



Bayerisches Landesamt
für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin
und Sicherheitstechnik

Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz

Ergebnisse einer Messreihe des LfAS



Herausgegeben im Auftrag des Bayerischen
Staatsministeriums für Gesundheit, Ernährung und
Verbraucherschutz

Grundlagen für die biologische Beurteilung

Aufgabenstellung

„Elektrosmog“ oder „Elektrostress“ sind in letzter Zeit häufig benutzte Schlagworte, mit denen - entsprechend der Luftverschmutzung - eine mit elektromagnetischen Feldern (EMF) belastete Umwelt charakterisiert werden soll.

Zur richtigen Einordnung einer potenziellen Gefahr ist es wichtig, die Höhe der Einwirkungen zu kennen und Grenzwerten sowie anderen Einflüssen zuzuordnen. Dies gilt vor allem für den Arbeitsplatz - finden sich doch in bestimmten Arbeitsbereichen die höchsten üblicherweise vorkommenden Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden in den Jahren 1993 bis 2001 EMF-Messungen an einer Reihe ausgewählter, vorwiegend hochbelasteter Arbeitsplätze in Bayern durchgeführt und mit den derzeit bekannten Grenzwerten sowie natürlichen Feldern und Strömen verglichen.

EMF - eine Gefahr am Arbeitsplatz?

Diese Frage kann derzeit nicht eindeutig mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden.

EMF finden sich an den meisten unserer modernen Arbeitsplätze. Insbesondere dort, wo hohe elektrische Leistungen umgesetzt werden (z. B. Energieversorgung, Elektroschweißen, Elektrolyse) oder wo hochtechnisierte Ausstattungen (z. B. Bildschirme, Laborgeräte) Verwendung finden, wirken EMF auf den Menschen ein. Im Grunde ist dieser Umweltfaktor am Arbeitsplatz wie auch im Freizeitbereich allgegenwärtig und für die meisten von uns derzeit nicht abweisbar.

Dabei drängt sich naturgemäß die Frage nach dem Einfluss der EMF auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Arbeitnehmers auf, der ja häufig ein ganzes Berufsleben lang diesen Einwirkungen ausgesetzt ist.

Nach der derzeitigen „orthodoxen“ Betrachtungsweise, die der ICNIRP-Empfehlung (1), der BG-Vorschrift BGV B11 (2), der 26. BImSchV (3), dem Vorschlag der Kommission für die EU-Richtlinie „Physikalische Einwirkungen am Arbeitsplatz“ (4) sowie den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (5) zugrunde liegt, werden im wesentlichen die *direkten* Wirkungen der im Körper induzierten bzw. influenzierten Ströme und die absorbierte, in Wärme umgewandelte Energie betrachtet. Dies bedeutet, dass bestimmte Werte für Körperstromdichten (mA/m^2) bzw. im Körper umgesetzte Wärmeleistungen (W/kg) zu **Basis-Grenzwerten** erklärt werden.

Eine Reihe von Forschern bzw. Institutionen wollen darüber hinaus auch subtilere Wirkungen auf Zellen und Vorgänge im Körper berücksichtigt wissen (7).

In der Schweiz hat dies bereits zu einer drastischen Absenkung der Vorsorge-Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung geführt (8),

Hierbei stehen u. a. folgende Effekte bzw. Wirkungen zur Diskussion:

- biologisch besonders wirksame Effekte der EMF (z. B. Amplitudenmodulation, gepulste Felder usw.)
- feldbedingte Zellwirkungen – wie Veränderung der Permeabilität von Zellmembranen, Reduzierung des Hormons Melatonin, Beeinflussung der Blut-Hirnschranke
- Veränderungen des EEG's und der Schlafzyklen unter HF- bzw. Mobilfunk-Exposition
- mögliche krebsfördernde Wirkungen der EMF.

Bei den Forschungsergebnissen – viele beziehen sich auf Zellkulturen und nicht auf den lebenden Menschen – besteht jedoch häufig große Widersprüchlichkeit. Die Effekte sind in der Regel klein, so dass sie über die natürliche statistische Streubreite kaum hinausragen.

Gesundheitsrelevante Effekte und Auswirkungen, die über die reine Strom- bzw. Wärmewirkung hinausgehen, müssen wissenschaftlich abgesichert und nachvollziehbar sein, um in Rechtsnormen Eingang finden zu können. Hierfür gibt es derzeit – nach Bewertung durch die offiziellen Gremien (z. B. Strahlenschutzkommission) – noch nicht genügend Anhaltspunkte.

Physikalische Grundlagen

Strahlungsenergie

EMF in dem hier interessierenden Frequenzbereich von 0 Hertz bis 300 Gigahertz sind von der physikalischen Natur her prinzipiell mit anderen elektromagnetischen Feldern bzw. Strahlungen, wie sichtbarem Licht, Infrarot, Ultraviolett, Röntgenstrahlung vergleichbar. Entsprechend dem Energieinhalt und dem Eindringvermögen der Strahlung sind jedoch die Wirkungen auf den Menschen sehr unterschiedlich. Wir kennen die gewebeerwärmende Wirkung von Infrarotstrahlung oder die bräunende bzw. auch hautschädigende Wirkung von UV-Strahlen, sowie auch die zellschädigenden Auswirkungen der ionisierenden Strahlung (Röntgen-, Gammastrahlung).

Grundsätzlich ist elektromagnetische Strahlung niedriger Energie (unterhalb des UV), mit der wir es hier zu tun haben, nicht in der Lage, Elektronen aus der Hülle eines Atoms herauszulösen, d. h. zu ionisieren. Damit können auch keine direkten chemischen Vorgänge (wie Radikalbildungen usw.) in Gang gesetzt werden.

Indirekt könnten jedoch durch niederenergetische Felder Stoffwechselfvorgänge – z. B. durch feldinduzierte Änderungen des Ionentransportes durch Zellwände – beeinflusst werden.

Diese Wirkungen sind derzeit Gegenstand intensiver Forschungen.

Einteilung der Frequenzbereiche

Es werden folgende Frequenzbereiche und Messgrößen unterschieden:

Frequenzbereich	Bezeichnung	Wirkungsmechanismen	Messgrößen
0 Hz	Statisches Feld	Kraftwirkung, Reizung von Nerven und Muskelfasern	E-Feld: V/m H-Feld: A/m Magn. Flussdichte: T
0 - 30 Hz	SubELF		
30 - 3000 Hz	ELF(Extra Low Frequency)		
3kHz - 30kHz	VLF(Very Low Frequency)		
30 kHz – 300 kHz	LF (Low Frequency)	Wärmewirkung	Leistungsflussdichte Watt/m ²
300 kHz – 3 MHz	MF(Medium Frequency)		
3 MHz – 30 MHz	HF(High Frequency)		
30 MHz – 300 MHz	VHF(Very High Frequency)		
300 MHz - 3 GHz	UHF(Ultra High Frequency)	Hotspots	
3 GHz – 30 GHz	SHF(Super High Frequency)		
30 GHz – 300 GHz	EHF(Extra High Frequency)	Hauterwärmung	

Im niederfrequenten Bereich sind „elektrische“ und „magnetische“ Felder weitgehend entkoppelt, im hochfrequenten Bereich spricht man – wegen der zeitlich-räumlichen Verknüpfung der Feldgrößen – vom „elektromagnetischen“ Feld. Nur das elektromagnetische Feld ist in der Lage, sich im Raum über größere Entfernungen hinweg auszubreiten.

Messgrößen und Einheiten

Man unterscheidet:

- **Basisgrenzwerte.** Sie beziehen sich auf unmittelbar im Körper induzierte bzw. influenzierte Ströme sowie Wärmeleistungen.
- **Abgeleitete Grenzwerte.** Sie sind der messtechnischen Erfassung zugänglich (Einheit V/m, A/m, W/m² usw).
- **Ersatzfeldstärken.** Das sind diejenigen Feldstärken, die im ungestörten Feld, d. h. in Abwesenheit der Person, gemessen werden können.

Einheiten für die abgeleiteten Grenzwerte:

- Feldstärke des elektrischen Feldes E: V/m (Volt/Meter)
- Feldstärke des magnetischen Feldes H: A/m (Ampere/Meter) bzw. Flussdichte T (Tesla, mT, usw.)
- Leistungsflussdichte S (Watt/m²).

Das Potential zwischen elektrischen Ladungen unterschiedlicher Polarität, bezogen auf den Abstand der Ladungen, ist ein Maß für die Stärke des elektrischen Feldes E (Einheit Volt/Meter).

Die Stärke des Magnetfeldes in verschiedenen Medien wird mit der magnetischen Feldkonstante (relative Permeabilität μ_r) beschrieben. Die entsprechende physikalische Größe wird magnetische Flussdichte oder Induktion B genannt.

Die Induktion B hat die Einheit Tesla (T); $B = \mu_r \mu_0 H$, wobei für Luft und Körpergewebe gilt: $\mu_r \approx 1$

Umrechnung magnetische Feldstärke / Induktion ($\mu_r = 1$):
 $1 \text{ A/m} \Rightarrow 1,25 \mu\text{T}$

Daraus folgt unter anderem, dass im Bereich niedriger Frequenzen das Magnetfeld – im Gegensatz zum elektrischen Feld – den menschlichen Körper praktisch ungeschwächt durchdringt.

Bei hochfrequenten EMF (ab 100 kHz) steht die vom Körper absorbierte Wärmemenge im Vordergrund. In diesem Bereich ist – sofern man sich im Fernfeld der Welle befindet – die Leistungsflussdichte S der elektromagnetischen Strahlung ($S=E \cdot H$) für den Energietransport entscheidend.

Die Leistungsflussdichte wird in Watt pro Quadratmeter (W/m²) oder Milliwatt pro Quadratzentimeter (mW/cm²) angegeben.

Aus der Messgröße E (V/m) kann im Fernfeld die Leistungsflussdichte berechnet werden: $S = E^2/377$

Umrechnung Leistungsflussdichte / Feldstärke:

$$1 \text{ mW/m}^2 \Rightarrow 0,6 \text{ V/m}$$

$$1 \text{ V/m} \Rightarrow 2,65 \text{ mW/m}^2 = 0,26 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$$

$$1 \text{ mW/m}^2 = 0,1 \text{ } \mu\text{W/cm}^2 = 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

$$1 \text{ W/m}^2 = 10 \text{ mW/cm}^2$$

In den für den Arbeitsschutz wichtigen Zonen befindet man sich meist im Nahfeldbereich einer Quelle.

Wegen der nicht definierten Phasenlage müssen dort die Komponenten des E- und des H-Feldes zur Beurteilung getrennt erfasst werden.

Abstandsgesetz

Niederfrequente Felder bis ca. 30 kHz sind grundsätzlich leitungsgebunden, d. h. ihre Feldstärke fällt mit zunehmendem Abstand r vom spannungs- oder stromführenden Leiter mehr oder weniger schnell ab ($1 / r^n$ mit $n = 1 \dots 3$) je nach Ausdehnung und Form des Leiters.

Hochfrequente Felder werden häufig von einer Dipolanordnung erzeugt. Die Feldstärken (E,H) hochfrequenter Felder im Fernfeld von **Sende-Antennen** (z. B. von Rundfunksendern) nehmen nach dem Gesetz $1/r$ ab. Im Nahfeldbereich ist diese Beziehung nicht gültig.

Entsprechend nimmt die **Leistungsflussdichte** ($S=EH$) im Fernfeld mit $1/r^2$ ab.

EMF-Stromquelle	Abstandsgesetz für die Feldstärke
Linienleiter (eine Stromrichtung)	$1/r$
Doppelleiter (gegenläufige Stromrichtungen)	$1/r^2$
Spulen, Trafos, Elektromotoren	$1/r^3$
Dipolantenne	$1/r$

Eine Abstandsverdoppelung bedeutet z. B. für Doppelleitungen eine Abnahme der Feldstärke um den Faktor 4, d. h. auf 25 % des ursprünglichen Wertes!

Definition der Basis-Grenzwerte

(Grundlage: ICNIRP-Guidelines 1998)

Niederfrequenter Bereich

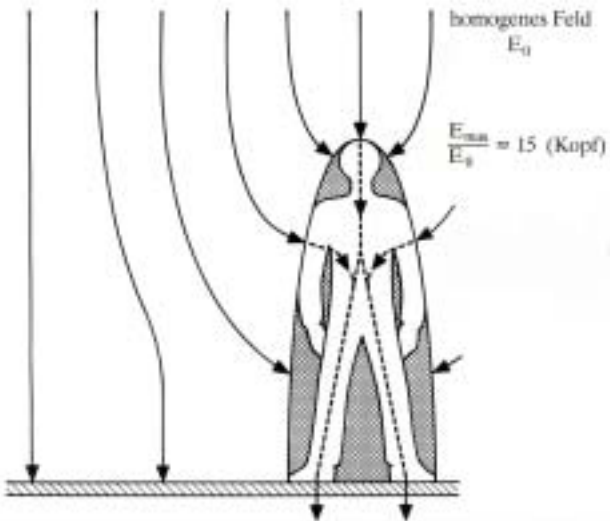
Im niederfrequenten Bereich wird die Wirkung eines äußeren Feldes auf den Menschen nach heutiger Sichtweise hauptsächlich durch die im Körper hervorgerufenen Ströme beurteilt:

- das Magnetfeld induziert im Inneren der Körpers Wirbelströme

- das elektrische Feld ruft Verschiebungsströme im Körper hervor (s. Abb.).

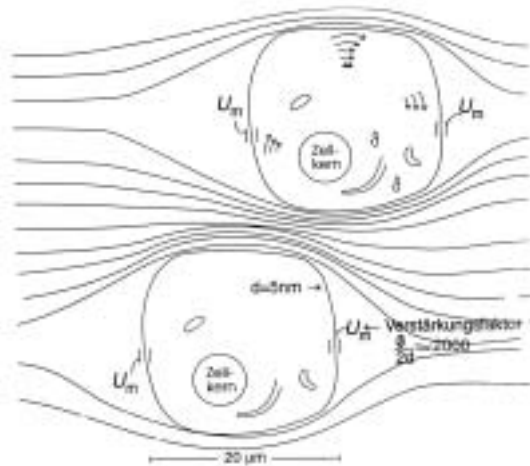
Diese Ströme können bei entsprechender Stärke zur Beeinflussung von Zellfunktionen und des Nervensystems bis zur Erregung von Sinnes-, Muskel- und Nervenzellen führen.

Dabei ist zu beachten: Das äußere Magnetfeld durchdringt den Körper praktisch ungeschwächt, während das äußere elektrische Feld infolge der Leitfähigkeit der Körpergewebe im Innern des Körpers um den Faktor 10^6 geschwächt wird. Allerdings kommt es an den Zellmembranen wieder zu einem Feldstärke-Aufbaueffekt (s. Abb.) (6).



Phantommodell zur Simulation des menschlichen Körpers im niederfrequenten elektrischen Wechselfeld. Die Feldstärke im Kopfbereich E_{\max} ist 15 bis 20 mal höher als im ungestörten Feld E_0 . Im Körper fließen Verschiebungsströme, die auf dessen Oberfläche als Influenz- bzw. Polarisationsladungen erscheinen. Dies führt zu einer Feldstärkereduzierung im Körperinnern um das Verhältnis von rund 1 : 1.000.000

Aus Phantommessungen und Berechnungen hat man Anhaltswerte für Ersatzfeldstärken gewonnen, die in verschiedenen Körperregionen eine Körperstromdichte von 1 mA/m^2 erzeugen (s. Tabelle).



Verlauf der Stromlinien bzw. Feldlinien in der Umgebung biologischer Zellen im Niederfrequenzbereich. Die Konsequenzen sind einmal das Auftreten von Potentialdifferenzen an der Zellmembran, und zum anderen Feldverstärkungen an der Membranoberfläche, die sich dem Ruhepotential überlagern und die zu Ionenfluktuationen führen können. Während im Niederfrequenzbereich das Zellinnere aufgrund der niedrigen Leitfähigkeit der Zellmembran praktisch feldfrei ist, wird bei Frequenzen ab etwa 1 MHz die Zellmembran kapazitiv überbrückt. Relevante zusätzliche Membranpotenziale, die zu Reizwirkungen führen, können jedoch erst bei sehr hohen Feldstärken auftreten (Bernhardt (6))

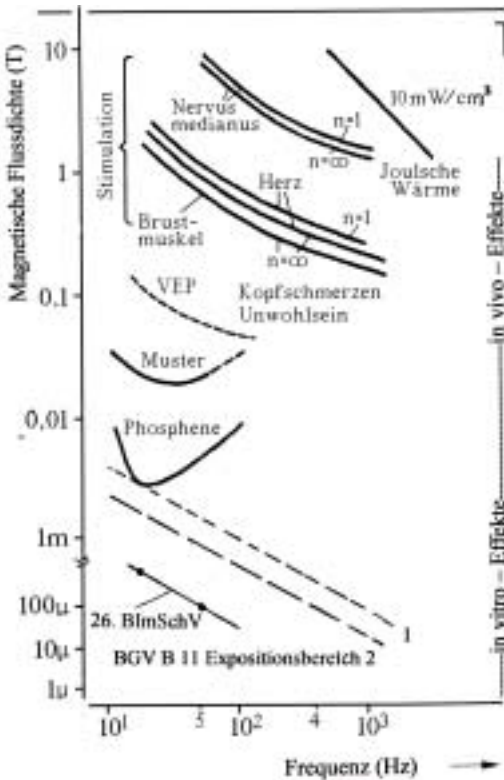
Ersatzfeldstärken, die bei 50 Hz zu Körperstromdichten von ca. 1 mA/m² führen:

Körperregion	Elektrisches Feld (kV/m)	Magnetisches Feld (µT)
Kopf	8,5 – 12,5	250
Halsbereich	2 - 3,5	60 – 100
Herzbereich	2,5 – 10	90 – 200
Fußgelenke	0,25 - 0,5	600

Die folgende Graphik zeigt, welche biologischen Wirkungen in Abhängigkeit von der äußeren Feldstärke ausgelöst werden.

Da im Körper bereits **natürliche Ströme** vorhanden sind (insbes. Herzregion, Gehirn, Nerven), überlagern sich die von außen induzierten bzw. influenzierten Stromdichten den bereits vorhandenen Körperstromdichten. Damit ist auch eine potenzielle Beeinflussbarkeit von elektrisch gesteuerten Körpervorgängen gegeben.

Biologische Wirkungen niederfrequenter Felder



Biologische Wirkungen von niederfrequenten Magnetfeldern (Stimulation von Sehzellen, visuell evozierte Potentiale, Stimulation von Muskelzellen, Gewebeerwärmung (11))

Allerdings fließen elektrische Ströme im Körper auch außerhalb ihres Entstehungsortes (Aktionspotential der Zelle), d. h. es sind neben der elektrisch erregten Zelle auch Nachbarzellen vom Feld durchflutet. So kann man das EKG beispielsweise am ganzen Körper ableiten.

Auch durch das atmosphärische Feld sowie durch Bewegungen im Erdmagnetfeld entstehen Körperströme.

In der folgenden Tabelle sind die entsprechenden Stromdichtebereiche dargestellt. Bei der Festlegung von Basis-Grenzwerten orientiert man sich an dieser Skala von Stromdichtewerten.

Körperstromdichten

Erdelektrisches Feld Schönwetter (0,2 kV/m)	» $10^{-5} \mu\text{A}/\text{m}^2$
Gewitter (20 kV/m)	» $10^{-3} \mu\text{A}/\text{m}^2$
Bewegung im Erdmagnetfeld (40 mT) z. B. Radfahren, Laufen	$\leq 1 \mu\text{A}/\text{m}^2$
Hirnströme	$> 0,1 \text{ mA}/\text{m}^2$
Herzströme	$> 1 \text{ mA}/\text{m}^2$
Reizschwelle (<1 kHz)	$> 100 \text{ mA}/\text{m}^2$
Gefährdung (<1 kHz)	$> 1000 \text{ mA}/\text{m}^2$

Um Gefährdungen durch Reizwirkungen an Nerven, Muskelfasern usw. auszuschließen, wurde der Basis-Grenzwert der **Körperstromdichte** für berufliche Exposition im niederfrequenten Bereich (4 Hz – 1 kHz) wie folgt festgelegt:

Basisgrenzwert (berufliche Exposition): $10 \text{ mA}/\text{m}^2$

Für die Exposition der Allgemeinheit wird ein um den Faktor 5 niedrigerer Wert angesetzt.

Basisgrenzwert (Allgemeinheit): $2 \text{ mA}/\text{m}^2$

Hochfrequenter Bereich

Wärmewirkung:

Im Frequenzbereich über 100 kHz tritt zunehmend Energieabsorption in Zellen und Geweben – insbesondere durch Orientierungspolarisation von Wasserdipolen – auf (Nutzung im Mikrowellenofen und bei der medizinischen Hyperthermie). Daher ist in diesem Frequenzbereich die Wärmewirkung entscheidend.

Die Eindringtiefe in das Körpergewebe nimmt mit steigender Frequenz infolge zunehmender Energieabsorption im Körpergewebe ab.

Zeitkonstante:

Der Körper bildet einen geregelten Wärmespeicher mit der Zeitkonstanten von ca. 6 Minuten, d. h. zeitlich veränderliche Einwirkungen, die weniger als 6 Minuten dauern, müssen über diesen Zeitraum gemittelt werden.

Hauterwärmung:

Hauterwärmung:

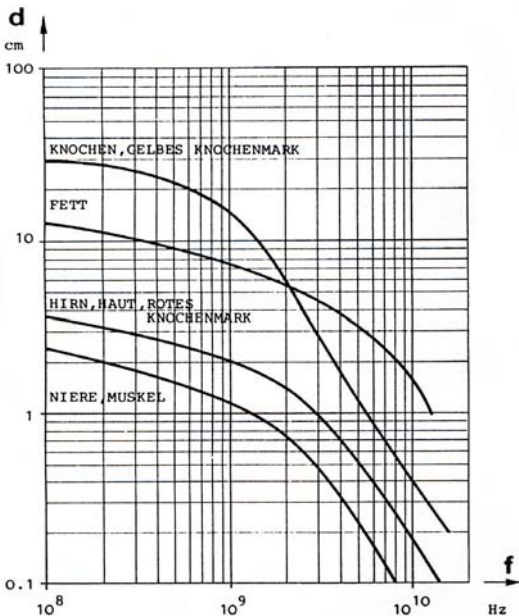
Bei sehr hohen Frequenzen (>10 GHz) wird schließlich die gesamte Leistung in den hautnahen Schichten absorbiert. Dabei kann auch die Augenlinse gefährdet sein, die sich wegen schlechter Kühlung und geringer Wärmekapazität leicht erwärmt.

Hot-Spots

Innerhalb des Körpers können durch Reflexionen an Geweben unterschiedlicher Impedanz und Überlagerung mit der einlaufenden Welle und durch Fokussierungseffekte Bereiche mit höheren Leistungsdichten – sogenannte „Hot-Spots“ – entstehen, die sich dann stärker erwärmen als das umliegende Gewebe. Wegen der fehlenden Wärmerezeptoren im Körperinnern ist die Überwärmung u. U. nicht oder verzögert wahrnehmbar. Hot-Spots findet man vorzugsweise im UHF-Bereich.

Eindringtiefe

Bei der Eindringtiefe d ist die Strahlungsleistung auf 37 % ($1/e$) des Wertes an der Oberfläche abgefallen. Um die Strahlungsleistung beispielsweise auf 5 % des ursprünglichen Wertes zu reduzieren, sind 3 Eindringtiefen ($3 \times d$) erforderlich.



Frequenzabhängigkeit der Eindringtiefe für verschiedene Gewebe

Natürliche Bezugsgröße für die Wärmewirkung ist der Grundumsatz des Menschen mit etwa 1 Watt pro kg Körpermasse. Beim Sport kann der Körper kurzzeitig Wärmeleistungen von bis zu 20 Watt/kg bewältigen.

Eine zusätzliche Wärmeleistung von 4 W/kg führt in Abhängigkeit von verschiedenen Zusatzbedingungen zu einer Erhöhung der Körpertemperatur bis zu 1 Grad Celsius.

Als **Basis-Grenzwert** für die hochfrequente Exposition wird die mittlere spezifische Absorptionsrate (**SAR**) in **W/kg** festgelegt, die einem Zehntel dieser Wärmeleistung entspricht.

Die Ableitung der Basisgrenzwerte ist im EHC-Dokument 137 der WHO (9) beschrieben.

Basis-Grenzwert für die berufliche Ganzkörper-Exposition bei Dauereinwirkung (Ganzkörper-Mittelwert):

Basisgrenzwert (berufliche Exposition)
Ganzkörper-SAR : **0,4 W/kg** ($f > 100$ kHz)

Hinsichtlich lokal erhöhter Exposition – z. B. am Auge – gilt, gemittelt über eine Körpermasse von 10 g:

Teilkörper-SAR : **10 W/kg (10 g)** ($f > 1$ MHz)

Für das Vorsorgekonzept (Allgemeinbevölkerung) wird obiger Wert nochmals um den Faktor 5 herabgesetzt:

Basis-Grenzwert (Allgemeinheit)
Ganzkörper-SAR : **0,08 W/kg** ($f > 100$ kHz)
Teilkörper-SAR: **2 W/kg (10g)**

Die ICNIRP-Vorsorgewerte sollten daher eine 50-fache Sicherheit gegenüber der Schwelle bieten, bei der gesundheitliche Wirkungen auftreten!

Mittelbare Gefährdung

Berührungsströme

Bei Aufenthalt in elektromagnetischen Feldern können bei Körperkontakt mit leitfähigen Teilen Berührungsströme entstehen. Dies geschieht, wenn z. B. schlecht geerdete Metallteile (PKW, LKW, Metallzäune, Blechdächer, Maschinen, Krane usw.) kapazitiv aufgeladen sind und über den Körper geerdet werden. Dabei kann es zu einem Entladungsfunken (punktuelle Hautverbrennung) bzw. zu einer Schreckreaktion kommen.

Z. B. kann bei Berühren eines LKW unter einer Hochspannungsleitung (ungestörte Feldstärke 10 kV/m) ein Berührungsstrom von bis zu 5 mA fließen.

Krane und andere leitfähige Gebilde in der Nähe von Sendeanlagen können in Resonanz kommen und sich dadurch hochfrequent aufladen.

Berührungsfunken können u. U. explosionsfähige Gemische zünden, s. DIN VDE 0848-5. Die organisatorischen und technischen Schutzmaßnahmen nach DIN VDE 0800-1 sind einzuhalten.

Berührungsströme spielen bei Frequenzen über 10 MHz kaum mehr eine Rolle.

Grenzwerte für den Berührungsstrom bei Berührung leitfähiger Objekte nach ICNIRP (0 bis 2,5 kHz):

1,0 mA (berufliche Exposition)

0,5 mA (Allgemeinheit)

Störung technischer Komponenten

Elektronische Komponenten reagieren z. T. wesentlich empfindlicher als der menschliche Organismus. Besonders störempfindlich gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern sind große PC-Monitore und Bildschirm-Sichtgeräte, bei denen schon ab einer magnetischen Flussdichte von 0,3 Mikrottesla Flimmern und Farbverzerrungen eintreten (Tabelle).

Störung aktiver Implantate

Herzschrittmacher bzw. Defibrillatoren mit bipolaren Elektroden sind bei niederfrequenten Feldern relativ störsicher. Bei unipolaren Schrittmacher-Typen kann eine Störung mit niederfrequenten Magnetfeldern bereits ab 30 Mikrottesla auftreten. Statische Magnetfelder sind ab 0,3 Millitesla kri-

tisch, weil sie den in aktiven Implantaten bzw. Schrittmachern enthaltenen Reed-Kontakt in den Programmiermodus umschalten können. Der Schrittmacher geht dann normalerweise auf die eingestellte Festfrequenz.

Beispiele: 50 Hz-Störungen technischer Komponenten

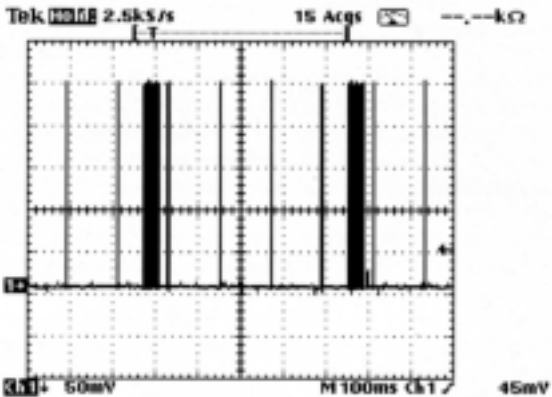
techn. Komponente	Störschwelle
PC-Monitor 21 Zoll	0,3 μ T
Feldemissions-Raster-Elektronenmikroskop	0,3 μ T
PC-Monitor 17 Zoll	0,5 μ T
EEG, EKG-Geräte	1 μ T
Bildverstärker, Röntgenröhre, Raster-Elektronenmikroskop	10 μ T
ältere aktive Implantate (Herzschrittmacher usw.)	20-70 μ T
neuere aktive Implantate (nach CE/Medizinproduktegesetz)	100 μ T
Tonaufnehmer	100 μ T
Magnetische Speicher, Disketten	1 mT

Die zulässige Störspannung ist bei neueren Schrittmachern mit CE-Kennzeichnung in DIN EN 50061/A1 festgelegt. Daraus können nach DIN VDE 0848-3-1 A1 die kritischen Feldstärken bestimmt werden.

Werden aktive Implantate in unmittelbare Nähe zu Elektro- oder Sendegeräten, wie Bohrmaschinen, D-Netz-Handys usw. gebracht, können sie gestört werden. Die Störzonen können eine Ausdehnung von wenigen Zentimetern bis zu einigen Metern haben. Der Implantat-Träger muss daher über die entsprechende Information verfügen, um die unmittelbare Nähe zu diesen Quellen zu meiden.

Nach der sogenannten Irnich-Studie (12) ist eine Störung von Schrittmachern mit unipolarer und bipolarer Elektrode durch **D-Netz-Handys** bis zu einem **Abstand von ca. 20 cm** möglich, jedoch nur während des DTX-Mode (Verbindungsaufbau, Sprechpausen), nicht beim normalen Gespräch.

Eine Störung durch E-Netz-Handys bzw. DECT-Telefone wurde nicht beobachtet.



DTX-Mode bei GSM-Telefonen. Der DTX-Mode besteht beim Einwählen in die Basisstation, beim Gesprächsaufbau und während der Sprechpausen. Er enthält Pulsraten mit 8 bzw. 2 Hz-Wiederholffrequenz. Während des normalen Gesprächs liegt eine Pulsrate von 217 Hz vor (16)

Störung von Medizingeräten durch Funktelefone

Als erforderlicher Schutzabstand ergibt sich bei Geräten, die DIN V EN V 50204 entsprechen (max. Störfeldstärke 3 V/m):

2 Watt D-Netz Handy	8 Watt D-Netz Portable	0,25 Watt DECT-Telefon (Schnurlostelefon)
1,8 m	3,7 m	0,6 m

Beispiel: Ein empfangsbereites Handy darf nicht zu nahe an einen Defibrillator oder einen externen Schrittmacher gebracht werden, da dieser bei Eintreffen eines Anrufes unkontrollierte Zustände annehmen könnte.

Nach einer vom Hessischen Arbeitsministerium herausgegebenen Studie (16) ergeben sich in der Praxis je nach Gerätetyp teilweise weit geringere Mindestabstände als in der Norm angenommen.

Passive elektrisch-leitende Implantate

An künstlichen Hüftgelenken aus leitfähigem Material, Knochenschienen, -schrauben usw. können durch hochfrequente Felder Erwärmungen auftreten. Diese sind weitgehend ausgeschlossen, wenn die Grenzwerte für den Personenschutz eingehalten werden.

Kennzeichnungspflicht

Bereiche mit kritischen Feldstärken sind mit Zutrittsverbot-Schildern für Herzschrittmacher- bzw. Implantate-Träger zu kennzeichnen.



Warnung vor elektromagnetischem Feld
DIN 40 008 WS4/VBG 125 W 12



Warnung vor Magnetfeld DIN 40 008
WS5/VBG 125 W13



Verbot für Personen mit Herzschritt-
macher DIN 40 023/VBG 125 P11



Mobilfunk verboten DIN 40 008/
VBG 125 P18



Verbot für Personen mit
Metallimplantaten VBG 125 P18

Abgeleitete Grenzwerte in Vorschriften, Gesetzen

ICNIRP-Guidelines (1)

Die derzeitige Festlegung von Grenzwerten im Rahmen der ICNIRP erfolgt unter Berücksichtigung von Sicherheitszuschlägen anhand der unmittelbaren Wirkungen der Körperströme (Reizung von Sinnesorganen, Nerven- und Muskelzellen, Beeinflussung der Herzaktion) bzw. im Frequenzbereich über 100 MHz anhand der entsprechenden Wärmewirkungen.

Für die Dauer-Exposition der Allgemeinheit werden unter Verwendung weiterer Sicherheitsfaktoren (bis 5) Vorsorge-Grenzwerte festgelegt.

Die ICNIRP-Werte spiegeln sich in verschiedenen Normen, Richtlinien und Verordnungen wider. So wurden die ICNIRP-Vorsorge-Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung im wesentlichen unverändert in die **26. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz** (3) übernommen.

Grenzwerte für Arbeitsplätze (Beispiele)

Frequenz	E-Feld	H-Feld	Leistungsflussdichte
0 Hz	-	200 mT	
16 2/3 Hz	20 kV/m	1,5 mT	
50 Hz	10 kV/m	500 µT	
27 MHz (HF-Schweißen)	61 V/m	0,2 µT	10 W/m ²
900 MHz (D-Netz)	90 V/m	0,3 µT	22,5 W/m ²
1900 MHz (E-Netz, DECT)	130 V/m	0,4 µT	45 W/m ²
2,45 GHz (Mikrowelle, WLAN)	137 V/m	0,45 µT	50 W/m ²
> 10 GHz (Radar)			50 W/m ²

Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung (Beispiele)

- auch von der 26. BImSchV übernommen -

Frequenz	E-Feld	H-Feld	Leistungsflussdichte
0 Hz	-	40 mT	
16 2/3 Hz	10 kV/m	300 µT	
50 Hz	5 kV/m	100 µT	
27 MHz (HF-Schweißen)	28 V/m	0,09 µT	2 W/m ²
900 MHz (D-Netz)	41 V/m	0,13 µT	4,5 W/m ²
1900 MHz (E-Netz, DECT, UMTS)	60 V/m	0,20 µT	9 W/m ²
2,45 GHz (Mikrowelle, WLAN)	61 V/m	0,20 µT	10 W/m ²
> 10 GHz (Radar)			10 W/m ²

Die angegebenen Werte stellen Effektivwerte dar. Bei gepulster Einwirkung (Radar, Mobilfunk usw.) sind die zulässigen Spitzenwerte zu beachten. Sie betragen bei Frequenzen über 10 MHz das maximal 32-fache der jeweiligen Effektivwerte.

Berufsgenossenschaftliche Vorschrift BGV B11

Die BG-Vorschrift BGV B11 „Elektromagnetische Felder“ gilt für Versicherte an Arbeitsplätzen.

Sie unterscheidet verschiedene Einwirkzonen (Expositionsbereiche) s. Abbildung.

Expositionsbereich 2: Hierzu zählen allgemein zugängliche Bereiche eines Unternehmens, wie auch Bereiche, in denen eine elektromagnetische Exposition bestimmungsgemäß nicht zu erwarten ist (Büros, Sozialräume, Besucherzonen usw.).

Expositionsbereich 1: Kontrollierte Bereiche, in denen bestimmungsgemäß Feldstärken entstehen, die nicht mehr dem Expositionsbereich 2 zugeordnet werden können. Für den Expositionsbereich 1 ist eine **Zugangsregelung** erforderlich.

Bereich erhöhter Exposition: Bei Überschreitung der Grenzwerte des Expositionsbereiches 1 ist nur ein zeitlich begrenzter Aufenthalt (2 Stunden/Schicht) zulässig. Für die Extremitäten gelten um den Faktor 2,5 erhöhte Grenzwerte.

Bereiche erhöhter Exposition sind zu kennzeichnen und so zu sichern, dass sich dort während des Betriebes keine unbefugten Personen aufhalten können.

Gefahrbereich: Die zulässigen Werte des Bereichs erhöhter Exposition dürfen nicht überschritten werden. Andernfalls ist der Betriebsbereich als Gefahrbereich auszuweisen. Diese Bereiche dürfen nicht oder nur mit geeigneter Schutzausrüstung betreten werden.

Gefahrbereiche sind zu kennzeichnen und der Zugang gegen Betreten unbefugter Personen zu sichern.

Gefahrbereich



Persönliche Schutzausrüstungen



Gefahrbereich



Kurzzeitbereich
2 Stunden



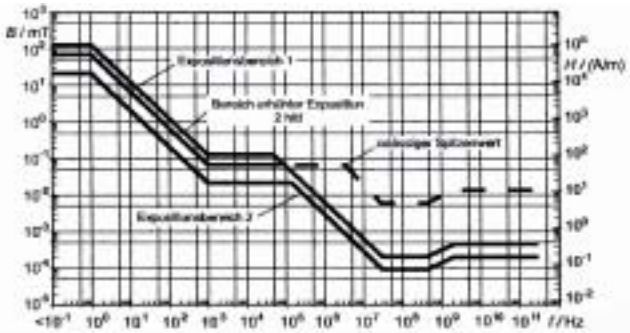
Bereich erhöhter
Exposition

Expositionsbereich 1



Expositionsbereich 2

Einteilung der Betriebsbereiche nach BGR B11 „Elektromagnetische Felder“



Zulässige Werte der magnetischen Flussdichte in den Expositionsbereichen 1 und 2 nach BGV B 11

Als Expositionszeit eines Beschäftigten werden 8 Stunden pro Arbeitstag zugrunde gelegt. Im Bereich erhöhter Exposition sind maximal 2 Stunden pro Arbeitstag zulässig.

Grenzwerte für Arbeitsplätze im Expositionsbereich 2 – Allgemeiner Bereich – (Beispiele):

Frequenz	E-Feld	H-Feld	Leistungsflussdichte
0 Hz	20 kV/m	20 mT	
16 2/3 Hz	20 kV/m	1,27 mT	
50 Hz	6,6 kV/m	424 μ T	
27 MHz (HF Schweißen)	27,5 V/m	0,11 μ T	
900 MHz (D-Netz)	41,5 V/m	0,14 μ T	4,5 W/m ²
1900 MHz (E-Netz, DECT, UMTS)	60 V/m	0,20 μ T	9,5 W/m ²
2,45 GHz (Mikrowelle, WLAN)	61,5 V/m	0,20 μ T	10 W/m ²

Grenzwerte für Arbeitsplätze im Expositionsbereich 1 – Kontrollierter Bereich – (Beispiele):

Frequenz	E-Feld	H-Feld	Leistungsflussdichte
0 Hz	30 kV/m	67,9 mT	
16 2/3 Hz	30 kV/m	4,1 mT	
50 Hz	21 kV/m	1,35 mT	
27 MHz (HF-Schweißen)	61,4 V/m	0,23 μ T	
900 MHz (D-Netz)	92 V/m	0,31 μ T	22,5 W/m ²
1900 MHz (E-Netz, DECT, UMTS)	130 V/m	0,44 μ T	47,5 W/m ²
2,45 GHz (Mikrowelle, WLAN)	137,3 V/m	0,45 μ T	50 W/m ²

Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) (3)

Die Verordnung gilt für den Betrieb von Hochfrequenzanlagen ≥ 10 Watt (10 MHz – 300 GHz) und Niederfrequenzanlagen jeweils zu gewerblichen Zwecken.

Bei den niederfrequenten Emittenten werden von der Verordnung Freileitungen und Erdkabel für 50 Hz-Netzstrom bei Spannungen von 1000 Volt und mehr, sowie Bahnstromleitungen und Elektroumspannanlagen (mit Spannungen von 1000 Volt und mehr) erfasst.

Die angegebenen Grenzwerte gelten für den Betrieb bei höchster Auslastung und unter Berücksichtigung von Immissionen anderer ortsfester Sendefunkanlagen

Die Grenzwerte der 26. BImSchV entsprechen den Vorsorgewerten für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP (s. oben).

Wesentlich niedrigere Vorsorge-Grenzwerte enthält die „Verordnung zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung“ der Schweiz (8)

Messungen an Arbeitsplätzen

Messtechnik

Das LfAS hat in den vergangenen Jahren zur Unterstützung gewerbeaufsichtlicher Tätigkeit an zahlreichen Arbeitsplätzen, die höhere elektromagnetische Belastung erwarten ließen, aber auch an anderen Arbeitsplätzen Feldmessungen durchgeführt.

Zum Einsatz kamen - je nach Art, Stärke und Frequenzbereich der EMF - unterschiedliche Messgeräte (Abb.)

Die Messungen wurden unter normalen Betriebsbedingungen unter Dokumentation der jeweiligen Anlagenleistungsdaten an den üblichen Aufenthaltsplätzen des Personals (in der Regel 1,2 m über Fußboden) durchgeführt. Dabei wurde auch die Aufenthaltsdauer im EMF-Bereich ermittelt.

Besondere Aspekte und Vorschläge zu unmittelbaren Maßnahmen wurden mit der zuständigen Sicherheitsfachkraft abgeklärt.

Elektrische Feldstärken wurden im niederfrequenten Bereich nur in besonderen Fällen ermittelt, da sie in Innenräumen wegen der starken Verzerrungen messtechnisch

schwer erfassbar und gegenüber den Grenzwerten meist vernachlässigbar sind.



Messgeräte für elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich 0 Hz bis 400 kHz

Messergebnisse

Büros, Geschäftsräume

Die Höhe der magnetischen Flussdichte in Büroräumen ist u. a. abhängig von der Lage des Raumes gegenüber stromführenden Leitungen und Verbrauchern.

Übliche Werte für das 50 Hz-Magnetfeld liegen bei 0,05 bis 0,3 μT , für das elektrische Wechselfeld von 10 bis 50 V/m.

In Sonderfällen (z. B. in der Nähe von Steigleitungen) werden Flussdichten bis 1 μT und mehr erreicht, in der Nähe von Elektrogeräten wie z. B. Luftbefeuchter, Heizlüfter lokal begrenzt in 30 cm Abstand 10 bis 20 μT . Ähnliche Werte gelten für die Zuleitungen und Netzgeräte von Niedervolt-Halogenstrahlern.

Überprüfte Sonderfälle:

- Büros in der Nähe von Bahnstromleitungen (Abstand 20 m von der Trasse): Magnet. Flussdichte ($16^{2/3}$ Hz) 0,5 bis 1 μ T, elektrische Feldstärke 80 V/m.
- Büro unmittelbar über eingebauter Trafostation zur Netzspannungs-Versorgung des Dienstgebäudes (20 kV, 500 kVA): 5 - 20 μ T.

In den beiden letztgenannten Fällen kam es zu Flimmererscheinungen an Daten-Sichtgeräten.

In unmittelbarer Nähe von Steigleitungen im Erdgeschoss eines großen Betriebsgebäudes wurde eine Flussdichte von 30 μ T gemessen. Innerhalb 1,0 m Abstand fallen die Flussdichten meist unter Fünftel des Ausgangswertes ab.

Allgemein nimmt das magnetische Wechselfeld mit zunehmender Höhe in Gebäuden ab - ausgenommen Bereiche in der Nähe von Hochspannungsleitungen.

Datensichtgeräte

Die von TCO empfohlenen Werte für strahlungsarme Monitore (13) sind aus der Tabelle ersichtlich. Sie liegen mindestens um den Faktor 2 unter den bei nicht strahlungsarmen Geräten gemessenen Werten.

Über 95 % der heute im Einsatz befindlichen Monitore sind als strahlungsarm einzustufen.

Dieser Standard stellt keine rechtliche Verpflichtung dar, wird jedoch von der Industrie bei Neugeräten heute üblicherweise eingehalten (Hinweisschild „TÜV ergonomiegeprüft“, bzw. „strahlungsarm nach MPR II“, TCO 92, TCO 95, TCO 99, s. Abb.).

Wichtig ist, dass die reduzierte Abstrahlung der Geräte auch zur Seite und nach hinten gewährleistet sein muss. Der Bezugsabstand beträgt 50 cm rund um den Bildschirm bzw. 30 cm an der Frontseite.



Symbol für strahlungsarme Monitore (Beispiel)

Standard für strahlungsarme Datensichtgeräte nach TCO 99

Elektrisches Feld	Zulässige Feldstärken in 30 bzw. 50 cm Abstand um den Monitor
0 Hz	$\leq \pm 500 \text{ V}$
5 Hz - 2 kHz	$\leq 10 \text{ V/m}$
2 kHz - 400 kHz	$\leq 1 \text{ V/m}$
Magnetfeld	
5 Hz - 2 kHz	$\leq 200 \text{ nT}$
2 kHz - 400 kHz	$\leq 25 \text{ nT}$

Die **LCD-Schirme** von Notebooks besitzen hochfrequente Abstrahlungen im Bereich von 30 – 40 kHz mit entsprechenden Oberwellen. An handelsüblichen Geräten wurde an der Oberfläche eine elektrische Feldstärke bis zu 300 V/m, im Arbeitsbereich (Oberkörper) bis zu 10 V/m gemessen. Bekannt sind die EMV-Probleme bei Benutzung solcher Geräte, vor allem in Flugzeugen. Notebooks können wegen des hohen elektrischen Feldes häufig **nicht als strahlungsarm** eingestuft werden.

Ortsfeste Flachbildschirme halten dagegen die TCO 99 in der Regel ein.

Die Magnetfeldstärke ist an diesen Geräten wegen des geringen Stromverbrauches besonders gering.

Flachbildschirme sind – im Gegensatz zu den CRT-Bildschirmen – durch von außen einwirkende Magnetfelder nicht beeinflussbar. Sie können z. B. im Umfeld von Bahnstromleitungen, Trafoanlagen usw. störungsfrei betrieben werden.

Repro-Anstalt (Fototechnik)

An den Lichttischen (Arbeitsplatz) wurden magn. Flussdichten von max. 0,2 μT und direkt über den Drosseln der Leuchtstofflampen 5 μT gemessen.

An einem Kontaktbelichtungsgerät (Standort des Beschäftigten) zeigten sich Flussdichten bis 10 μT . Ferner (jeweils am Arbeitsplatz gemessen):

- Xenon-Impulsstrahler: 0,5 μT
- Repro-Kamera: 2 – 4 μT
- Lampensteuergerät: 10 μT .

Elektrische Betriebsräume, Traforäume

In Schaltwarten und elektrischen Betriebsräumen lagen je nach Leistung und Verlegungsart der Kabelzuführung unmittelbar vor den Verteilerschränken Flussdichtewerte von 1 bis 20 μT und elektrische Feldstärken von einigen 10V/m vor.

In unmittelbarer Nähe von Trafoanlagen (500 kVA) wurden Werte von 100 bis 500 μT in 2 m Abstand 20 bis 30 μT gemessen. Die Aufenthaltsdauer des Personals in diesen Bereichen ist jedoch in der Regel kurz ($< 0,5$ h/Tag).

Telefonzentrale

In einer Telefonzentrale einer größeren Behörde mit mehreren Überwachungsmonitoren wurden am Arbeitsplatz magnet. Flussdichten von 0,4 μT und elektrische Felder von 30 V/m gemessen.

Medizinische Magnetfeldtherapie

An Arbeitsplätzen für Assistenzpersonal in der Magnetfeldtherapie (Knochenheilung mit niederfrequenten Feldern 0,2 bis 20 Hz) wurden 0,5 m seitlich der Spule magnet. Flussdichten um 80 μT gemessen, in 1,0 m Abstand nur noch 10 μT . Allerdings liegen dort bei eingeschaltetem Feld nur kurze Aufenthaltszeiten von max. 0,5 h/Tag vor.

Elektro-Schweißanlagen, Punktschweißen

An einer **Elektroschweißanlage für Baustahl** (380 V, 10 kVA Betriebsbelastung, s. Abb.) wurde am Ort des Beschäftigten eine magnet. Flußdichte von 50 bis 90 μT gemessen. Die gesamte Einwirkzeit des Feldes innerhalb einer 8h-Schicht betrug insgesamt 0,25 h (150 Einzel-Einwirkungen je 6 s).

An einem **Punktschweißgerät** (2,8 kA, Pulslänge 0,22 s) wurden im Bereich des Oberkörpers magnet. Flussdichten von 100 bis 500 μT und im Bereich der Hände 800 bis 1000 μT gemessen. An fünf weiteren Geräten lagen die Messwerte in der gleichen Größenordnung. Bei 500 bis 10.000 Schweißpunkten pro Tag liegt die gesamte Einwirkungszeit bei 0,3 bis 0,7 h pro Schicht.

Bei Bedienung einer **Handschweißzange** wurden im Herzbereich während des Strompulses bis 4 mT gemessen. Nach Angaben des Bedieners traten fühlbare Reize noch nicht auf.



Elektro-Schweißanlage für Baustahlgewebe mit einer Leistung von 10 kVA

Magnetfeldexposition Schweißverfahren

(Messort jeweils Herzbereich des Beschäftigten)

Gleichstromimpuls Leistung	Anstiegszeit (ms)	Pulsdauer (ms)	Messwert bei Strom- fluss (μT):	Flussdichte- Anstieg
Punktschweißen 45 kVA	20	150	1000	0,05 T/s
Punktschweißen 350 kVA	10	80	700	0,07 T/s
Punktschweißen 192 kA	10	200	1500	0,15 T/s
Magnetumformung 1 m vom Joch	0,02	0,09	200	10 T/s
Wechselstrom- impuls (50 Hz) Leistung				
Punktschweißen 150 kVA	-	140	2000	
Punktschweißen 2,8 kA	-	220	500	
Handschweißzange 8 kA	-	200	4000	
Schutzgas Gleichstrom 140 A Gleichstrom gepulst		5	500 700 (Puls) 230 (Mittel)	10 T/s

Induktionshärten

Typische Arbeitsfrequenzen liegen bei 3 - 10 kHz sowie 200 bis 800 kHz bei Nennleistungen von 80 bis 200 kW.

An einer 200 kHz-Maschine wurden Feldstärken im Aufenthaltsbereich des Beschäftigten von 3 A/m gemessen. Ein Härtevorgang (Einwirkzeit) dauert 3 s. Die gesamte Einwirkzeit des Feldes beträgt 0,2 Stunden pro Schicht.

An einer 10 kHz-Maschine zum Härten von Führungsbahnen wurden am Standort des Beschäftigten 12 A/m (Oberkörper) und 24 A/m an den Händen gemessen. Die Einzel-Einwirkzeit beträgt 4 Minuten, die gesamte Einwirkzeit pro Schicht 2 Stunden.

An einer 500 kHz-Anlage wurde bei einer Betriebsbelastung von 36 kVA am Standort des Beschäftigten eine elektrische Feldstärke von 60 bis 200 Volt/m und eine magnetische Feldstärke von 1 bis 3 A/m gemessen. Die Aufenthaltszeit im Gerätebereich beträgt 0,5 h/Tag.

Induktions-Erwärmungs- und -Lötanlagen

An einer gekapselten 800 kHz -Anlage zum induktiven Löten wurde bei 65 kW Aufnahmeleistung am Oberkörper des Bedieners eine Magnetfeldstärke von 2,5 A/m bzw. ein elektrisches Feld von 20 V/m gemessen. Die gesamte Einwirkzeit beträgt 1 Stunde pro Schicht.

An einer 9,6 kHz-Lötanlage (offener Induktor) wurden bei 60 Ampere am Oberkörper der Beschäftigten 50 bis 100 μ T und an den Händen bis zu 500 μ T gemessen. Die Einzel-Einwirkzeit beträgt 2 Minuten. Die gesamte Einwirkzeit pro Schicht 2 h.

Elektro-Stahlöfen

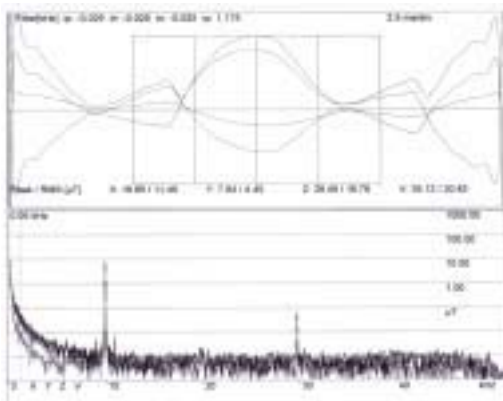
In der Bedienwarte eines Lichtbogen-Pfannenofens (260 V, 50 Hz, 12 MW) wurde eine Flußdichte von 60 μ T, unmittelbar am Ofen 100 μ T gemessen. Die Einwirkzeit pro Schicht beträgt 2 h.

Im Bedienstand eines großen Lichtbogenofens mit 3 Graphit-Elektroden (500 V, 50 Hz, 33 MW) wurden Flußdichten von 100 bis 320 μ T ermittelt. Die gesamte Einwirkzeit pro Schicht beträgt 6 Stunden.

An einem Induktions-Schmelzofen (1,8 kV, 250 Hz, 1,25 MW) wurden im Aufenthaltsbereich Flußdichten von 10 bis 70 μ T gemessen. Die Einwirkzeit beträgt 6 h pro Schicht.

Magnetfeldexposition durch Induktionshärte- und Lötanlagen

	Frequenz	Leistung (kW)	Feldstärke im Herzbereich des Bedieners (μT)	Einwirkzeit pro Arbeitsschicht (h)
Niederfrequenz	2-4 kHz	110	4 – 11	4
	7 kHz	70	26	3
	8 kHz	85	13	2
	9 kHz	60	30	1,5
	9,6 kHz	120	100	2,5
	10 kHz	200	16	2
	40 kHz	120	2,2	2
Mittelfrequenz	200 kHz		4	0,2
	300 kHz	8	1	0,5
	420 kHz	120	0,5	2,5
	500 kHz	36	4	0,5
	500 kHz	2 A	17	0,5
	800 kHz	65	3	1
Hochfrequenz	1,2 MHz	1,0 A	0,5	4
	2 MHz		1	1,5



Spektrum der magnet. Flussdichte an einem Glas-Schmelzofen. Mehrere Frequenzkomponenten müssen getrennt bewertet werden

Glas-Schmelzöfen

Die Glasbäder sind ab einer bestimmten Temperatur elektrolytisch leitfähig und werden ständig mittels 50 Hz-Widerstandsheizung (1100 bis 2500 A) beheizt. Parallel da-

zu sind auch induktive Heizungen mit einer Frequenz von 10 kHz im Einsatz, wobei beide Frequenzen bei der Bewertung spektral getrennt werden müssen (s. Abb.).

Im Bereich der Betriebswege (Kontrollgänge, vorübergehender Aufenthalt) wurden magnet. Flussdichten von 6 bis 150 μT gemessen, im Bereich der Glasfertigung (Daueraufenthalt) 6 bis 25 μT .

Magnetische Rissprüfung

Am Standort des Prüfers wurde bei Gleichfeldprüfung (1,8 kA) eine Flussdichte von 1 mT festgestellt. Bei Anwendung eines 50 Hz-Wechselfeldes (1 kA) ergaben sich 100 μT .

Entmagnetisierungsanlagen

An einem Entmagnetisierungsgerät einer **Supermarktkasse** wurden Spitzenwerte der schnell abklingenden 50 Hz-Schwingung von 350 μT (Bauchhöhe) gemessen.

An einer Anlage zur **Entmagnetisierung von Werkstücken** in Zusammenhang mit der Rissprüfung ergaben sich am Standort nahe der Einführungsseite des Gerätes bei einer Leistung von 11,5 kVA (50 Hz, 380 V) 0,8 mT und im Bereich der Austrittsseite des Werkstückes 1,1 mT. Die gesamte Einwirkzeit beträgt 0,25 h/Tag.

Es musste ein Bereich mit ca. 3 m Radius zu Schutz von Herzschrittmacher-Trägern abgegrenzt werden.

An einem weiteren Arbeitsplatz zur **Entmagnetisierung von Videobändern** wurde eine Spitzenflussdichte am Standort des Beschäftigten von 4 mT gemessen, die nur kurzzeitig anliegt und innerhalb einer Sekunde abklingt.

Galvanik, Elektrolyse

Bei einem Strom von 1400 A, 40 V (Gleichfeld) betrug die magn. Flussdichte unmittelbar am stromführenden Leiter 1,4 mT. An den Haupt-Aufenthaltsorten des Personals (Schaltwarte usw.) lag die Flussdichte unter 20 μT .

An einer Elektrolyseanlage wurden am Standort in der Nähe der Stromschienen bis 20 mT erreicht.

Drehstrom-Hubmagnet

Ca. 1 m seitlich eines unbeladenen Elektro-Hubmagneten (380 V, 100 A, 50 Hz) ergab sich eine Flussdichte von nur 4 μT . Die Flussdichte nimmt zum Boden des Magneten hin jedoch sehr schnell zu.

Am Führerstand des Kranes wurden 0,5 μT gemessen.

Kernspintomographie (NMR)

An einem **Labor-Kryomagnet** (Supraleitender Magnet) mit der Induktion von 7 Tesla wurde die 0,5 mT - Begrenzungslinie im Hinblick auf den Schutz von Herzschrittmacher-Trägern ausgemessen. Es ergab sich ein Bereich mit einem Radius von ca. 3 m um das Zentrum des Magneten. Träger von aktiven Implantaten dürfen sich dort nicht aufhalten.

Im Kurzzeit-Arbeitsbereich der Beschäftigten ergaben sich Meßwerte von 1 bis 8 mT.

Ähnliches gilt für MR-Anlagen im **medizinischen Bereich**, wobei die typischen Induktionen der Kryo-Magneten bei 0,5 bis 3 Tesla liegen. Der für Schrittmacher-Träger verbotene Bereich hat hier einen Radius von 2 bis 4 m um die Magnetachse.

Hinsichtlich der Belastung eines Untersuchers (z. B. Anästhesisten), der sich in der Nähe der Gantry aufhält, ergaben sich bislang keine Anhaltspunkte für Überschreitungen von Grenzwerten sowohl im Gleichfeld- wie auch im kHz- und MHz-Bereich.

Mikrowellen-Kochgeräte

Die Geräte arbeiten mit einer Frequenz von 2,45 GHz und typischen Leistungen von 350 bis 2200 Watt.

Nach Untersuchungen des Bundesamtes für Strahlenschutz (21) und eigenen Untersuchungen liegen die Leistungsdichte-Messwerte für die Leckstrahlung an **Haushalts-Mikrowellenherden** – bis auf wenige Ausnahmen – unter 10 W/m^2 . Die überwiegende Zahl der Geräte liegt unter 4 W/m^2 . Der zulässige Emissionsgrenzwert beträgt nach DIN EN 60335-2-25 in 5 cm Abstand 50 W/m^2 .

Im Aufenthaltsbereich wird der Personenschutz-Grenzwert nach ICNIRP von 10 W/m^2 nur bei Geräten mit offensichtlich defekten Türen bzw. Türdichtungen überschritten.

Bei älteren gewerblich eingesetzten **Großküchen-Mikrowellenherden** wurde von vereinzelt Überschreitungen des zulässigen Emissions-Grenzwertes von 50 W/m^2 berichtet (Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz, DIN EN 60335-2-90).

Werkzeugmaschinen

An üblichen Mechaniker-Drehbänken wurden magnet. Flussdichten von 0,5 bis $2 \mu\text{T}$ gemessen. Die Spektren zeigen einen Hauptanteil bei 50 Hz und Beiträge bei niedrigeren Frequenzen, die offenbar von den Antriebsmotoren erzeugt werden.

Entsprechende Werte wurden an Fräs- und Bohrmaschinen ermittelt. Die Aufenthaltszeiten betragen bis zu 6 Stunden/Arbeitstag.

Schreinerei, Holzbearbeitung

An Kreissägen, Bandsägen und Hobelmaschinen liegen die Flussdichtewerte am Aufenthaltsort der Beschäftigten zwischen 0,2 und 5 μT . Die Aufenthaltszeiten betragen bis zu 6 h/Tag.

Hochfrequenzschweißen von Kunststoffen

Geräte dieser Art dienen zum Verschweißen von Plastikgut, Zeltplanen, medizinischen Artikeln usw. Sie arbeiten mit der Industrie-Hochfrequenz von 27,12 MHz.

Nach eigenen Messungen sowie nach neueren Messungen des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie und des Österreichischen Forschungszentrums Seibersdorf (15) werden an nicht bzw. unzureichend gekapselten Geräten die Grenzwerte für den Expositionsbereich 2 am Arbeitsplatz erheblich überschritten. Diese Messungen betreffen in erster Linie handbediente Geräte für Kleinserien- und Sonderfertigungen. An Geräten mit automatischer Zuführung des Schweißgutes und intakten Abschirmungen wurden am Bedienplatz je nach HF-Leistung Feldstärken von 1 bis 15 V/m ermittelt.

Umspannanlagen, Freileitungen

Auf dem Gelände einer Umspannanlage eines Heizkraftwerkes (Nähe 380 kV-Leitung) wurden max. 1,8 μT und 700 V/m gemessen.

Im Rahmen der Planung von Betriebsgebäuden wurden Messungen an einer 220 kV-Freileitung durchgeführt. In 40 m Entfernung zur Trassenmitte war die maximale magnetische Flussdichte 1,5 μT .

Betriebsräume neben S-Bahn

In Betriebsräumen, die sich in ca. 10 m Entfernung von einer S-Bahnlinie befinden, wurden Magnetflussdichten bis 3,7 μT ($16^{2/3}$ Hz) gemessen. Es zeigte sich ferner, dass Heizungsrohre des Betriebsgebäudes von Bahnstrom durchflutet waren. Hier wurden die höchsten Werte für die magnetische Flussdichte ermittelt. Die PC-Bildschirme (CRT-Schirme) zeigten starkes Flackern. Es wurden Flachbildschirme empfohlen.

Farbverzerrungen am Bildschirm

Ein Bildschirm zeigte Farbverzerrungen, wenn er in die Nähe einer eisenbewehrten Betonsäule gestellt wurde. Messungen ergaben eine Restmagnetisierung im Baustahl.

Ein weiterer Monitor zeigte Farbveränderungen in einer Ecke. Es wurde nachgewiesen, dass sich auf der Lochmaske eine Restmagnetisierung von ca. 90 μ T befand.

Mobilfunkantennen (Basisstationen)

Immer häufiger findet man Mobilfunkantennen des D-, E-, bzw. UMTS-Netzes auf Betriebsgebäuden. Die typischen Sendeleistungen betragen 20 Watt. Die Haupt-Abstrahlung verläuft in Keulenform mit einem Öffnungswinkel von typisch ± 15 Grad weitgehend horizontal (s. Abb. und www.tecchannel.de/hardware/628/index.html).

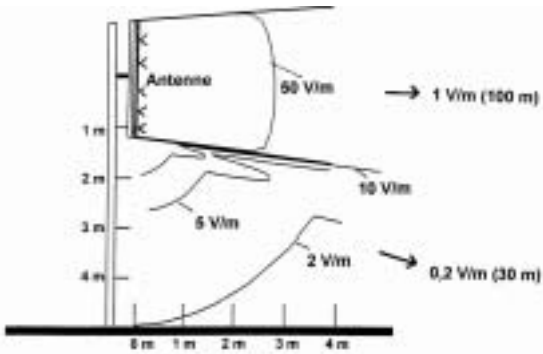
In den darunter bzw. seitlich gelegenen Arbeitsräumen werden von Beschäftigten regelmäßig Bedenken bezüglich der hochfrequenten Strahlung geäußert.

In der Regel findet man in den Räumen unmittelbar unter den Sendemasten Feldstärken unter 0,1 V/m. In den schräg darunter gelegenen Räumen (Abstand zu Antenne 10 bis 30 Meter) 0,2 bis 1 V/m. Dies entspricht etwa 1 bis 2 % des Vorsorge-Grenzwertes nach ICNIRP 41 bzw. 60 V/m). In einem Einzelfall (oberstes Stockwerk, ca. 25 m von der Antenne und etwa 6 m unter der Antenne) wurden im Fensterbereich eines Büros 2 V/m gemessen. Die Messwerte fallen zur Raummitte hin deutlich ab.

Auch die niedrigen Schweizer Grenzwerte von 4 bzw. 6 V/m (8) werden in praktisch allen Fällen eingehalten.



D-Netz Mobilfunkmast auf einem Betriebsgebäude



Feldstärkeverteilung (Strahlungskeule) in der Umgebung einer Mobilfunkantenne: Die Strahlungskeule konzentriert sich auf einen Winkelbereich von ca. ± 15 Grad. Nach unten hin ist die Feldstärke sehr gering

Handys, DECT-Telefone, Bluetooth-Funksysteme

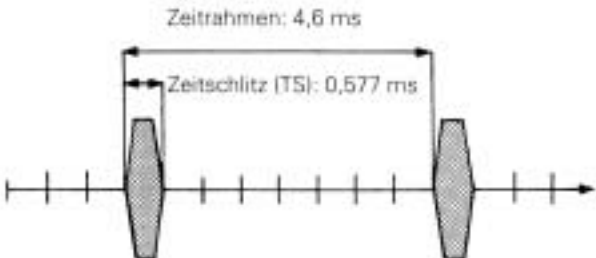
GSM-Handys und DECT-Telefone (digitale Schnurlostelefone) arbeiten nach dem Zeitschlitzverfahren (s. Abbildung). Die Strahlungsenergie konzentriert sich z. B. auf einen von 8 möglichen Zeitschlitz eines GSM-Sendekanals.

Die Maximalleistung im Sendepuls liegt üblicherweise bei 1 Watt (GSM 900 MHz) bzw. 0,25 Watt (DECT 1900 MHz).

Die SAR-Werte von Handys werden neuerdings vom Hersteller oder Testinstituten angegeben z. B. www.xonio.com. Der Streubereich liegt etwa zwischen 0,3 und 1,5 Watt/kg (Grenzwert 2 Watt/kg).

Bei gutem Netz reduzieren sich die gerätespezifischen SAR-Werte z. T. erheblich, da das GSM-Handy seine Leistung soweit wie möglich zurückregelt – das GSM-Mobiltelefon hat eine Regeldynamik von 1 : 1000 (30 dB).

Signal der Mobilstation



Die Information wird beim Zeitschlitz-(TDMA-)Verfahren in einem Zeitintervall von 12% der gesamten Pulswiederholzeit übertragen. Hierdurch ergibt sich ein mit 217 Hz gepulstes Sendesignal

Maßnahmen, die die Exposition beim Telefonieren mit GSM-Handy minimieren:

Maßnahme zur Minimierung der Exposition beim Telefonieren mit GSM-Handys	Reduktion der Strahlungsleistung (in Prozent)
Gute Netzqualität (ungünstige Verhältnisse: Inneres von Räumen, Tunnels, Auto, Keller, Tiefgaragen – günstige Verhältnisse: Fensterbereich, höheres Stockwerk, im Freien, Nähe Basisstation usw.)	bis 95 %
Richtiges Halten des Handys (mit 2 Fingern), Keine Bedämpfung der Antenne	bis 90 % (je nach Gerät und Netzsituation)
Verwendung eines Headset	bis 90 %
Auto-Außenantenne	über 90 %

DECT-Telefone arbeiten ebenfalls nach dem Zeitschlitzverfahren bei 1900 MHz.

Die Feldstärke einer DECT-Basisstation (z. B. Haustelefon) liegt im Nahbereich bei 0,5 bis 3 V/m. In 2 m Abstand liegt sie unter 0,1 V/m. Die Station strahlt dauernd, da sie von den Endgeräten immer erreichbar sein muss.

Das DECT-Handy selbst strahlt nur bei Benutzung HF-Leistung ab (Feldstärke entspricht etwa der DECT-Basisstation).

Drahtlose Datenübertragung (WLL Wireless Local Loops, WLAN Wireless Local Area Networks usw.) erfolgt meist im Frequenzwechselverfahren (frequency hopping - kontinuierlich sendendes Verfahren).

Bluetooth-Datenübertragungssysteme arbeiten bei 2,45 GHz mit mittleren Leistungen von 10 bis 100 Milliwatt. Feldstärken über 0,3 V/m liegen nach ersten Messungen nur im Nahbereich (innerhalb ca. 30 cm um das Sendegerät bzw. Antenne) vor. Außerhalb dieser Zonen sind relevante Feldstärken nicht nachweisbar.

Immissionsbereiche mit erhöhten Feldstärken (Entfernungen um die Quelle bei denen die Messwerte etwa 2 % der Grenzwerte betragen)

	Frequenz	Leistung	Immissionsbereich
Niederfrequenz			
Laststromkabel	50 Hz	100A	1,5 m
Elektroherd	50 Hz	3 kW	0,5 m
Hochspannungsleitung	50 Hz	1000 A	30 – 50 m
Bahnstromleitung	16 2/3 Hz	15 kV	20 – 30 m
Hochfrequenz			
Haustelefon: DECT-Basisstation DECT-Handy	1900 MHz 1900 MHz	10 mW (Mittel)	0,5 m 0,5 m (nur beim Sprechen)
Handy, D/E-Netz	900 MHz	100 mW (Mittel)	1,0 m (nur beim Sprechen)
Mikrowellenherd	2450 MHz	500 W	0,5 m
UKW-Sender	100 MHz	30 kW	1000 m
Mobilfunk-Basisstation – Hauptstrahlrichtung – außerhalb Hauptstrahlrichtung – unter Sendeantenne	900 MHz	10-50 W	(Dauerstrahlung) 50 m 10 m 5 m
Datenfunk (Bluetooth, WLAN)	2450 MHz	10-100 mW	0,3 m (Dauerstrahlung)

Bewertung der Messergebnisse

Vergleich mit den Grenzwerten

In der folgenden Tabelle sind für die vom LfAS überprüften Arbeitsplätze Belastungs-Kennwerte angegeben, die den Arbeitsplatz-Messwert **in Prozent** des festgelegten Grenzwertes der BGV B11 (Expositionsbereich 2) angeben.

Belastungskennwerte verschiedener Arbeitsplätze (in % der Grenzwerte für Expositionsbereich 2 nach BGV B11)

Arbeitsplatz	Gefahr für aktive Implantate	Messwert in % des Grenzwertes für Expositionsbereich 2
Büro	Nein	< 1
PC-Monitore	Nein	< 1
Notebooks	Nein	2
Repro-Anstalt	nein*	1 – 2
Elektrische Betriebsräume	Ja	1 – 2
Telefonzentrale	Nein	< 1
Magnetfeldtherapie	Ja	10
Elektroschweißen	Ja	15
Punktschweißen	Ja	100 (i. a. Kurzzeitexposition)
Induktionshärten	Ja	30
Induktionslötten	Ja	50
Lichtbogenofen	Ja	50
Induktions-Schmelzöfen	Ja	12
Rissprüfung	Ja	25
Galvanik	Ja	6
NMR (Gleichfeld)	Ja	24
Mikrowellen-Kochgeräte	nein*	30
Entmagnetisierung	Ja	250 (i. a. Kurzzeitexposition)
Glas-Schmelzöfen	Ja	6
Werkzeugmaschinen	nein*	<1
Umspannwerk (380 kV)	nein*	10
Holzbearbeitung	nein*	<1

*) **Hinweis:** Eine mögliche Gefahr für die Störung aktiver Implantate besteht generell in *unmittelbarer Nähe* elektrischer Anlagen und Geräten (z. B. starke Motoren)

Zusammenfassung der Messergebnisse:

- Die Grenzwerte für den Expositionsbereich 2 nach BGV B11 (Allgemeine Betriebsbereiche ohne Zugangsbeschränkung) werden nur an ganz wenigen hochbelasteten Arbeitsplätzen überschritten
- Expositionsbereiche 1 treten beispielsweise auf in unmittelbarer Umgebung von Punktschweißanlagen, Elektroschmelzöfen und Entmagnetisierungsanlagen
- Ein Bereich „erhöhter Exposition“ konnte an den überprüften Arbeitsplätzen in keinem Fall festgestellt werden

- An zahlreichen überprüften Arbeitsplätzen besteht ein gewisses Risiko für Träger von Herzschrittmachern und anderen aktiven Implantaten. Betroffen sind u. a. auch betriebsinterne Verkehrswege, auf denen sich Besucher und betriebsfremde Personen bewegen können
- Kennzeichnungen (Zugangsverbote für Träger aktiver Implantate) sind an den entsprechenden Stellen erforderlich.

Literatur

1. ICNIRP Guidelines 1997, Guidelines for Limiting Exposure to time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz) www.icnirp.de/Documents/Emfgdl.PDF
2. BGV-B 11 BG-Vorschrift „Elektromagnetische Felder“ vom 1. Juni 2001, Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln, www.bgfe.de/pages/gesetze/bgv_b_11.pdf mit Ausführungsregeln BGR B11
3. 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996 BGBl I, 1996 Nr. 66, www.umwelt-online.de/recht/luft/bimSchg/vo/26bv.htm
4. Geänderter Vorschlag für eine Richtlinie des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen - Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 der Richtlinie 89/391/EWG AMBl der EG, Nr. C 230/3 vom 19. August 1994
5. Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung - Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom 4. Juli 2001, verabschiedet am 13./14. September 2001, www.ssk.de
6. Bernhardt, J. H.: Biophysikalische Approximation; Ergebnisse und Bewertungen: In: „Wirkungen niederfrequenter Felder“ Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission; Band 28, G, Fischer-Verlag Stuttgart 1994
7. Zeitschrift EMF-Monitor, ECOLOG-Institut, Nieschlagstr. 26, 30449 Hannover
8. Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vom 23. Schweizerischer Bundesrat, Dezember 1999 www.admin.ch/ch/d/as/2000/213.pdf
9. WHO-EHC Document 137, Electromagnetic Fields 300 Hz to 300 GHz

10. Leitgeb, Norbert: Felder - Ursachen und Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit. DTV München, ISBN 3-423-11265-4
11. Nimitz, Günter: Handy, Mikrowelle, Alltagsstrom, Gefahr Elektromog. Pflaum Verlag, 2001
12. Irnich W. et al: Störbeeinflussung von Herzschrittmachern durch Mobilfunkgeräte, Forschungsgemeinschaft Funk, Newsletter Nr. 7, 1996, www.fgf.de
13. TCO Development, 11494 Stockholm, Schweden, www.tco-info.com
14. R. Matthes und L. I. Dehne: Bewertung der Strahlenexposition beim Betrieb von Mikrowellenherden im Haushalt. Bundesgesundheitsblatt 5/92 S. 227
15. H. Molla-Djafari: Elektromagnetische Strahlung am Arbeitsplatz, Sichere Arbeit 5/1994 S. 21
16. Mobilfunk im Krankenhaus, Hessisches Ministerium für Frauen, Arbeit und Sozialordnung 1999. Fachverlag Schiele und Schön, Postfach. 610280, 10924 Berlin

**Kennen Sie auch die weiteren
Veröffentlichungen des Bayerischen
Landesamtes für Arbeitsschutz,
Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik?**

Zu den Themenbereichen

- | | |
|------------------------------------------|------------------------------------------|
| • Arbeitslärm-Schallschutz | • Heben und Tragen von Lasten |
| • Arbeitsstätten | • Gefährliche Stoffe |
| • Arbeitsschutzmanagementsysteme (OHRIS) | • Gerätesicherheitsgesetz |
| • Bildschirmarbeitsplätze | • Gefährdungsbeurteilung |
| • Brandverhütung | • Maschinenverordnung |
| • Elektromagnetische Felder | • Persönliche Schutzausrüstung |
| • Erste Hilfe am Arbeitsplatz | • Sicherer Gebrauch elektrischer Energie |
| • Elektrischer Strom | • Strahlenschutz |

**können Sie unter www.lfas.bayern.de von jeder
herausgegeben Broschüre ein Exemplar anfordern**

Auskunft

über alle Fragen zu elektromagnetischen Feldern erteilen die örtlich zuständigen Gewerbeaufsichtsämter

Gewerbeaufsichtsamt Augsburg

Morellstraße 30 d, 86159 Augsburg, Telefon (08 21) 57 09-02, Fax 57 09-501, Internet-Kontakt: www.gaa-a.bayern.de

Gewerbeaufsichtsamt Coburg

Oberer Bürglaß 34-36, 96450 Coburg, Telefon (0 95 61) 74 19-0, Fax 74 19-100, Internet-Kontakt: www.gaa-co.bayern.de

Außenstelle Bayreuth

Hegelstraße 2, 95447 Bayreuth, Telefon (09 21) 605-02, Fax 605-49 00

Gewerbeaufsichtsamt Landshut

Neustadt 480, 84028 Landshut, Telefon (08 71) 804-0, Fax 804-219, Internet-Kontakt: www.gaa-la.bayern.de

Gewerbeaufsichtsamt München-Stadt

Lotte-Branz-Str. 2, 80939 München, Tel. (089) 3 18 12-300 od. -400 Fax 3 18 12-100, Internet-Kontakt: www.gaa-m-s.bayern.de

Gewerbeaufsichtsamt München-Land

Heißstraße 130, 80797 München, Telefon (089) 6 99 38-0, Fax 6 99 38-300, Internet-Kontakt: www.gaa-m-l.bayern.de

Gewerbeaufsichtsamt Nürnberg

Roonstraße 20, 90429 Nürnberg, Telefon (09 11) 928-0, Fax 928-29 99, Internet-Kontakt: www.gaa-n.bayern.de

Gewerbeaufsichtsamt Regensburg

Bertoldstraße 2, 93047 Regensburg, Telefon (09 41) 50 25-0, Fax 50 25-114, Internet-Kontakt: www.gaa-r.bayern.de

Gewerbeaufsichtsamt Würzburg

Georg-Eydel-Straße 13, 97082 Würzburg, Telefon (09 31) 41 07-02, Fax 41 07-503
Internet-Kontakt: www.gaa-wue.bayern.de

und das

Bayerische Landesamt für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik

Pfarrstraße 3, 80538 München, Telefon (089) 21 84-0, Fax 21 84-297, Internet-Kontakt: www.lfas.bayern.de

LfAS - 064/11/01/ Dr. Eder

Druck: ...