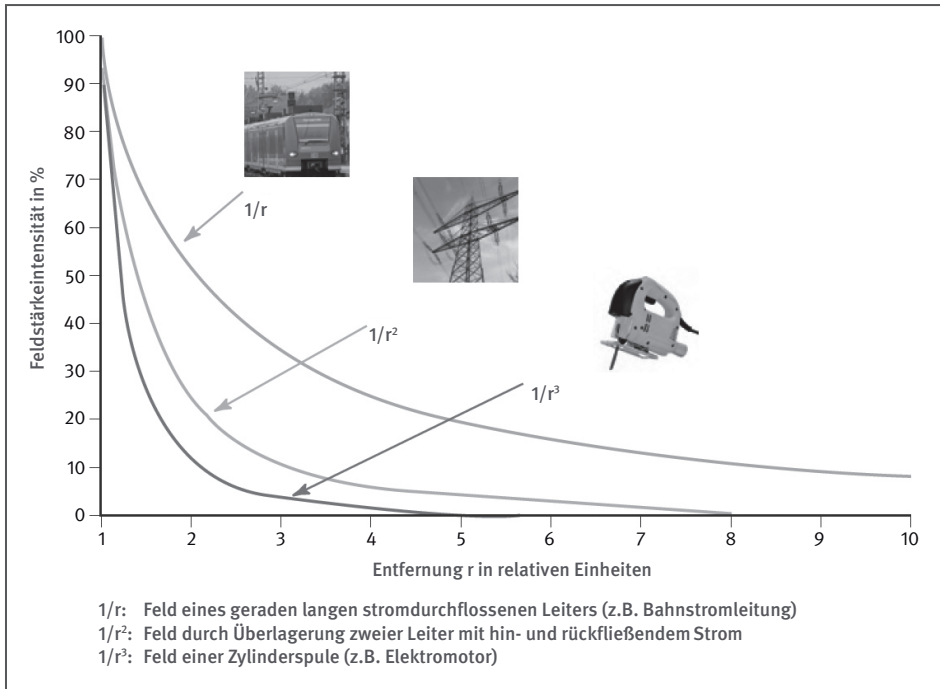
Der Hochfrequenzbereich beginnt bei Frequenzen über 30 kHz und erstreckt sich bis zum Ende des Mikrowellenbereichs bei 300 GHz. In diesem Frequenzbereich ist eine getrennte Betrachtung der elektrischen und magnetischen Feldkomponenten nicht möglich. Beide Feldkomponenten sind hier eng miteinander verknüpft. Die Felder können sich von ihrer Quelle, z. B. von einer Antenne, ablösen und über große Entfernungen ausbreiten. Man spricht dann von elektromagnetischen Wellen. Im Gegensatz zu anderen Wellen benötigen elektromagnetische Wellen kein Träger- und Ausbreitungsmedium. Sie können sich somit auch im luftleeren Raum ausbreiten. Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit ist identisch mit der Lichtgeschwindigkeit ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Dabei wird in Ausbreitungsrichtung elektromagnetische Energie transportiert. Ein Maß für die Energieströmung ist die Leistungsflussdichte in der Einheit W/m^2 . Anstelle der Leistungsflussdichte verwendet man auch die Begriffe Leistungsdichte, Energieflussdichte oder Strahlungsdichte.

Wirkungen von EM-Feldern

Die Wirkungen von EM-Feldern werden in direkte und indirekte Wirkungen unterschieden. Als direkte Wirkungen niederfrequenter elektrischer Felder werden im menschlichen Körper Verschiebestrome induziert und elektrische Feldstärken im Gewebe induziert. In starken elektrischen Feldern können auch Effekte an der Hautoberfläche wie Kribbeln und Aufstellen der Körperhaare auftreten. Niederfrequente magnetische Felder indu-

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Abbildung 16:
Abnahme der Magnetfeldstärke verschiedener Quellen mit der Entfernung
(Quelle: Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg [1], Shutterstock)



zieren im menschlichen Körper Wirbelströme und elektrische Feldstärken im Gewebe. Die im Körper/Gewebe influenzierten oder induzierten Ströme und/oder Feldstärken können bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte Nerven- und Muskelzellen anregen. In Tabelle 19 sind beispielhaft Wirkungen auf den menschlichen Körper in Abhängigkeit von der Körperstromdichte aufgeführt.

Nach heutigem wissenschaftlichem Kenntnisstand sind nachteilige Wirkungen auf den menschlichen Körper bei induzierten

elektrischen Feldstärken von 50 mV/m und elektrischen Stromdichten von weniger als 10 mA/m² nicht zu erwarten [3 bis 5].

Hochfrequente elektromagnetische Felder können dagegen zu einer Erwärmung des menschlichen Körpers führen. Treffen elektromagnetische Wellen auf den menschlichen Körper, so wird ein Teil der Wellen reflektiert, ein anderer Teil dringt in den Körper ein und wird dort absorbiert. Die Eindringtiefe hängt von der Gewebeart und von der Frequenz des elektromagnetischen Feldes ab. Die Energie

Tabelle 19:
Wirkungen im Körper in Abhängigkeit von der Stromdichte

Stromdichte in mA/m ²	Wirkungen
< 1	Keine gesicherten biologischen Effekte
1 bis 10	Keine bestätigten Wirkungen; nicht gesicherte Berichte über individuelles Unbehagen
10 bis 100	Gut bestätigte Effekte; optische Sinneseindrücke; Nervensystemeffekte; Berichte über beschleunigte Knochenbruchheilung
100 bis 1 000	Gesundheitsgefahren möglich; Reizschwellen; Veränderung der Erregbarkeit des zentralen Nervensystems bestätigt
> 1 000	Schädigung möglich; Herzkontraktionen möglich, Herzkammerflimmern

der im Körper absorbierten Strahlung wird in Wärme umgewandelt. Damit ist eine Erhöhung der Körpertemperatur verbunden. Diese tritt zunächst an der Stelle auf, an der die Strahlung absorbiert wurde. Durch Wärmeleitung und durch das thermische Regelsystem des Körpers kann sich eine Temperaturerhöhung aber auch auf andere Körperbereiche ausdehnen. Das Regelsystem des Körpers versucht, die Körperkern-temperatur bei 37 °C konstant zu halten. Eine starke Erhöhung der Körperkern-temperatur kann zu Schäden führen, eine Erhöhung über 42 °C führt zum Tod. Um Schädigungen zu vermeiden, muss die Absorption elektromagnetischer Felder im menschlichen Körper so begrenzt werden, dass daraus keine Temperaturerhöhung von mehr als 1 °C folgt.

Ein Maß für die Absorption der Energie hochfrequenter elektromagnetischer Felder im Körper ist die spezifische Absorptionsrate SAR, die in der Einheit W/kg angegeben wird.

Neben diesen wissenschaftlich gesicherten direkten Wirkungen von EM-Feldern werden

in der Öffentlichkeit weitere mögliche Wirkungen diskutiert, deren Existenz bislang jedoch nicht nachgewiesen wurde. Diese reichen u. a. von Unwohlsein über Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Beeinflussung des Hormonsystems bis hin zur Entstehung von Krebs. Mit dem Hinweis auf solche vermuteten Wirkungen wird häufig eine Reduzierung der zulässigen Werte für elektromagnetische Felder gefordert. Meist wird auch nicht mehr von elektromagnetischen Feldern gesprochen, sondern der Begriff „Elektrosmog“ gebraucht. Damit soll sprachlich deutlich gemacht werden, dass elektromagnetische Felder überall in der normalen Umgebung vorhanden sind und als ein potenzielles Risiko angesehen werden.

Die Strahlenschutzkommission überprüft ständig den aktuellen Stand der Erkenntnisse und veröffentlicht diesen u. a. auch auf ihren Internetseiten [6]. Sie unterscheidet kausale Zusammenhänge zwischen der Einwirkung elektromagnetischer Felder und dem Auftreten bestimmter Effekte in Hinweis, Verdacht und Nachweis. Hinweise gibt

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

es auf eine Reihe von Wirkungen, für zwei Wirkungen durch niederfrequente elektromagnetische Felder gibt es einen Verdacht. Einen wissenschaftlich gesicherten Nachweis gibt es aber außer für die zuvor beschriebenen direkten Wirkungen nicht.

Zu den indirekten Wirkungen gehören Kraftwirkungen auf ferromagnetische Materialien und die Beeinflussung elektronischer Geräte. Kraftwirkungen treten z. B. in der direkten Umgebung von Kernspintomografen auf. Sie haben an Innenraumarbeitsplätzen aber keine Bedeutung. Eine weitere indirekte Wirkung ist die Beeinflussung von aktiven Körperhilfsmitteln.

Neben aktiven Körperhilfsmitteln können auch andere elektronische Geräte durch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder gestört werden. Eine häufig auftretende Beeinflussung war die Störung von Röhrenmonitoren (CRT-Geräten) durch magnetische Felder. Bei den heutzutage hauptsächlich genutzten TFT-Bildschirmen tritt sie nicht auf.

Vorkommen von EM-Feldern an Innenraumarbeitsplätzen

Die meisten Geräte an oder in der Nähe von Innenraumarbeitsplätzen erzeugen elektrische und magnetische Felder entsprechend der Netzfrequenz von 50 Hz. Elektrische Geräte hoher Leistung rufen nicht zu vernachlässigende magnetische Felder hervor. Darüber hinaus treten magnetische Felder auch in der direkten Umgebung von Kleintransformatoren auf. Die elektrischen Feldstärken von Geräten in Innenräumen sind sehr gering und können daher vernachlässigt werden.

In Tabelle 20 sind für den Niederfrequenzbereich beispielhaft Feldquellen und deren Feldemissionen in verschiedenen Abständen angegeben. Anhand dieser Werte kann die Relevanz möglicher Feldquellen an Innenraumarbeitsplätzen beurteilt und die wesentlichen Feldquellen können von den unwesentlichen unterschieden werden.

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Tabelle 20:

Beispiele für niederfrequente elektrische und magnetische Felder von Elektrogeräten [7; 8]

Gerät	Frequenz in Hz	Abstand in cm	Elektrische Feldstärke in V/m	Magnetische Flussdichte in μT
Bohrmaschine	50	3	–	400 bis 800
		30	–	2 bis 3,5
		100	–	0,08 bis 0,2
Computer (PC)	50	3	–	0,5 bis 3,0
		30	–	< 0,01
Diaprojektor	–	3	–	240
		30	–	4,5
		100	–	0,15
Fernsehgerät	15 k	30	1 bis 10	0,2
		3	--	2,5 bis 50
	50	30	60	0,04 bis 2
		100	–	0,01 bis 0,15
Geschirrspüler	50	3	–	3,5 bis 20
		30	–	0,6 bis 3
		100	–	0,07 bis 0,3
Halogenlampe (Niedervolt)	–	3	–	25 bis 80
		30	--	0,6 bis 1,7
Heizlüfter	–	30	–	10 bis 20
Heizofen	–	3	–	10 bis 180
		30	–	0,15 bis 5
		100	–	0,01 bis 0,25
Kaffeemaschine	50	3	–	1 bis 25
		30	60	0,1 bis 0,2
Küchenherd	–	3	–	1 bis 50
		30	–	0,15 bis 0,5
		100	–	0,01 bis 0,04
Kühlschrank	50	3	–	0,5 bis 1,7
		30	120	0,01 bis 0,25
		100	–	< 0,01
Ladestation für Handfunkgeräte	50	30	–	1,5

10 Elektrostatistische und elektromagnetische Felder

Tabelle 20:
(Fortsetzung)

Gerät	Frequenz in Hz	Abstand in cm	Elektrische Feldstärke in V/m	Magnetische Flussdichte in μT
Leuchtstofflampe	–	3	–	40 bis 400
		30	–	0,5 bis 2
		100	–	0,02 bis 0,25
Luftbefeuchter	–	30	–	10 bis 20
PC-Monitor	–	3	–	0,5 bis 10
		30	–	0,45 bis 1,0
		100	–	< 0,01 bis 0,03
Radio (tragbar)	–	3	–	16 bis 56
		100	–	< 0,01
Staubsauger	50	3	–	200 bis 800
		30	50	2 bis 20
		100	–	0,13 bis 2
Tauchsieder (1 kW)	–	3	–	12
		30	–	0,1
		100	–	< 0,01
Tischlampe (60 W)	–	3	–	0,1 bis 0,2
		30	5	0,01
Uhr (Netzbetrieb)	50	3	–	300
		30	30	2,25
		100	–	< 0,01
Videorekorder	–	3	–	1,5
		30	–	< 0,1
		100	–	< 0,1
Wasserkochtopf (1 kW)	–	3	–	5,4
		30	–	0,08
		100	–	< 0,01

Arbeitsplätze in Innenräumen können auch in der Nähe von Energieversorgungs- und Energieverteilungsanlagen liegen (siehe Abbildung 17). Messungen an verschiedenen Anlagen haben ergeben, dass die zulässigen Werte der Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 [9] bei Weitem nicht erreicht werden. Dies gilt ebenso für Leitungen der elektrischen Hausinstallation. Bei Verteilungsanlagen in Büroräumen kann es jedoch zu Beeinflussungen von IT-Systemen kommen.

In der Nähe von erdverlegten Niederspannungs- und Mittelspannungskabeln werden zulässige Werte für das elektrische und magnetische Feld aufgrund der Erdverlegung und wegen des damit verbundenen Abstands zu den Kabeln im Allgemeinen weit unterschritten.

Elektrische und magnetische Felder sind in der Umgebung von Freileitungen vom Abstand zur Leitung, von der Höhe der Spannung und des fließenden Stromes abhängig.

Aufgrund der Höhe der Leitungssysteme und des bezüglich der elektrischen Sicherheit geforderten Mindestabstands zu den Leitungen werden die zulässigen Werte der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte bei Weitem nicht erreicht. Direkt unterhalb von Freileitungen (ohne Bebauung) sind elektrische Feldstärken von einigen kV/m möglich. Bei Stromstärken von 1 kA wurden magnetische Flussdichten bis zu 20 mT festgestellt. Demgegenüber liegen die niedrigsten zulässigen Werte nach BGV B11 „Elektromagnetische Felder“ [9] für das elektrische Feld bei 6,6 kV/m und für das magnetische Feld bei 424 mT. Im Bereich der Öffentlichkeit sind 5 kV/m und 100 μ T nach der 26. BImSchV [12] zulässig. Elektrische Felder werden zudem durch Bebauung, Bäume, Sträucher sowie jegliche leitfähige Materialien verzerrt bzw. abgeschirmt. Daher ist an Innenraumarbeitsplätzen unterhalb von Freileitungen nicht mit elektrischen und magnetischen Feldstärken, die für eine Gefährdung von Personen relevant sind, zu rechnen.

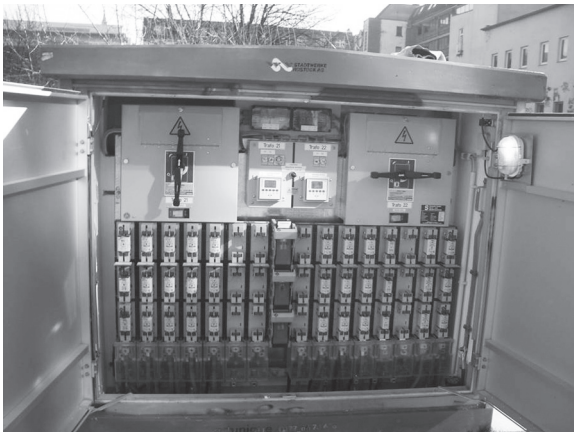


Abbildung 17:
Beispiel für eine
Energieverteilungsanlage

10 Elektrostatistische und elektromagnetische Felder

Hochfrequente Felder treten z. B. an Innenraumarbeitsplätzen auf, wenn Funkanwendungen genutzt werden. Beispiele für hochfrequente elektromagnetische Feldquellen sowie die jeweils zulässigen Werte sind in Tabelle 21 aufgelistet.

Emission elektromagnetischer Felder durch ausgewählte Geräte

- **Monitore:**
PC-Monitore erzeugen u. a. nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder. Die Feldemission ist jedoch so gering, dass die zulässigen Werte nach BGV B11 weit unterschritten werden. Eine Gefährdung von Personen tritt daher bei der Arbeit an einem PC-Bildschirm nicht auf.
- **Wireless-LAN-Systeme:**
Wireless Local Area Networks (WLAN) sind lokale Datennetze, die über Funk Datenübertragungen zwischen Geräten
- **Mobilfunkstationen:**
Für die moderne Informations- und Kommunikationstechnik baute man in der Bundesrepublik Deutschland in den letzten Jahren ein System aus fest installierten und mobilen Funkanlagen auf (Abbildung 18). Einen Überblick über die verschiedenen Netze und deren charakteristische Daten für ortsfeste Sendefunkanlagen des Mobilfunks gibt Tabelle 22.

Tabelle 21:
Beispiele für Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder an Innenraumarbeitsplätzen und die maximal zulässigen Werte (Expositionsbereich 2 nach BGV B11) [10; 11]

Feldquelle		Abstand	Typische Werte der Exposition	Zulässige Werte
Diebstahlsicherungseinrichtung		im Überwachungsbereich	$< 2 \text{ mW/m}^2$	$4,5 \text{ W/m}^2$
Mikrowellen-Kochgerät		5 cm zum Gerät	$0,62 \text{ W/m}^2$	10 W/m^2
Mobilfunk	Basisstation	50 m	$0,06 \text{ W/m}^2$	je nach Frequenzband 4,45 bis 10 W/m^2
	Handy	3 cm von Antenne	$< 2 \text{ W/kg}$	2 W/kg
HF-Belastung in Wohnräumen in der Nähe von Mobilfunksendern		keine Angabe	$3 \mu\text{W/m}^2$ bis $5,2 \text{ mW/m}^2$	2 W/m^2



Abbildung 18:
Sendefunkanlagen für den Mobilfunk

Tabelle 22:
Kommunikationsnetze und charakteristische Daten ortsfester Sendefunkanlagen (Basisstationen)
für den Mobilfunk

Kommunikationsnetz	Trägerfrequenz in MHz	Eingespeiste Antennenleistung	Bemerkungen
D-Netz	890 bis 960	10 W typisch 50 W möglich	digital gepulst 217 Hz
E-Netz	1 710 bis 1 880	10 W	digital gepulst 217 Hz
UMTS	1 920 bis 2 170	20 bis 40 W	FDMA ²⁾ und TDMA ³⁾ Technik
Tetra (BOS)	380 bis 395	bis 40 W ERP ¹⁾	TDMA ³⁾ (vier Zeitschlitz pro Träger)
Tetrapol	70 bis 520	bis 50 W	Frequenzmultiplex FDMA ²⁾
Cityruf	470	100 W	regionale Rufanzeige
Analoger Bündelfunk Öffentlicher Bereich	410 bis 430	bis 200 W ERP ¹⁾	geschlossene Benutzer- gruppen
Digital Mobile Radio (DMR)	136 bis 174 403 bis 470	bis 40 W	TDMA ³⁾ (zwei Zeitschlitz pro Träger)
Wireless LAN (WLAN)	2 400 bis 2 480 5 100 bis 5 800	< 100 mW EIRP ⁴⁾ < 1 W EIRP ⁴⁾	–

¹⁾ ERP: *Effective radiated power (Strahlungsleistung bezogen auf einen Halbwellendipol)*

²⁾ FDMA: *Frequency Division Multiple Access*

³⁾ TDMA: *Time Division Multiple Access*

⁴⁾ EIRP: *Effective isotropical radiated power (Strahlungsleistung bezogen auf einen isotropen Kugelstrahler)*

10 Elektrostatistische und elektromagnetische Felder

Für den Betrieb ortsfester Sendefunkanlagen des Mobilfunks (Basisstationen) benötigt der Betreiber eine Standortbescheinigung. Die Standortbescheinigung wird von der Bundesnetzagentur erteilt, wenn sichergestellt ist, dass an dem betreffenden Standort die zulässigen Werte zum Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern eingehalten werden. Hierbei werden die zulässigen Werte der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) [12] zugrunde gelegt. Unter Berücksichtigung der vor Ort vorhandenen Feldstärken legt die Bundesnetzagentur einzuhaltende Mindestabstände (Sicherheitsabstände) zu den Sendeanlagen fest und weist diese in der Standortbescheinigung aus. Es sind geeignete Maßnahmen (z. B. Umzäunung, Absperrung) zu ergreifen, um sicherzustellen, dass der geforderte Sicherheitsabstand von unbefugten Personen eingehalten wird.

Wegen der Zugangsbeschränkung zu stationären Sendefunkanlagen und des größeren Abstandes werden an Innenraumarbeitsplätzen, in deren Nähe sich Mobilfunkbasisstationen befinden, die maximal zulässigen Werte der 26. BImSchV in jedem Fall eingehalten. Eine Gefährdung von Beschäftigten an Innenraumarbeitsplätzen ist daher durch Mobilfunkstationen nicht zu erwarten.

- Mobilfunkgeräte:

Mobilfunkgeräte (z. B. Handys) arbeiten mit variablen Sendeleistungen. In Fahrzeuge fest eingebaute Mobilfunkgeräte senden mit Sendeleistungen bis zu 8 W, Handys senden mit Spitzenleistungen bis zu 2 W.

Bei der Benutzung von Mobiltelefonen wird ein Teil der Hochfrequenzenergie vom Kopf absorbiert. Wie viel von der Energie im Kopf aufgenommen wird, hängt von der Bauform des Gerätes, der Art der Benutzung, vom Antennentyp, von der Position der Antenne zum Kopf, von der Frequenz und von der Sendeleistung ab.

Für Mobilfunkgeräte ist heute eine spezifische Absorptionsrate SAR von 2 W/kg einzuhalten [3]. Bei Einhaltung dieses Wertes ist nach heutigem wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu rechnen.

- DECT-Anlagen:

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) ist ein Mobilfunkstandard, der den Zugang zu einem Mobilfunknetz definiert. De facto ist er aber ein Standard für schnurlose Telefone. Er beschreibt ein Mobilfunksystem, das mindestens aus einer Sendefunkstation (Basisstation) und einer Mobilfunkstation, d. h. einem Schnurlostelefon besteht. In einem DECT-System können mehrere Basisstationen/ Repeater (Abbildung 19) und Schnurlostelefone verwendet werden, sodass z. B. eine größere Fläche (Gebäudekomplex) versorgt werden kann oder mehrere Telefongespräche gleichzeitig geführt werden können.

In Europa wurde das System für den Frequenzbereich 1 880 bis 1 900 MHz definiert. Ein DECT-System hat theoretisch eine maximale Sendeleistung von 250 und eine gemittelte Sendeleistung von ca. 10 mW. Für die Nutzung des Schnurlostelefons gelten die gleichen Kriterien wie



Abbildung 19:
Access Point für DECT-Anlagen

für die Nutzung eines Handys. Jedoch ist die Sendeleistung von Schnurlostelefonen deutlich geringer als die von Handys. Für Personen an Innenraumarbeitsplätzen ist eine Gefährdung durch DECT-Anlagen nicht gegeben.

- Mikrowellen-Kochgeräte (Mikrowellenherde):

In Mikrowellen-Kochgeräten wird zur Erwärmung von Lebensmitteln Hochfrequenzenergie erzeugt. Die Hochfrequenzenergie wird von den Lebensmitteln absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt. Im Allgemeinen wird hierzu eine Frequenz von 2 455 MHz verwendet. Abschirmmaßnahmen sorgen dafür, dass die zulässigen Werte außerhalb des Gerätes eingehalten werden.

Nach Untersuchungen des Bundesamtes für Strahlenschutz liegen die Leistungsdichte-Messwerte für die „Leckstrahlung“ an Haushalts-Mikrowellenherden bei 1 % des zulässigen Emissionsgrenzwertes [13]. Da die emittierte Leistungsdichte mit zunehmendem Abstand abnimmt (in 30 cm Entfernung sind nur noch etwa 5 bis 10 % der an der Oberfläche des Gerätes gemessenen Leistungsdichte wirksam), ist bei einem intakten Gerät sichergestellt, dass die zulässigen Werte der BGV B11 von 10 W/m^2 für den Expositionsbereich 2 beim Einsatz eines Mikrowellenherdes an Innenraumarbeitsplätzen nicht überschritten werden. Bei offensichtlichen Defekten in der Abschirmung (z. B. bei defekten Türdichtungen) kann dies jedoch nicht garantiert werden. Daher ist darauf zu achten, dass keine defekten Mikrowellengeräte verwendet werden.

10.3 Vorschriften und Grenzwerte

In Deutschland gibt es Regelungen zum Schutz vor elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern sowohl für den Bereich der Öffentlichkeit als auch im Bereich des Arbeitsschutzes.

26. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz

Im Bereich der Öffentlichkeit ist die im Jahr 1997 erlassene 26. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Verordnung über elektromagnetische Felder), kurz 26. BImSchV [12], heranzuziehen. Diese enthält Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektromagnetische Felder.

Die Verordnung gilt für die Errichtung und den Betrieb von Nieder- und Hochfrequenzanlagen, die gewerblichen Zwecken dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden. Niederfrequenzanlagen im Sinne der Verordnung sind ortsfeste Anlagen zur Umspannung und Fortleitung von Elektrizität:

- Freileitungen und Erdkabel der Frequenz 50 Hz und einer Spannung von 1 000 V oder mehr
- Bahnstromfern- und Bahnstromoberleitungen einschließlich Umspann- und Schaltanlagen mit einer Frequenz von 16,67 oder 50 Hz
- Elektroumspannanlagen einschließlich Schaltfelder mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Oberspannung von 1 000 V oder mehr

Hochfrequenzanlagen im Sinne der 26. BImSchV sind ortsfeste Sendefunkanlagen mit einer Sendeleistung von 10 W EIRP (äquivalente isotrope Strahlungsleistung) oder mehr im Frequenzbereich von 10 MHz bis 300 GHz. Funkanlagen mit Sendeleistungen > 10 W werden auf der Grundlage des Gesetzes über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen (FTEG) in Betrieb genommen. Das Verfahren der Inbetriebnahme wird in der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) beschrieben. Diese Anlagen sind grundsätzlich so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich Grenzwerte nicht überschritten werden.

Auch die zu betrachtenden Bereiche sind nach 26. BImSchV definiert. Die Verordnung erfasst primär Bereiche in Gebäuden oder auf Grundstücken, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. Unbeschadet dessen findet die Verordnung Anwendung bei besonders schutzbedürftigen Bereichen. Hierunter fallen z. B. Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Spielplätze oder ähnliche Einrichtungen. Keine Anwendung findet die Verordnung bei der Tätigkeit von Beschäftigten, d. h. im Bereich des Arbeitsschutzes.

Unfallverhütungsvorschrift „Elektromagnetische Felder“

Im Bereich des Arbeitsschutzes ist die Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 „Elektromagnetische Felder“ [9] anzuwenden. Sie wird durch die zugehörige UVT-Regel BGR B11 [14] konkretisiert und erläutert. Die BGV B11 gilt, soweit Beschäftigte elektri-

schen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz ausgesetzt sind.

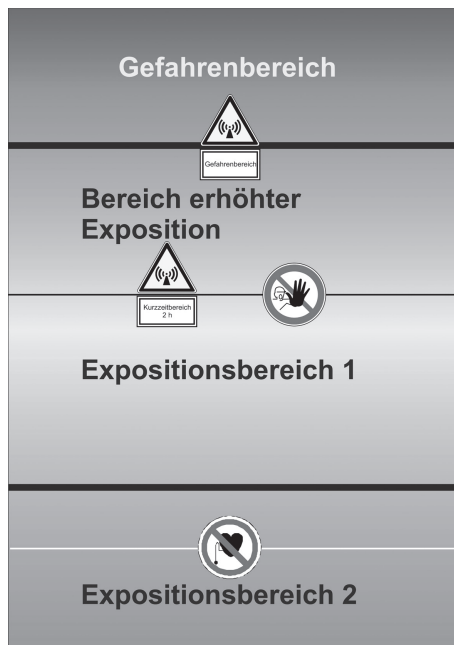
Bei der Überprüfung von Arbeitsstätten auf mögliche Expositionen gegenüber elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern muss der Unternehmer Expositionsbereiche (Einwirkungsbereiche) festlegen, die auftretenden elektromagnetischen Felder ermitteln und mit den zulässigen Werten vergleichen. Die Ermittlung der Exposition hat dabei durch einen Sachkundigen zu erfolgen und kann durch Berechnung, Messung, Berücksichtigung von Herstellerangaben oder Vergleich mit anderen Anlagen vorgenommen werden.

Nach BGV B11 wird zwischen Expositionsbereich 2, Expositionsbereich 1 und dem Bereich erhöhter Exposition unterschieden (Abbildung 20).

Der Expositionsbereich 2 umfasst alle Bereiche, in denen keine speziellen Zugangsregelungen getroffen werden. Somit sind auch Innenraumarbeitsplätze, die allgemein zugänglich sind, diesem Bereich zuzuordnen. Hier gelten die niedrigsten zulässigen Werte für Arbeitsplätze. Höhere Werte sind im Expositionsbereich 1 zulässig. Er umfasst alle kontrollierten Bereiche.

Neben den beiden genannten Expositionsbereichen gibt es einen Bereich erhöhter Exposition, in dem unter Anwendung besonderer Maßnahmen die zulässigen Werte des Expositionsbereichs 1 kurzzeitig überschritten werden dürfen.

Abbildung 20:
Expositionsbereiche nach BGV B11 [9]



Zulässige Werte nach BGV B11

Zulässige Werte wurden international so festgelegt, dass biologisch relevante Wirkungen oder Effekte hinsichtlich einer möglichen Schädigung, Gefährdung oder Belästigung ausgeschlossen sind. Da die Wirkungen elektromagnetischer Felder frequenzabhängig sind, sind auch die zulässigen Werte in Abhängigkeit von der Frequenz festgelegt. Zulässige Werte werden in sogenannten Basiswerten und in davon abgeleiteten Werten angegeben.

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Basiswerte sind die Stromdichte in der Einheit A/m^2 , die spezifische Absorptionsrate (SAR) in der Einheit W/kg , die Leistungsdichte in der Einheit W/m^2 oder die Gewebefeldstärke in der Einheit V/m . Sie (siehe auch BGV B11 [9]) gründen auf physikalischen, biologischen und medizinischen Erkenntnissen und sind international anerkannt und empfohlen [4].

Der Nachweis der Basiswerte ist messtechnisch sehr aufwendig. Daher wurden für die Praxis zulässige Werte der Feldgrößen (die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte/Feldstärke) von den Basiswerten

abgeleitet. Bei Einhaltung der so abgeleiteten Werte ist sichergestellt, dass auch die Basiswerte im Körper eingehalten werden. Die zulässigen Werte der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte nach BGV B11 sind in den Abbildungen 21 und 22 dargestellt.

In Tabelle 23 sind die zulässigen Werte für die energietechnisch wichtige Frequenz 50 Hz aufgeführt; die Werte gelten für Ganzkörperexpositionen. An Innenraumarbeitsplätzen werden die zulässigen Werte für den Expositionsbereich 2 in der Regel nicht überschritten.

Abbildung 21:
Zulässige Werte der elektrischen Feldstärke E in den Expositionsbereichen 1 und 2 sowie im Bereich erhöhter Exposition nach BGV B11 [9]

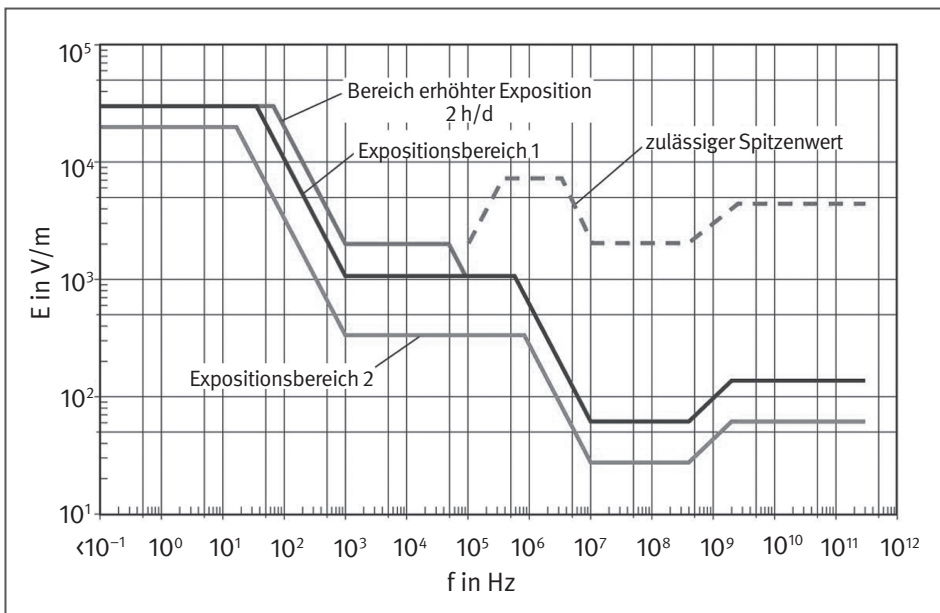


Abbildung 22:
Zulässige Werte der magnetischen Flussdichte B in den Expositionsbereichen 1 und 2
sowie im Bereich erhöhter Exposition nach BGV B11 [9]

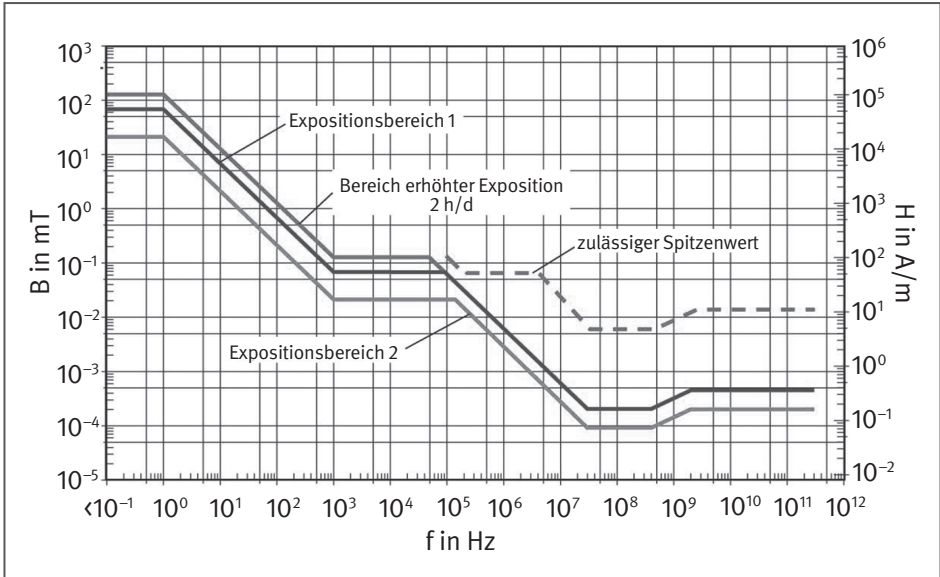


Tabelle 23:
Zulässige Werte nach BGV B11 [9] bei der Frequenz 50 Hz

Expositionsbereich	Zulässiger Wert der elektrischen Feldstärke in kV/m	Zulässiger Wert der magnetischen Flussdichte in mT
Expositionsbereich 2	6,7	0,42
Expositionsbereich 1	21,2	1,36
Bereich erhöhter Exposition	30,0	2,54

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Erforderliche Maßnahmen nach BGV B11

An Innenraumarbeitsplätzen, an denen die für den Expositionsbereich 2 geltenden zulässigen Werte nicht überschritten werden, sind keine Maßnahmen erforderlich. Übliche Geräte der Bürokommunikation und der Büroarbeit (insbesondere Bildschirmgeräte), Elektrowerkzeuge, Haushaltsgeräte, Elektroanlagen in Gebäuden sowie Motoren, Antriebe etc. mit geringen Anschlussleistungen liegen mit ihren Emissionswerten so niedrig, dass die zulässigen Werte des Expositionsbereichs 2 (siehe Abschnitt „Vorkommen elektromagnetischer Felder“) unterschritten werden.

In unmittelbarer Umgebung industrieller Anlagen mit hohen elektrischen Leistungen ist jedoch nicht auszuschließen, dass die zulässigen Werte nach BGV B11 überschritten werden. Ist dies der Fall, sind nach BGV B11 [9] Maßnahmen erforderlich. Dazu zählen z. B. die Erstellung von Betriebsanweisungen, Unterweisungen, Kennzeichnung und Zugangskontrollen.

Zulässige Werte für Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln

Auch wenn an Innenraumarbeitsplätzen die zulässigen Werte für den Expositionsbereich 2 unterschritten werden, können aktive Körperhilfsmittel wie z. B. Herzschrittmacher durch elektromagnetische Felder beeinflusst werden. In diesem Fall ist eine spezielle Gefährdungsbeurteilung und gegebenenfalls eine entsprechende Kennzeichnung erforderlich (siehe Abbildung 23).



Abbildung 23:
Verbot für Personen mit
Herzschrittmachern

Beeinflussungen aktiver Implantate hängen von verschiedenen Parametern wie z. B. der eingestellten Empfindlichkeit, der Bauart und Verlegeart der Elektroden sowie der Störfestigkeit des Implantates ab. Daher ist bei der Bewertung an Arbeitsplätzen grundsätzlich eine Einzelfallentscheidung unter Zugrundelegung der eingestellten Parameter (eingetragen im Herzschrittmacherpass) und der Herstellerangaben durchzuführen. Mögliche Beeinflussungen von Körperhilfsmitteln durch EM-Felder sowie die notwendige Gefährdungsbeurteilung beschreibt die BGI/GUV-I 5111 „Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder – Eine Handlungshilfe für die betriebliche Praxis“ [15].

10.4 Zusammenfassung

An Innenraumarbeitsplätzen können elektrostatische Aufladungen auftreten. Im Allgemeinen stellen die hierdurch erzeugten elektrostatischen Felder für die Beschäftigten keine Gefahr dar. Es kann jedoch zu Entladungsvorgängen kommen, die zu Schreckreaktionen führen. Auch können elektronische Bauteile durch elektrische Entladungen beschädigt werden. Elektrostatische Aufladungen sollten daher an Innenraumarbeitsplätzen so weit wie möglich vermieden werden. Als Maßnahmen kommen hierzu die

Auswahl geeigneter Materialien, die Verringerung von Kontaktflächen und die Erdung infrage.

An Innenraumarbeitsplätzen können auch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder auftreten. An Büroarbeitsplätzen werden sie durch die dort üblichen Büro- und Elektrogeräte erzeugt. Deren Emission von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern ist jedoch gering. Die maximal zulässigen Werte für die Felder werden in Büroräumen in aller Regel eingehalten und eine Gefährdung von Personen ist dort nicht zu erwarten.

Auch an Innenraumarbeitsplätzen, die sich in der Umgebung von Energieversorgungs- und Energieverteilungsanlagen befinden, ist eine Überschreitung zulässiger Werte auszuschließen. Für Träger aktiver Körperhilfsmittel (z. B. Herzschrittmacher) kann eine individuelle Gefährdungsbeurteilung erforderlich sein.

10.5 Literatur

- [1] Elektromagnetische Felder im Alltag. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe 2010
- [2] *Haubrich, H.J.*: Der Mensch im elektrischen und magnetischen Niederfrequenzfeld. ETZ 115 (1994) Nr. 3, S. 128-133
- [3] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and elektromagnetische fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (1998) Nr. 4, S. 494-522
- [4] Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Physics 96 (2009) Nr. 4, S. 504-514
- [5] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physics 99 (2010) Nr. 6, S. 818-836
- [6] Strahlenschutzkommission der Bundesregierung www.ssk.de
- [7] *Brüggemeyer, H.; Dickob, H.; Eggert, S.; Fischer, M.; Friedrich, G.; Heinrich, H.; Krause, N.; Möbius, U.; Reidenbach, H.-D.; Ruppe, I.; Wolf, F.*: Leitfaden „Nicht-ionisierende Strahlung“ – Elektromagnetische Felder. Hrsg.: Fachverband für Strahlenschutz, Köln 2005
- [8] CD 006 – Elektromagnetische Felder (Mini-Disc). Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienherzeugnisse, Köln 2008
- [9] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift: Elektromagnetische Felder (BGV B11). Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Gas-, Fernwärme und Wasserwirtschaft, Köln 2001
- [10] Strahlenthemen – Mobilfunk und Sendetürme. Hrsg.: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Salzgitter 2012
- [11] *Silny, J.*: Exposition der Allgemeinbevölkerung durch hochfrequente elektromagnetische Felder – Plausibilität der gesundheitlichen Unbedenklichkeit. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

- der Republik Österreich. Aachen 1999
http://www.spoe-badsauerbrunn.at/artikel/1-2003/wirelesslan17022003/studie_WLAN.pdf
- [12] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996. BGBl. I (1996), S. 1966-1968
- [13] Bundesamt für Strahlenschutz
www.bfs.de
- [14] Berufsgenossenschaftliche Regeln: Elektromagnetische Felder (BGR B11) (10.01). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin, Carl Heymanns, Köln 2006
- [15] Berufsgenossenschaftliche Information: Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder, eine Handlungshilfe für die betriebliche Praxis (BGI/GUV-I 5111). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2012
- Weiterführende Literatur**
- Armbrüster, H.; Grünberger, G.:* Elektromagnetische Wellen im Hochfrequenzbereich. Hüthig und Pflaum, München 1978
- Berndt, H.:* Elektrostatik – Ursachen, Wirkungen, Schutzmaßnahmen, Messungen, Prüfungen, Normung. VDE, Berlin 2009
- Empfehlung 1999/519/EG des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz-300 GHz). ABl. EG Nr. L 199 (1999), S. 59-70
- Haase, H.:* Statische Elektrizität als Gefahr. Verlag Chemie, Weinheim 1972
- Habiger, E.:* Elektromagnetische Verträglichkeit – Grundzüge ihrer Sicherstellung in der Geräte- und Anlagentechnik. Hüthig, Heidelberg 1998
- Eggert, S.; Siekmann, H.:* Normung im Bereich der nichtionisierenden Strahlung. KAN-Bericht 9. Hrsg.: Kommission Arbeitsschutz und Normung, Sankt Augustin 2000
- Lüttgens, G.; Boschung, P.:* Elektrostatische Aufladungen, Ursachen und Beseitigung. Expert, Grafenau 1980
- Tobisch, R.; Irrnich, W.:* Mobilfunk im Krankenhaus. Schiele und Schön, Berlin 1999
Fachverband für Strahlenschutz e.V.
www.fs-ev.de
- Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP).
www.icnirp.org