
BGI 839

Elektromagnetische Felder in Metallbetrieben

Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften

2003



Vorwort

Die technischen Errungenschaften unserer Zivilisation und die damit verbundenen sicheren, bequemen und gesunden Lebensbedingungen sind ohne Elektrizität und den damit zwangsläufig auftretenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern – im Folgenden kurz EMF genannt – nicht denkbar.

Einerseits wird niemand allen Ernstes auf die Anwendung elektrischen Stromes verzichten wollen, andererseits kann nicht mehr ignoriert werden, dass mit dem Auftreten von EMF in Umwelt, Arbeitswelt, Medizin, Verkehrstechnik und Haushalt gesundheitliche Gefährdungen einhergehen können. Dabei ist hier nicht die Rede von "Elektrosmog" – ein Kunstwort, das häufig in einem unsachlichen Zusammenhang benutzt wird – sondern von wissenschaftlich anerkannten Wirkungen auf den Menschen bei der Exposition durch EMF höherer Intensität, wie sie auch an Arbeitsplätzen auftreten können.

Zur Durchführung der im Arbeitsschutzgesetz verankerten Gefährdungsbeurteilung gehört somit auch eine Betrachtung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen der Beschäftigten durch EMF.

Um unsere Mitgliedsunternehmen bei der Einschätzung des Gefährdungspotenzials zu unterstützen und dem neuen, umfassenden Präventionsauftrag Rechnung zu tragen, ist in jüngster Vergangenheit eine neue Unfallverhütungsvorschrift "Elektromagnetische Felder" (BGV B11) sowie die dazugehörige BG-Regel (BGR B11) unter Federführung der BG der Feinmechanik und Elektrotechnik und unter der Mitwirkung der Metall-BGen erarbeitet worden.

Diese BG-Information gibt Auskunft über wissenschaftliche Grundlagen, Rechtsvorschriften sowie über vorliegende Messverfahren und bereits durchgeführte Beurteilungen.

Ziel ist es, Unternehmer, betriebliche Vorgesetzte, Betriebsräte, Fachkräfte für Arbeitssicherheit und Betriebsärzte in die Lage zu versetzen, geeignete Maßnahmen zum Schutz der Versicherten auszuwählen.

1 Vorkommen

Im Bild 1-1 sind beispielhafte Quellen von EMF in der Energieversorgung, in der Metallindustrie sowie in Medizin- und Funktechnik, im Haushalt und in allgemeinen Bereichen tabellarisch zusammengestellt.

Bild 1-1: Vorkommen von EMF-Quellen

Vorkommen	Anwendung	Beispiele
Energieversorgung	Stromerzeugung und -verteilung	Transformatoren, Hochspannungsanlagen, Umspannanlagen, innerbetriebliche Verteilungen
Metallindustrie	Schmelz- und Elektrolyseeinrichtungen	Elektrolichtbogenöfen, Induktionsöfen, Elektroschlackeumschmelzanlagen, Metallbäder in Beschichtungsanlagen, Galvanikanlagen
	Wärmöfen	Induktiv oder widerstandsbeheizte Vorwärmanlagen zum Gießen, Spritzen und Verformen, Wärmebehandlungsvorrichtungen, Durchlauföfen, Mikrowellenöfen, Trocknungsanlagen
	Schweißgeräte und -maschinen, Lötgeräte	Manuell geführte und stationäre Anlagen und Maschinen
	Werkstoffprüfeinrichtungen	Rissprüfanlagen
	Magnetische Anwendungen	Magnetisierungsanlagen, Entmagnetisierungseinrichtungen, Lasthebemagnete, Werkstückspannvorrichtungen
	Maschinenantriebe	Bearbeitungsmaschinen
Funktechnik	Telekommunikation, Mess- und Steuertechnik	TV- und Radiosender, Richtfunk, Radar, Mobilfunk, Fernsteuereinrichtungen
Medizin	Diagnose- und Therapiegeräte	Magnetresonanztomograph, Magnetfeldstimulation, Infrarot- und Mikrowellenbestrahlungsgeräte
Allgemeine Bereiche Büro und Haushalt	Elektrohandwerkszeuge, Haushaltsmaschinen und -geräte, Leuchtmittel, Bürogeräte	Bohr- und Schleifmaschinen, Küchenherde, Halogenlampen, Netzgeräte, PC-Monitore, Haushaltsverteilungen

2 Physikalische Grundlagen

Diese BG-Information beschäftigt sich ausschließlich mit Feldern in einem Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz. Statische und niederfrequente Felder umfassen dabei den Frequenzbereich von 0 Hz bis 30 kHz. Oberhalb von 30 kHz erstreckt sich dann der so genannte Hochfrequenzbereich. Die international nicht einheitlich definierte Abgrenzung der Bereiche ist in Bild 2-1 dargestellt.

Bei elektromagnetischen Feldern lassen sich zwei Feldarten unterscheiden. Das elektrische Feld und das magnetische Feld. Das elektrische Feld tritt immer zwischen getrennten Ladungen (z.B. Batterie, Pole einer Steckdose) auf. Wie aus Bild 2-2 ersichtlich, verlaufen die Feldlinien des elektrischen Feldes vom Pluspol – wo sie ihren Anfang haben – zum Minuspol, wo sie enden.

Das magnetische Feld kommt immer dann vor, wenn elektrische Ladungen bewegt werden, also elektrischer Strom fließt. Die Feldlinien des magnetischen Feldes sind kreisförmig, in sich geschlossen und bilden sich in Ebenen senkrecht zur Stromrichtung eines stromdurchflossenen Leiters aus (Bild 2-3).

**Bild 2-1: Frequenzbereiche von 0 Hz bis 300 GHz
(Abgrenzung international nicht einheitlich definiert)**

Frequenzbereich	Wellenlänge		Internationale Bezeichnung		
	von	bis	von	bis	
Niederfrequenz (NF)	0 Hz	30 Hz	über 100 km		Sub ELF
	30 Hz	300 Hz			ELF (Extremely Low Frequency)
	300 Hz	3 kHz			VF (Voice Frequency)
	3 kHz	30 kHz	100 km	10 km	VFL (Very Low Frequency)
Hochfrequenz (HF)	30 kHz	300 kHz	10 km	1 km	LF (Low Frequency)
	300 kHz	3 MHz	1000 m	100 m	MF (Medium Frequency)
	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m	HF (High Frequency)
	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m	VHF (Very High Frequency)
	300 MHz	3 GHz	1 m	0,1 m	UHF (Ultra High Frequency)
	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm	SHF (Super High Frequency)
	30 GHz	300 GHz	10 mm	1 mm	EHF (Extremely High Frequency)

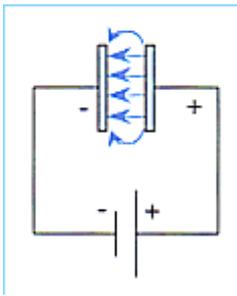


Bild 2-2: Feldlinien des elektrischen Feldes

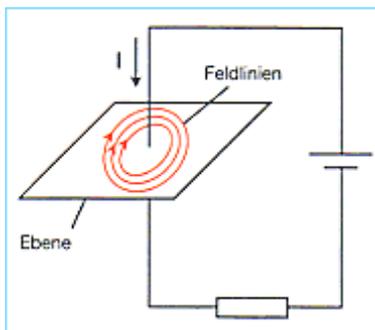


Bild 2-3: Feldlinien des magnetischen Feldes

In niederfrequenten Feldern können aufgrund der physikalischen Gegebenheiten das elektrische und magnetische Feld getrennt voneinander betrachtet werden. Dies hat zur Konsequenz, dass die Spannung U maßgebend für das elektrische Feld und der Strom I maßgebend für das magnetische Feld ist. Die jeweilige Feldstärke verhält sich proportional zur auftretenden Spannung bzw. Stromstärke.

Maß für das elektrische Feld ist die elektrische Feldstärke E [V/m]. Das magnetische Feld wird durch die magnetische Flussdichte (Induktion) B [T = Tesla] beschrieben. Für Felder oberhalb von 30 kHz gelten diese Bedingungen immer weniger.

Hier bedingt jede Änderung des elektrischen Feldes ein Magnetfeld sowie jede Änderung des Magnetfeldes die Erzeugung eines elektrischen Feldes.

Im Gegensatz zu niederfrequenten Feldern können sich hochfrequente Felder von ihrer Quelle ablösen, weshalb man dann von der Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung spricht.

3 Biologische Wirkungen und Gefährdungen

Das Spektrum elektromagnetischer Felder (Bild 3-1) bzw. Wellen umfasst nicht nur den Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz (Regelungsbereich der Unfallverhütungsvorschrift "Elektromagnetische Felder" [BGV B11]), es umfasst auch das Licht, die Laserstrahlung und die Röntgen- bzw. Gammastrahlung.

Im folgenden Schaubild sind das EMF-Frequenzspektrum, die zugehörigen biologischen Wirkungen sowie beispielhafte EMF-Quellen schematisch dargestellt.

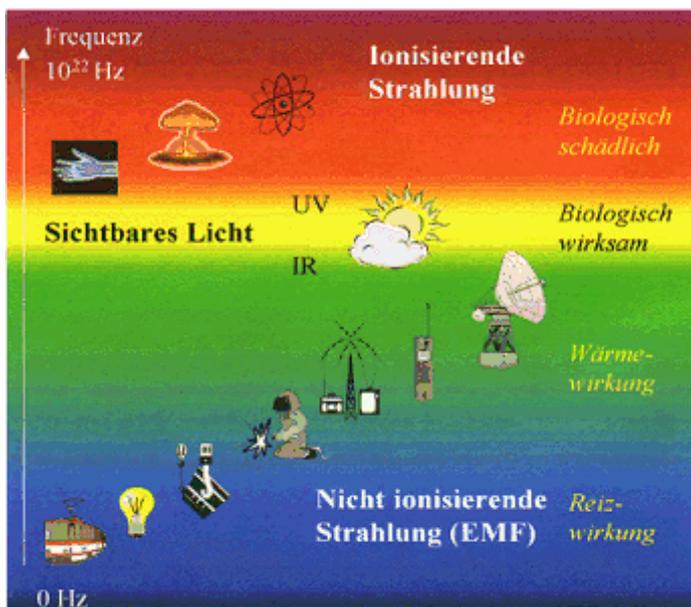


Bild 3-1: Schematische Darstellung des EMF-Frequenzspektrums

Sowohl physikalisch als auch biologisch muss im Frequenzspektrum der elektromagnetischen Strahlung zwischen ionisierender Strahlung mit höherer Frequenz als der des sichtbaren Lichtes und dem hier behandelten Bereich der nicht ionisierenden Strahlung (EMF) unterhalb des Bereiches des sichtbaren Lichtes unterschieden werden.

Die ionisierende Strahlung (z.B. Röntgenstrahlung) ist schon seit langem als gesundheitsschädlich bekannt. Sie wird als krebserzeugend und fruchtschädigend eingestuft, sodass für die Strahlendosis kein unterer Schwellenwert existiert. Der Wirkungsmechanismus ist wissenschaftlich eindeutig bewiesen, jederzeit reproduzierbar und statistisch (seit Hiroshima) eindeutig belegt.

Bei der Betrachtung der biologischen Wirkungen von EMF ist allerdings ein gravierender Unterschied zu beachten:

Da die für Moleküle aufzubringende Ionisierungsenergie proportional zur Frequenz ist und einen Mindestbetrag haben muss, ergibt sich, dass die durch EMF eingebrachte Energie zu gering ist, um den Wirkungsmechanismus der ionisierenden Strahlung auszulösen.

Zweifelsfrei festgestellte, wissenschaftlich bewiesene biologische Einwirkungen von EMF sind die Reizwirkung und die Wärmewirkung (direkte Gefährdung). Die Reizwirkung durch EMF niedrigerer Frequenz beeinflusst direkt Muskel- und Nervenfunktionen. Bei der Weiterleitung von Nervensignalen im Körper sind elektrische Signale von kleinsten Spannungen beteiligt. Wenn diese Signale überlagert werden, führt das bei mittleren Feldstärken zu einer Sinneswahrnehmung und kann bei extremen Feldstärken auch zu ernstesten Störungen der Nerven, Muskeln, des zentralen Nervensystems und der Herzaktion bis hin zum Herzkammerflimmern führen.

Da für diese Effekte Schwellenwerte aus umfangreichen Untersuchungen der Weltgesundheitsorganisation WHO seit 1987 bekannt sind, konnte man daraus zulässige Expositionswerte ableiten. In der arbeitsmedizinischen Literatur werden neben akuten allerdings auch chronische Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System durch hohe Feldstärken erwähnt.

Mit ansteigender Frequenz sind zunehmend thermische Wirkungen, also Wärmewirkungen zu berücksichtigen. Im Heizlüfter und in der Haushaltsmikrowelle ist dies ein gewollter Effekt, im menschlichen Körper bei bestimmten medizinischen Behandlungsmethoden ebenfalls. Bei unbeabsichtigter Bestrahlung mit elektromagnetischen Feldern können jedoch gesundheitsschädliche Wirkungen auftreten. Eine punktuelle Erwärmung im Auge durch Mikrowellenstrahlung kann zum Beispiel zur irreversiblen Linsentrübung ("Grauer Star") und damit zum Verlust der Sehkraft führen.

Im Bereich der militärischen Funk- und Radartechnik sind an Anlagen, die im Gegensatz zum Mobilfunk mit sehr hohen Leistungen betrieben werden, bereits schwere und tödliche (Verbrennungs-) Unfälle aufgetreten.

Grundsätzlich muss aber beachtet werden, dass trotz weltweiter intensivster Forschungsarbeit noch nicht alle Aspekte möglicher Einwirkungen von EMF ausreichend geklärt sind.

Erkrankungen durch EMF, wie sie oft als Wirkungen lang dauernder niedriger Intensitäten ("Elektrosmog") dargestellt werden, sind streng wissenschaftlich nicht nachvollziehbar.

Im Weiteren sind auch indirekte Gefährdungen zu berücksichtigen. Hohe statische Magnetfelder üben starke Kraftwirkungen auf ferromagnetische Gegenstände aus und können diese durchaus auch in Bewegung setzen.

Mögliche indirekte Gefahren durch EMF können außerdem durch Maschinen, Geräte oder Anlagen auftreten, die nicht den Anforderungen hinsichtlich der so genannten "Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)" entsprechen. Das bedeutet, dass durch EMF elektrisch betriebene oder elektronisch gesteuerte Geräte beeinflusst werden können, die dann unter Umständen unbeabsichtigte Gefahr bringende Bewegungen oder Funktionen ausüben. Wenn es sich bei diesen elektronisch gesteuerten Geräten um aktive Implantate handelt (z.B. Herzschrittmacher), kann es sogar zu lebensbedrohlichen Fehlfunktionen kommen.

Befinden sich große metallische Gegenstände in der Nähe intensiver EMF-Quellen (z.B. Krane in der Nähe von Sendeanlagen), so kann es zu solch starken Aufladungseffekten kommen, dass diese bei Berührung zu unzulässig hohen Körperdurchströmungen führen.

Auch auf einem weiteren indirekten Weg können magnetische Felder die Gesundheit des Menschen beeinträchtigen. An Bildschirmarbeitsplätzen, die sich in der Nähe einer EMF-Quelle befinden, kommt es häufig vor, dass magnetische Wechselfelder den Elektronenstrahl in der Bildröhre beeinflussen; auch bereits mit Feldstärken, die weit unter den Grenzwerten liegen. Dies bewirkt Störungen der Bilddarstellung (Flimmern, Zittern, Verzerrungen) und damit oft ernst zu nehmende gesundheitliche Beschwerden.

Im Bild 3-2 sind die beschriebenen Gefährdungen zusammengefasst.

Bild 3-2: Gefährdungen und Effekte

Gefährdungsart	Effekt
Direkt	<ul style="list-style-type: none">• Reiz- und/oder Wärmewirkung (frequenzabhängig)• Langzeitwirkungen ("Elektrosmog"); wissenschaftlich strittig
Indirekt	<ul style="list-style-type: none">• Kraftwirkung hoher statischer Felder• Aufladungseffekte; Überschreitung zulässiger Berührungsspannungen• EMV-Effekte; wie mögliche Beeinflussung elektronischer Schaltkreise, aktiver Implantate (z.B. Herzschrittmacher) oder Kathodenstrahlbildschirme

4 Rechtsvorschriften

Am 1. Januar 1997 ist die "Verordnung über elektromagnetische Felder (Sechszwanzigste Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz – 26. BimSchV)" in Kraft getreten. Sie enthält Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb bestimmter ortsfester Anlagen und legt Grenzwerte zum Schutz der Allgemeinheit fest; sie gilt jedoch nicht für den Schutz von Beschäftigten, der dem Arbeitsschutzrecht obliegt. Ihr Anwendungsbereich erstreckt sich im Hochfrequenzbereich auf bestimmte Funksendeanlagen; im Niederfrequenzbereich werden ausschließlich Freileitungen, Erdkabel und Umspannanlagen mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Spannung von 1000 V oder mehr sowie die Anlagen der Bahnstromversorgung erfasst.

Die Bestimmungen der Verordnung gelten nicht für elektrische Haushaltsgeräte, Mobilfunkendgeräte (Handys), sonstige ortsveränderliche technische Einrichtungen und andere aufgeführte Anlagen.

Für die Arbeitswelt ist daher auf der Grundlage des Arbeitsschutzgesetzes und vor dem Hintergrund internationaler und nationaler Normungsvorhaben im berufsgenossenschaftlichen Fachausschuss "Elektrotechnik" die Unfallverhütungsvorschrift "Elektromagnetische Felder" (BGV B11) erarbeitet worden. Wichtige Erläuterungen, Hinweise und Beispiele finden sich in der zugehörigen BG-Regel "Elektromagnetische Felder" (BGR B11).

Die aus aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen gewonnenen Grenzwerte wurden in der neuen Unfallverhütungsvorschrift in Abhängigkeit der betrieblichen Bereiche und der Expositionszeiten noch mit Sicherheitszuschlägen versehen. Besondere Berücksichtigung fand die Frequenz, da sie die wichtigste Einflussgröße für die Art der physikalischen und biologischen Wirkung von EMF darstellt.

Die oft kontrovers diskutierte Langzeitwirkungen durch geringe EMF ("Elektrosmog") sind nach wie vor wissenschaftlich umstritten und daher nicht Gegenstand der neuen Unfallverhütungsvorschrift.

Nach den Anforderungen dieser Unfallverhütungsvorschrift hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass in Arbeitsstätten und an Arbeitsplätzen weder unzulässige Expositionen noch unzulässige mittelbare Wirkungen durch EMF auftreten.

Die Exposition kann durch Berechnung, Messung, Herstellerangaben oder Vergleich mit anderen Anlagen ermittelt werden. Ein Vergleich ist nur dann statthaft, wenn dies aufgrund von Anlagentyp und Randbedingungen begründbar ist. Im Weiteren regelt die Unfallverhütungsvorschrift die Erstellung und Befolgung von Betriebsanweisungen, die Anforderungen und Maßnahmen für Bereiche erhöhter Exposition und Gefahrbereiche sowie für Kennzeichnung, Abgrenzung und persönliche Schutzausrüstungen. Prüfung, Unterweisung und anlagenspezifische Dokumentation werden ebenfalls gefordert.

Der nächste Abschnitt befasst sich mit mittelbaren Wirkungen, Körperhilfsmitteln, speziellen Anlagen und der Instandhaltung und der Erprobung. In den Anlagen 1 und 2 der Unfallverhütungsvorschrift sind dann die einzuhaltenden Werte für EMF am Arbeitsplatz aufgeführt.

Das im Bild 4-1 aufgeführte Schema zeigt einen vereinfachten Ansatz zur Umsetzung der Unfallverhütungsvorschrift; auf die Angabe der einzelnen Paragraphen wurde zur besseren Übersichtlichkeit verzichtet.

Nach der durchzuführenden Beurteilung der Expositionsbereiche wird durch die Prüfung auf Einhaltung der zulässigen Werte deutlich, welche Maßnahmen wo zu ergreifen sind.

Im Kapitel "Schutzmaßnahmen" sind Beispiele durchgeführter technischer oder organisatorischer Maßnahmen zusammengestellt, wie sie sich in der betrieblichen Praxis bewährt haben.

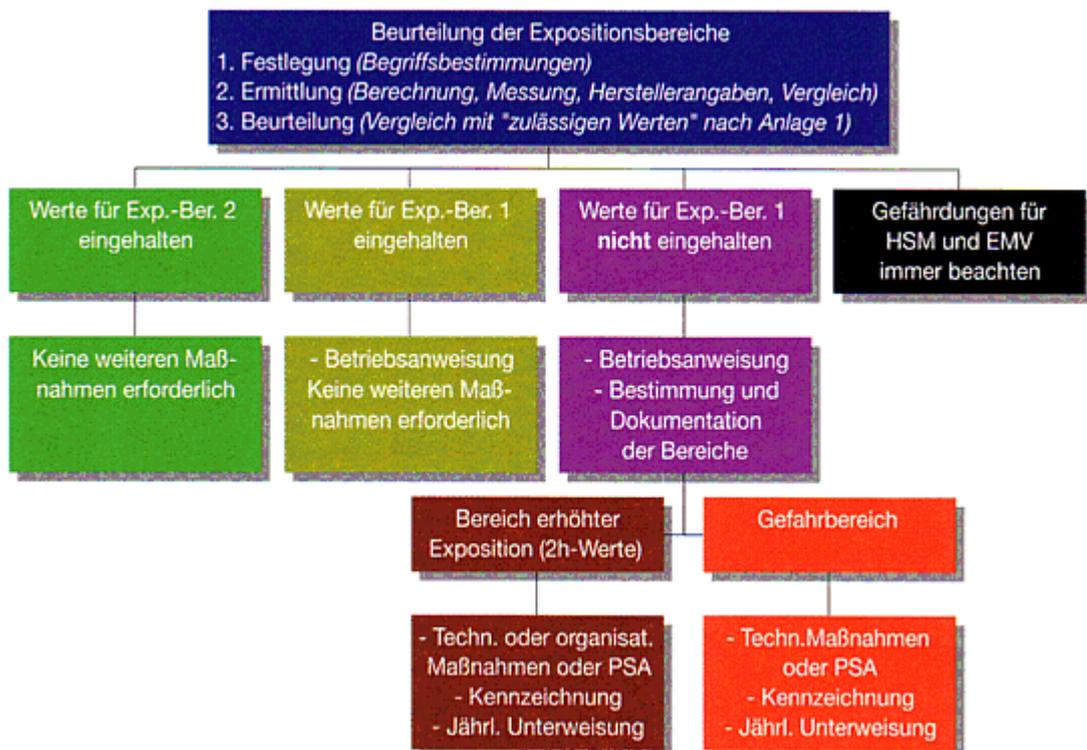


Bild 4-1: Schema zur Vorgehensweise bei der Umsetzung der Unfallverhütungsvorschrift "EMF"

5 Messtechnik, Ergebnisse und Beurteilung

5.1 Messtechnik

Mess- und Berechnungsverfahren sind derzeit der DIN VDE 0848-1 "Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, Teil 1: Definitionen, Mess- und Berechnungsverfahren" zu entnehmen.

Für die Messung elektromagnetischer Felder müssen die eingesetzten Geräte so ausgelegt sein, dass sie abhängig vom zu messenden Frequenzbereich die elektrische Feldstärke E, die magnetische Feldstärke H, die magnetische Flussdichte B oder Leistungsdichte S messen, wobei die gesamte Messunsicherheit $\pm 20\%$ nicht überschreiten sollte.

Zur Durchführung von Messungen gehört aber auch eine entsprechende Vorbereitung. Dazu dienen vor allem:

- technische Angaben über die Feldquelle (Frequenzen, Leistung, Strahlungseigenschaften und ggf. Modulation, Leiterströme und -spannungen),
- Expositionsbedingungen und Angaben zu den Exponierten (Aufenthaltsorte und -zeiten, Schichtregime, Personengruppen),
- bei Anlagen mit wechselnden Betriebsbedingungen die Festlegung eines bewertbaren Betriebszustandes,
- entsprechend den technischen Bedingungen die richtige Auswahl von Messverfahren und Messgeräten,
- mögliche Abschätzung der zu erwartenden maximalen Feldstärke oder Leistungsflussdichte vor Beginn der Messung bzw. vor Inbetriebnahme der Anlage, um eventuelle Schutzmaßnahmen, wie Leistungsabsenkung, zeitliche Aufenthaltsbeschränkung oder persönliche Schutzausrüstungen, vorzusehen,
- Berücksichtigung des Messgeräteschutzes – eine Überschreitung des maximalen Messbereiches kann zur Zerstörung des Feldsensors führen und
- Protokollierung und Auswertung.

Im Normalfall sind die Messungen bei der maximalen Leistung durchzuführen. Sollte dies nicht möglich sein, dann sind die Messwerte auf die maximale Leistung hochzurechnen.

So gilt z.B. für die magnetische Flussdichte

$$B_{\max} = \frac{I_{\text{Nenn}}}{I_{\text{Last}}} \times B_{\text{Mess}}$$

Grundsätzlich sind die Messungen am unbesetzten Arbeitsplatz durchzuführen. Der Messende darf sich während der Messung nicht zwischen Feldquelle und Feldsonde aufhalten. Alle nicht mit der Messung involvierten Personen haben sich aus dem Messbereich zu entfernen. Die Beurteilung der Messergebnisse erfolgt auf der Basis der maximalen, in der gedachten Körperachse des Exponierten gemessenen Werte der Feldstärke oder Leistungsflussdichte am Messort.

Der Einsatz von Feldsonden mit isotroper Empfangscharakteristik (orthogonale Anordnung von drei Messwertaufnehmern im Sondenkopf) liefert einen Messwert, der weitgehend unabhängig von Einfallsrichtung und Polarisation des zu messenden Feldes ist (Bild 5-1).

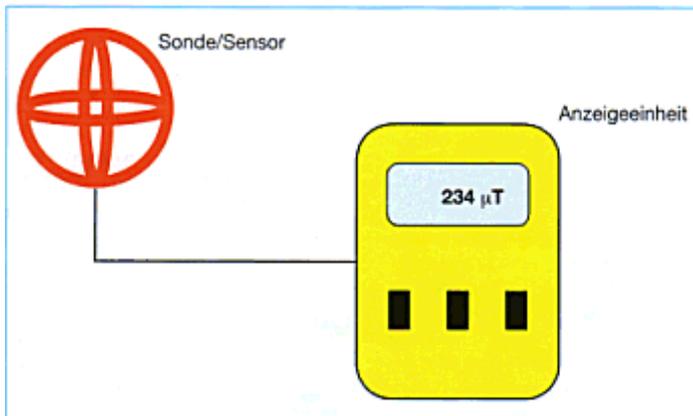


Bild 5-1: Feldsonde mit isotroper Empfangscharakteristik

Im Gegensatz zu isotropen Feldsonden weisen Feldsonden mit einem Messwertaufnehmer (Bild 5-2) oder Messantennen eine Richtcharakteristik auf. Eine Orientierung der Sonde oder Antenne im Feld auf Maximumanzeige ist erforderlich. Der Maximalwert entspricht dann in vielen Fällen dem Spitzenwert der Feldstärke. Zur Bestimmung des Effektivwertes muss die Sonde nacheinander in x-, y- und z-Achse ausgerichtet werden. Aus den Einzelwerten ist dann die Feldstärke zu berechnen.

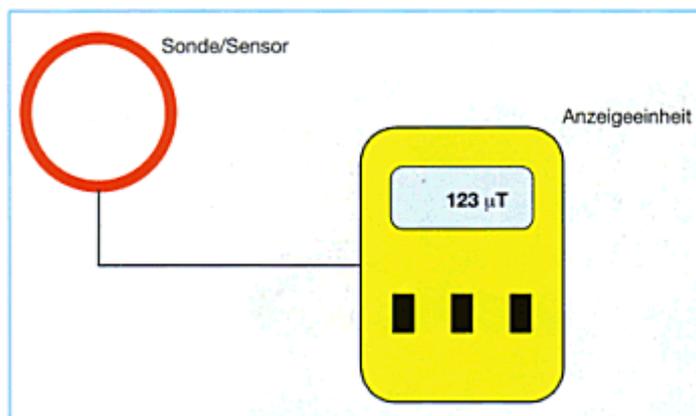


Bild 5-2: Feldsonde mit Messwertaufnehmer

Ist der Arbeitsplatz durch mehr als eine Feldquelle gekennzeichnet, ist Folgendes zu beachten:

- Sind die zulässigen Werte im zu untersuchenden Frequenzbereich gleich, können die resultierenden Feldstärken mit breitbandigen Messeinrichtungen direkt gemessen werden.
- Sind die Frequenzbereiche mit unterschiedlichen zulässigen Werten belegt, darf nur bei Einzelbetrieb der Feldquellen gemessen werden oder es sind frequenzselektive Messsysteme einzusetzen.

- Bei Feldsonden oder Messantennen mit Richtcharakteristik ist zur Effektivwertemessung nur die Messung in drei orthogonalen Achsen mit nachfolgender Berechnung der Feldstärke zulässig.

Bei Drehfeldern von dreiphasigen Leiteranordnungen (zeitabhängige Richtung der Feldvektoren) ist die gemessene maximale Feldstärke immer kleiner als der Feldstärkewert, der aus Messungen in drei orthogonalen Achsen berechnet werden kann. Hier muss in x-, y- und z-Richtung gemessen und aus den Einzelwerten die Feldstärke berechnet werden.

Bei der Messung niederfrequenter elektrischer Felder ist darauf zu achten, dass die Messergebnisse nicht durch die feldverzerrende Wirkung von Personen oder Gegenständen (auch Messleitung) unzulässig beeinflusst werden. Deshalb muss das Messgerät oder die Sonde entweder an einer Isolierstange oder auf einem nicht leitfähigen Stativ ins Feld eingebracht werden. Die Messwertübertragung erfolgt über Lichtwellenleiter zu einer abgesetzten Anzeigeeinheit, sodass die Messung potenzialfrei erfolgt.

Bei der Messung niederfrequenter magnetischer Felder treten Feldverzerrungen nur durch Gegenstände aus Metall (Stahlträger, Armierungen, Fahrzeuge, Blechtüren und -bedachungen usw.) auf.

Personen haben keinen Einfluss auf das magnetische Feld, sodass Messgeräte direkt ins Feld eingebracht werden dürfen und ein Verlassen des Bereiches vom Messenden nicht notwendig ist (Bild 5-3).



Bild 5-3: Messungen an einem induktiven Durchlaufofen eines Warmformbetriebes

5.2 Ergebnisse und Beurteilungen

Zurückblickend auf einige hundert Messergebnisse sind im Bild 5-4 Anlagen, Maschinen und Geräte aus Metallbetrieben mit ermittelten Messwerten aufgeführt. Zur besseren Übersicht und zum Vergleich mit den Messwerten sind aus der vorletzten Spalte die frequenzabhängigen zulässigen Werte ersichtlich. Bei den ermittelten und hier aufgeführten Messwerten handelt es sich um Maximalwerte, da sich aufgrund unterschiedlicher Arbeitsplatzsituationen das Vergleichen von Anlagen sonst erschweren würde. Rot gedruckte Messwerte (letzte Spalte) weisen auf eine Überschreitung der zulässigen Werte für die Dauerexposition hin, welche durchzuführende Maßnahmen notwendig machen.

Bild 5-4: Messergebnisse aus Metallbetrieben

Anlage	Frequenz f (Hz)	Zulässiger Wert	Messwert
Trafohäuser (Trafohäuse)	50	1 358 µT	270 µT
Antriebe von ortsveränderlichen Bearbeitungsmaschinen Bohrmaschinen, Kreissägen, Winkelschleifer	50	1 358 µT	350 µT
Antriebe von ortsfesten Bearbeitungsmaschinen Standbohrmaschinen, Sägen (Kreis-, Band-, Bügel-), Drehmaschinen, Fräsmaschinen, Schleifmaschinen	50	1 358 µT	300 µT
Schweißgeräte MAG-, WIG-, MIG-, UP-Schweißgeräte, LB-Handschweißgeräte	50	1 358 µT	300 µT
Schweißmaschinen Rohrschweißmaschine	400 000	12,25 A/m	29,8 A/m
Stumpfschweißmaschine	50	1 358 µT	1 000 µT
MAG-, WIG-, MIG-, UP-Schweißmaschinen	50	1 358 µT	83 µT
Schweißroboter (Trafo)	100	679 µT	210 µT
Bandschweißmaschine	50	1 358 µT	165 µT
Schneideanlagen Plasma-, Laserschneideanlagen	50	1 358 µT	72 µT
Elektrolyse- und Galvanikbäder Elektrolysebad	0 – 1	67 900 µT	50 000 µT
Galvanikbad	0 – 1	67 900 µT	2 000 µT
Magnetisierungs-, Entmagnetisierungsanlagen Handjoch	50	1 358 µT	626 µT
Rissprüfanlage	50	1 358 µT	2 507 µT
Rohrendenprüfanlage	50	1 358 µT	840 µT
Lötanlagen HF-Lötstation	2 300 000	2,13 A/m	16,73 A/m
Hartlötanlage	10 000	67,9 µT	500 µT
I-Lötanlage	100 000	67,9 µT	62 µT
Widerstandsbeheizte Anlagen Wärmebehandlungsöfen	50	1 358 µT	360 µT
Warmhalteöfen	50	1 358 µT	470 µT
Induktiv beheizte Anlagen Rohrbiegeanlage	650	104,5 µT	130 µT
Nacherwärmungsanlage	512	132,6 µT	500 µT
Härteanlage	10 000	67,9 µT	77 µT
Glühanlage	800	84,9 µT	360 µT
Drahtglühanlage	50	1 358 µT	310 µT
Schmelzofen	50	1 358 µT	1 020 µT
Schmelzofen	1000	67,9 µT	2 900 µT
Tiegelöfen	50	1 358 µT	200 µT
Tiegelöfen	677	100,3 µT	290 µT
Durchlauferwärmungsanlage	770	88,2 µT	>10 000 µT
HF-Aufschmelzanlage	160 000	30,63 A/m	0,3 A/m

Lichtbogenöfen				
Elektrolichtbogenofen	50	1 358 μ T	2 300 μ T	
Pfannenofen	50	1 358 μ T	3 385 μ T	
ESU-Anlagen				
ESU-Anlage	50	1 358 μ T	6 500 μ T	

Grundsätzlich muss aber festgehalten werden, dass die Messergebnisse nicht ohne weiteres auf alle derartigen Anlagen, Maschinen und Geräte übertragbar sind. Hier spielen die betrieblichen und konstruktiven Gegebenheiten eine übergroße Rolle. Die Überprüfung kritischer Bereiche ist dennoch empfehlenswert.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, gehören zu den kritischen Bereichen

- bestimmte Schweißmaschinen (insbesondere höherer Frequenz),
- Magnetisierungs bzw. Entmagnetisierungsanlagen,
- Lötanlagen,
- induktive Erwärmungsanlagen (Bild 5-5),
- Lichtbogenöfen und
- ESU-Anlagen.



Bild 5-5: Induktive Vorwärmeinrichtung

Überschreitungen zulässiger Werte wurden an Antrieben von ortsveränderlichen (handgeführten) bzw. ortsfesten Bearbeitungsmaschinen, wie Bohrmaschinen, Sägen, Schleifmaschinen, Drehmaschinen, Fräsmaschinen usw., derzeit nicht festgestellt.

Der BG-Information-Schrift ist eine Drehscheibe beigefügt, welche die Verantwortlichen vor Ort bei der Findung der zulässigen Werte unterstützen kann. Auf einfache Weise lassen sich gängige Betriebsfrequenzen (0 Hz bis 29 000 Hz) einstellen. Für die entsprechenden Expositionsbereiche ist dann lediglich der entsprechende zulässige Wert abzulesen. Dies gilt sowohl für die magnetische Flussdichte als auch für die elektrische Feldstärke. Damit kann das Berechnen der zulässigen Werte größtenteils entfallen

6 Schutzmaßnahmen

Ergibt sich aus der geforderten Beurteilung nach der Unfallverhütungsvorschrift, dass zulässige Werte überschritten oder nicht dauerhaft eingehalten werden können, so sind Schutzmaßnahmen einzuleiten. Technische Maßnahmen haben grundsätzlich Priorität; organisatorische Maßnahmen oder persönliche Schutzausrüstungen sind dann anzuwenden, wenn technische Maßnahmen nicht ausreichen oder aus besonderen Gründen nicht anwendbar sind.

6.1 Technische Maßnahmen

Als technische Maßnahmen werden in den BG-Regeln genannt:

- Abschaltung,
 - Reduzierung der Leistung,
 - Abschirmung,
 - Abstand
- und
- technische Sicherung der Gefahrenbereiche, z.B. durch Verriegelungen.

Insbesondere die Abschaltung und die Leistungsreduzierung treffen aus verständlichen Gründen oft auf wenig Akzeptanz.

Die Einhaltung eines ausreichenden Abstandes (für niederfrequente Feldquellen) oder Abschirmung (bei hochfrequenten Feldern) ermöglichen ebenso die Gewährleistung des erforderlichen Schutzniveaus. Dem kommt zugute, dass niederfrequente Felder mit der Distanz stark abnehmen und hochfrequente Felder gut abgeschirmt werden können.

Sind zum Beispiel wegen mechanischer oder anderer Gefährdungen Schutzeinrichtungen erforderlich, bietet es sich bei vorhandenen niederfrequenten Feldquellen an, Schutzgitter in einem Abstand anzubringen, der die Einhaltung der zulässigen Werte der Unfallverhütungsvorschrift gewährleistet.

Bei auftretenden hochfrequenten Feldquellen können ohnehin erforderliche Schutzgitter bei entsprechender Eignung gleichzeitig als Abschirmung gegen unzulässige Expositionen dienen. Unter bestimmten Umständen kann die technische Maßnahme "Abstand" durch organisatorische Maßnahmen ergänzt oder ersetzt werden, dies gilt jedoch nicht für Gefahrenbereiche. Ein Beispiel zur Verdeutlichung zeigen die Bilder 6-1 und 6-2.



Bild 6-1: Ohne Schutzgitter: $B = 6,3 \mu\text{T}$; für kleinere Abstände wird der Wert für den "Gefahrbereich" überschritten, außerdem sind Gefahrstellen zugänglich



Bild 6-2: Mit Schutzgitter: $B = 2,3 \mu\text{T}$; der zulässige Wert und die anderen sicherheitstechnischen Anforderungen werden eingehalten

An einer induktiven Draht-Durchlaufvergüteanlage mit $f = 45 \text{ kHz}$ (zulässiger Wert nach Unfallverhütungsvorschrift: $B = 67,9 \mu\text{T}$) wurden im Messabstand von $d = 0,3 \text{ m}$ Orientierungsmessungen durchgeführt. Aus der erheblichen Differenz der gefundenen Werte für die magnetische Flussdichte wird die Abschirmwirkung der angebrachten Schutzgitter erkennbar, die aufgrund der mechanischen, thermischen und elektrischen Gefährdungen ohnehin notwendig sind.

6.2 Organisatorische Maßnahmen

Hier kommen infrage

- Begrenzung der Aufenthaltsdauer,
- Kennzeichnung von Bereichen,
- Betriebsanweisungen und
- Unterweisung.

Die organisatorische Begrenzung der Aufenthaltsdauer für Bereiche erhöhter Exposition (Kennzeichnungspflicht!) wird z.B. durch die zulässigen Werte für die Dauer von zwei Stunden für den Niederfrequenzbereich (siehe Anlage 1 der Unfallverhütungsvorschrift "Elektromagnetische Felder" [BGV B11]) eröffnet. Diese Möglichkeit kommt vor allem dann in Betracht, wenn es sich nicht um ortsgebundene Arbeitsplätze handelt, sondern verschiedene Tätigkeiten an mehreren Stellen ausgeübt werden müssen. Damit können Zeitaufnahmen und entsprechende Betriebsanweisungen erforderlich sein, um die Einhaltung sicherzustellen.

6.3 Persönliche Schutzausrüstung

Nur für bestimmte Einsatzzwecke kommen persönliche Schutzausrüstungen überhaupt infrage, wie z.B. für Arbeiten in Hochspannungsanlagen oder in hochfrequenten Feldern. Geeignete persönliche Schutzausrüstungen sind – wenn anwendbar – vom Unternehmer zu stellen und von den Versicherten zu benutzen. Zur Auswahl ist unbedingt fachkundige Beratung (z.B. Berufsgenossenschaft, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) heranzuziehen.

6.4 Kennzeichnung

Da neben den technischen Maßnahmen auch organisatorische anwendbar sind, kommt der Kennzeichnung eine besondere Bedeutung zu. Die entsprechenden Sicherheitskennzeichen weist die BG-Regel "Elektromagnetische Felder" (BGR B11) im Anhang 4 aus, zwei Beispiele zeigen die Bilder 6-3 und 6-4.



Bild 6-3: Warnung vor elektromagnetischem Feld



Bild 6-4: Warnung vor magnetischem Feld

6.5 Herzschrittmacher (HSM)

Da die Möglichkeit besteht, dass Herzschrittmacher und andere aktive oder passive Implantate durch EMF beeinflusst werden können, muss bei der Ermittlung von derartigen Gefährdungen besonders sorgfältig vorgegangen werden. Auf der einen Seite unterscheiden sich diese Körperhilfsmittel hinsichtlich ihrer Bauweise, Funktion und Störanfälligkeit sehr stark, auf der anderen kann besonders eine von EMF ausgelöste Fehlfunktion eines Herzschrittmachers eine lebensbedrohliche Situation bewirken.

Das kann und darf aber nicht bedeuten, dass z.B. ein HSM-Träger keinen Platz in der Arbeitswelt mehr finden kann. Vielmehr müssen zusammen mit Unternehmer, Betriebsrat, Betriebsarzt, Sicherheitsfachkraft und externen Experten die betrieblich vorhandenen Gefährdungen durch EMF unter Berücksichtigung der speziellen Betriebsweise des Körperhilfsmittels geprüft werden. Eine genaueste Beurteilung, einschließlich Messung, ist unumgänglich. Letztlich muss daher immer eine Einzelfallentscheidung erfolgen.

Ob dem Unternehmer bzw. dem Betriebsarzt in allen Fällen überhaupt bekannt ist, dass ein Versicherter ein derartiges Körperhilfsmittel trägt, erscheint zweifelhaft. Daher enthält die Unfallverhütungsvorschrift die Forderung an den Unternehmer, auf diese möglichen Gefährdungen hinzuweisen und gleichzeitig die Forderung an den Versicherten, den Unternehmer über eine Versorgung mit Körperhilfsmitteln zu informieren. In manchen Fällen wird eine Kennzeichnung erforderlich sein, um auch Betriebsfremde auf die Gefährdung hinzuweisen (Bild 6-5).



Bild 6-5: Verbot für Personen mit Herzschrittmacher

6.6 Bildschirmarbeitsplätze

Da die direkt von Kathodenstrahlbildschirmen ausgehenden EMF vernachlässigbar klein sind, müssen hier die bereits oben erwähnten oft auftretenden ergonomischen Probleme beachtet werden. Durch die Bauart bedingt und durch benachbarte Strom führende Leitungen oder Anlagen mit ausgeprägten Magnetfeldern können derartige Bildschirme bereits durch niedrige Feldstärken beeinflusst werden. Diese ständigen Bildstörungen verursachen dann erhebliche gesundheitliche Beschwerden.

Als Abhilfemaßnahmen kommen Abschirmungen aus speziellen Legierungen (MU-Metall), der Ersatz von Kathodenstrahlmonitoren durch Flachbildschirme oder die Einhaltung ausreichenden Abstandes zu EMF-Quellen in Betracht.

6.7 Betriebsanweisungen

Aufgrund der notwendigen organisatorischen Maßnahmen kommt den Betriebsanweisungen besondere Bedeutung zu. Nicht nur der Normalbetrieb, sondern auch die Instandhaltungsarbeiten müssen darin berücksichtigt werden, da hierfür in der Unfallverhütungsvorschrift "Elektromagnetische Felder" (BGV B11) spezielle Festlegungen getroffen sind. Über Inhalte der Betriebsanweisungen informiert Anhang 5 der BG-Regel "Elektromagnetische Felder" (BGR B11).

6.8 Prüfung, Dokumentation, Unterweisung

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die BGV B11 die Prüfung als Teil der genannten Festlegungen beinhaltet.

Außerdem gilt für die Bestimmung von Bereichen mit erhöhter Exposition und Gefahrbereichen eine Dokumentationspflicht.

Die Sicherheitsunterweisungen hinsichtlich der erforderlichen Maßnahmen ist mindestens jährlich durchzuführen. Sind Versicherte in Gefahrenbereichen tätig, so ist auch deren Sicherheitsunterweisung zu dokumentieren.

6.9 Praktische Beispiele zur Umsetzung von Maßnahmen im Betrieb

Bild 6-6 zeigt einige ausgewählte Beispiele pragmatischer Umsetzung. In allen aufgeführten Fällen, außer in Bürobereichen, ist eine Kennzeichnung, die Erstellung einer Betriebsanweisung sowie eine Sicherheitsunterweisung erforderlich.

Bild 6-6: Beispiele betrieblicher Maßnahmen

Betrieb/Anlage	Problem	Maßnahme	Ausführung
Elektrostahlwerk (Steuerstand eines Lichtbogenofens)	Arbeitsplatz im Bereich erhöhter Exposition	Baulich	Schreibtisch versetzt; stattdessen Einbauschrank mit ausreichender Tiefe zur Gewährleistung des Abstandes
Elektrostahlwerk (Stromzuführung eines Pfannenofens)	Gefahrenbereich je nach Betriebsweise am Verkehrsweg	Technisch	Vorhandenes Schutzgitter vorversetzt; zulässige Werte für den Bereich erhöhter Exposition können damit eingehalten werden
Sendeantenne	Bereich erhöhter Exposition möglich	Technisch	Zugang verschlossen halten, Zutritt nur für Befugte
Hochfrequenzschweißmaschine	Bereich erhöhter Exposition	Technisch	Anbringung geeigneter Abschirmungen (Schutzgitter)
Induktionsofen	Bereich erhöhter Exposition	Organisatorisch	Verlegung von Ruhezeiten und Verkehrswegen
Induktionsanlage (Durchlaufofen)	Arbeitsplatz im Gefahrenbereich	Technisch	Automatische Materialzufuhr, statt manueller Aufgabe; Zugang verschlossen
Bürobereich	PC-Störung durch nahe Bahnlinie	Technisch	Ersatz von Kathodenstrahlbildschirmen durch Flachbildschirme
Bürobereich	PC-Störung durch nahen Trafo	Organisatorisch	Statt Büro nun Sitzungsraum (Tausch)

7 Zusammenfassung

Im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Gefährdungsbeurteilung ist auch das Auftreten von EM-Feldern zu berücksichtigen, sind doch die hier beschriebenen Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen wissenschaftlich nachweisbar und daher völlig unstrittig.

Als Grundlage dient für die Beurteilung von Arbeitsplätzen die Unfallverhütungsvorschrift "Elektromagnetische Felder" (BGV B11). Diese ist nicht immer leicht verständlich; denn die komplexen physikalischen Gegebenheiten bedingen aufgrund der unterschiedlichen hervorgerufenen Wirkungen und Effekte eine detaillierte Betrachtungsweise. Bei der Anwendung werden wir daher unsere Mitgliedsunternehmen verstärkt durch Beratungen, Seminare, Vorträge, Messungen und Maßnahmenfindungen unterstützen.

Nach den vorliegenden Messerfahrungen sind für bestimmte Anwendungen technische Maßnahmen unumgänglich, der Umfang sollte jedoch nicht überschätzt werden. In vielen Fällen werden organisatorische und Kennzeichnungsmaßnahmen den Anforderungen der Unfallverhütungsvorschrift und damit einer sinnvollen Prävention genügen. Größte Sorgfalt muss allerdings aufgebracht werden, um die Gefährdung von Trägern aktiver Implantate zu minimieren.

Die vorliegenden Erfahrungen und Erkenntnisse bei der Beratung zur Beurteilung, Messung und Maßnahmenfindung im Zusammenhang mit auftretenden elektromagnetischen Feldern sollten daher von allen genutzt werden, um einen praktikablen, aber dennoch umfassenden Arbeits- und Gesundheitsschutz zu gewährleisten.